

BALANCE HIDRICO DE LA ZONA CAFETERA COLOMBIANA

Alvaro Jaramillo-Robledo*

RESUMEN

Se estudia el balance hídrico de 34 localidades de la zona cafetera de Colombia, por medio del método de Thornthwaite-Mather. La precipitación se analizó por medio de la función de probabilidad Gamma a un nivel de 0,8 y la evaporación se calculó mediante la fórmula de García-López. En un 76% de los sitios analizados la precipitación anual probable se encuentra entre los 1.500 y los 2.500 mm, observándose gran variabilidad entre localidades tanto en cantidad como en distribución. La evaporación mensual tiene poca variación para una misma localidad; el 79% de las estaciones analizadas presentan volúmenes anuales de evaporación inferiores a 1.200 mm. Los faltantes de agua más severos ocurrieron en Tibacuy, Cundinamarca; Julio Fernández, Valle; La Montaña, Tolima; Blonay, Norte de Santander y Pueblo Bello, Cesar. En Tibacuy, Cundinamarca y Blonay, Norte de Santander, los déficits de agua ocurrieron durante 10 meses continuos. Solamente el 21% de los sitios analizados no presentan meses con déficits hídricos.

SUMMARY

JARAMILLO R., A. Water balance of the Colombian coffee zone. *Cenicafé (Colombia)* 33(1):15-28. 1982.

The water balance of 34 locations of the Colombian coffee zone was studied by means of Thornthwaite-Mather method. Rainfall data were analyzed by means of the probability gamma function at the level of 0.8 and the evaporation was calculated by means of the García-López formula. In 76% of the locations analyzed the probable annual rainfall is found between 1,500 and 2,500 mm. There is a great variation among localities both in amount and distribution of the rainfall. The monthly evaporation has a small variation for the same location, since 79% of the meteorological stations analyzed show annual evaporation volumes of less than, 1,200 mm. The most severe water deficits were recorded in Tibacuy, Cundinamarca; Julio Fernández, Valle; La Montaña, Tolima; Blonay, Norte de Santander; and Pueblo Bello, Cesar. In Tibacuy, Cundinamarca and Blonay, Norte de Santander the water deficits occurred during ten continuous months. Only 21% of the places analyzed did not show months with water deficits.

Additional Key Words: Water balance - Rainfall probability - Evaporation Colombian coffee zone.

INTRODUCCION

El conocimiento del balance hídrico de una región permite determinar la duración y la magnitud a nivel macroclimático de los períodos con exceso o con escasez de agua. Uno de los métodos para estimar estas épocas es el método de Thornthwaite-Mather.

En la zona cafetera colombiana son frecuentes las precipitaciones anuales superiores a los 2.000 mm; este alto valor no permite asegurar que el suministro de agua sea el suficiente

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

para el desarrollo óptimo del cultivo, ya que en muchas áreas la distribución es inadecuada con épocas de alta precipitación y períodos de lluvias escasas; es necesario, por tanto, la caracterización de las regiones en términos de intercambio de volúmenes de agua y no definir las con el dato único de lluvia.

Muchos estudios han utilizado los excesos y faltantes de agua con diversas finalidades para programar épocas de riego (2, 13, 15, 16); para estimar la producción en cacao (7), café (1, 8, 10) y banano (11); para zonificación agroclimática en diversos cultivos (1, 6).

Hardee (9) estimó para las condiciones de Colombia, los excesos y déficits hídricos para 15 estaciones, empleando para los cálculos de precipitación la distribución Gamma para varios niveles de probabilidad y la evaporación calculada por la fórmula de Christiansen-Hargreaves.

En el estudio hidroclimático de la Costa Atlántica de Colombia, Lecarpentier, Umaña y Vega (13), presentan mapas con los excesos y los faltantes de agua para períodos anuales de la llanura atlántica y La Guajira, incluyendo la Sierra Nevada de Santa Marta. En este estudio se estima el balance hídrico mediante el método de Thornthwaite-Mather, y la evaporación calculada por la fórmula de García y López (5).

En el estudio agroclimático de la zona andina preparado por Frere, Rijks y Rea (3), se calcula para varias localidades de Colombia el balance hídrico por el método de Thornthwaite-Mather, empleando la precipitación media y la evaporación por el método de Penman; los mismos autores recomiendan para futuros trabajos el uso de probabilidades para analizar la precipitación a un nivel de aproximación de 0,8, ya que los balances hídricos calculados utilizando la precipitación media tienen un significado muy limitado.

Se demuestra en el presente estudio que en la zona cafetera de Colombia, con altos valores de precipitación anual, existen localidades con limitaciones de agua en algunas épocas, por una inadecuada distribución de las lluvias, lo cual se prueba mediante el uso de probabilidades de precipitación ajustadas a la distribución Gamma a un nivel de 0,8, la evaporación calculada por la fórmula de García-López y el balance hídrico calculado por el método de Thornthwaite-Mather, para 34 estaciones.

MATERIALES Y METODOS

La información mensual y anual de precipitación de 34 estaciones meteorológicas analizadas (Tabla 1) se obtuvo en pluviógrafos de registro diario tipo Hellman, para períodos de observación que variaron entre 9 y 39 años; un 60% de las estaciones analizadas presentan períodos superiores a 20 años de registros.

TABLA 1.- LOCALIZACION DE LAS ESTACIONES ANALIZADAS.

Municipio	Estación	Latitud Norte	Longitud Oeste	Altura m.s.n.m.
CESAR				
Pueblo Bello	Pueblo Bello	10°22'	73°38'	1.000
NORTE DE SANTANDER				
Salazar	Francisco Romero	7°46'	72°48'	1.000
Chinácota	Blonay	7°35'	72°36'	1.235
BOYACA				
Moniquirá	Bertha	5°52'	73°24'	1.700
CUNDINAMARCA				
Yacopí	Montelíbano	5°28'	74°22'	1.340
Cachipay	Mesitas de Santa Inés	4°40'	74°28'	1.250
Tibacuy	Granja	4°21'	74°25'	1.550
Anolaima	Anolaima	4°45'	74°29'	1.726
CALDAS				
Manzanares	Llanadas	5°15'	75°08'	1.420
Manizales	Agronomía	5°04'	75°31'	2.150
Palestina	Santágueda	5°04'	75°41'	1.010
Chinchiná	Cenicafé	4°59'	75°35'	1.310
Chinchiná	Naranjal	4°58'	75°36'	1.370
ANTIOQUIA				
Yolombó	El Rubí	6°36'	75°03'	1.540
Venecia	El Rosario	5°58'	75°44'	1.600
Fredonia	Piamonte	5°54'	75°38'	1.330
Jardín	Miguel Valencia	5°32'	75°51'	1.570
TOLIMA				
Villarrica	Luis Bustamante	3°56'	74°36'	1.610
Dolores	La Montaña	3°33'	74°54'	1.260
Ibagué	Chapetón	4°27'	75°16'	1.300
Chaparral	Limón	3°43'	75°38'	990
Libano	Granja	4°56'	75°04'	1.520
RISARALDA				
Santa Rosa de Cabal	El Jazmín	4°53'	75°36'	1.600
HUILA				
Gigante	Jorge Villamil	2°22'	75°33'	1.500
QUINDIO				
Armenia	Sena	4°33'	75°40'	1.550
Calarcá	La Bella	4°30'	75°38'	1.450
Buenavista	Paraguaicito	4°24'	75°43'	1.250
VALLE				
Alcalá	Arturo Gómez	4°40'	75°48'	1.320
Sevilla	Heraclio Uribe	4°16'	75°55'	1.540
Trujillo	Manuel Mallarino	4°10'	76°21'	1.380
Restrepo	Julio Fernández	3°49'	76°31'	1.360
CAUCA				
Popayán	La Florida	2°27'	76°35'	1.850
Tambo	Manuel Mejía	2°24'	76°48'	1.700
NARIÑO				
Consacá	Ospina Pérez	1°16'	77°28'	1.700

Los datos de precipitación hasta 1978 se ajustaron a una distribución de probabilidad Gamma a nivel de 0,8; para la zona cafetera de Colombia, Hardee (9), encontró que esta distribución se ajusta mejor que la distribución normal y que la logarítmica.

La expresión que define la densidad de probabilidad de la función Gamma, según Thom (18), es la siguiente:

$$G(X) = \frac{1}{\beta^\gamma \Gamma(\gamma)} \cdot X^{\gamma-1} \cdot e^{-\frac{X}{\beta}}$$

En donde:

$$\gamma = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right)$$

$$A = \ln \bar{X} - \frac{\ln X}{n}$$

$$\beta = \frac{\bar{X}}{\gamma}$$

- $\Gamma(\gamma)$ = Función Gamma de γ
- \bar{X} = Precipitación media mensual.
- X = Precipitación mensual.
- n = Número de años observados.

Conociendo los parámetros Gamma (γ) y Beta (β), el valor probable de lluvia al nivel deseado se estima mediante un nomograma.

Por la falta de medidas directas de evaporación, ésta se calculó por la fórmula de García-López (5), la cual utiliza información de temperatura y de humedad relativa. Esta fórmula presenta un buen ajuste al ser correlacionada con medidas de tanque tipo A, en Cenicafé (12) y otras condiciones tropicales (14). Además, presenta un coeficiente de correlación de 0,76**, al compararse con datos mensuales calculados por la fórmula de Penman en el estudio agroclimatológico de la zona andina (3).

La expresión de cálculo de la fórmula de García-López es la siguiente:

$$E = 1,21 \times 10^n (1,0 - 0,01 HR) + 0,21 T - 2,30$$

En donde:

$$n = \frac{7,45 T}{234,7 + T}$$

- E = Evaporación diaria en mm.
- T = Temperatura media diaria (°C).
- HR = Humedad relativa diaria (°/°).

Para el cálculo se consideró la temperatura media y la humedad relativa media mensual; el valor obtenido se multiplicó por el número de días del mes. Al comparar los valores mensuales obtenidos por la suma de los valores diarios y los calculados con las medias mensuales multiplicadas por el número de días, no se encontró diferencia para una misma localidad.

En los cálculos de balance hídrico se consideró una capacidad de retención de agua en el suelo de 100 mm y la tabla de retención de agua en el suelo correspondiente, propuesta por Thornthwaite y presentada por Mota (17).

Para calcular los excedentes y faltantes mensuales se establece la diferencia entre la precipitación y la evaporación, de la cual resultan una serie de valores positivos y negativos los cuales representan las pérdidas o ganancias potenciales de la humedad que se almacena en el suelo; los valores negativos deben convertirse en valores reales debido a que el suelo al perder el agua por evaporación se va secando a una tasa cada vez menor que la potencial. Si la precipitación es mayor que la evapotranspiración potencial, la evapotranspiración real es igual a la potencial. Los faltantes mensuales de agua se obtienen por la diferencia entre la evapotranspiración potencial y real y los excedentes se presentan cuando la capacidad de retención de agua en el suelo está completa. Una información más detallada de los cálculos la presenta Mota (17).

RESULTADOS Y DISCUSION

Al considerar una serie de datos de precipitación se observa la gran variabilidad que presentan dentro de un mismo mes; para un correcto análisis de esta información debe ser utilizada una distribución de probabilidad con la cual se puede establecer la ocurrencia de un determinado valor de lluvia con un margen de seguridad establecido con anterioridad. El uso de probabilidades evita la utilización de la precipitación media el cual es un valor cuya seguridad de ocurrencia es muy baja.

Un valor de probabilidad de 0,8 significa, de que en 10 años de registro del fenómeno se presentaría durante ocho años un valor igual o superior al calculado.

La precipitación mensual y anual para la zona cafetera con un ajuste de probabilidad de 0,8 nivel sugerido por Frere, Rijks y Rea (3), se presenta en la tabla 2. Los datos permiten visualizar una distribución bimodal en toda la zona cafetera con dos épocas de lluvias (abril - mayo y octubre - noviembre) y dos épocas de menos lluvia (enero - febrero y julio-agosto) explicables por el desplazamiento de la zona de convergencia intertropical. La precipitación anual con probabilidades del 80% presentó su valor más bajo en Tibacuy, Cundinamarca (872 mm), Julio Fernández, Valle (887 mm) y Anolaima, Cundinamarca

(1.100 mm); las mayores precipitaciones anuales probables se presentan en Llanadas, Caldas (2.527 mm); Limón, Tolima (2.381 mm), Naranjal, Caldas (2.370 mm); Jazmín, Risaralda (2.320 mm).

Es de anotar que en la tabla 2, la suma de las probabilidades mensuales no es igual a la probabilidad anual. De los valores anuales de precipitación puede observarse una amplia variación anual; un 76^o/_o de los puntos analizados presenta precipitaciones probables anuales al nivel de 0,8 entre los 1.500 mm y los 2.500 mm; para la región central los valores anuales son superiores a los 2.000 mm.

Respecto a los volúmenes de agua caídos se observa que para la región Norte en el primer semestre cae el 35^o/_o y durante el segundo semestre un 65^o/_o del total como es el caso de Pueblo Bello, Cesar; Francisco Romero y Blonay, Norte de Santander. Desde los 6^o Norte de latitud aproximadamente hasta los 1^o Norte, los volúmenes caídos en el primero y segundo semestre son aproximadamente del 50^o/_o con excepción de las estaciones del departamento del Cauca, Florida y Tambo, en que los volúmenes son del 40^o/_o para el primer semestre y del 60^o/_o para el segundo.

La variabilidad anual y mensual de la cantidad de lluvia entre las estaciones puede explicarse por la circulación general y por efectos de altitud y exposición de las laderas. Spreen citado por Frere, Rijks y Rea (3) encontró que la altitud explicaba el 30^o/_o de la variación de la lluvia mientras que la pendiente máxima del terreno, la exposición y la orientación de la ladera determinaba el 88^o/_o de la variación.

La variabilidad de la precipitación mensual y anual es mayor para aquellas regiones o meses de poca precipitación.

Siendo la precipitación de gran significado para la agricultura, no basta su aporte por si sola y su significado real está dado por el balance existente con relación a las pérdidas por evaporación.

La evapotranspiración potencial es la máxima cantidad de agua que puede evaporarse de una capa continua de vegetación que cubra todo el terreno, cuando no es limitada la cantidad de agua suministrada al suelo. En estas condiciones es una función de la energía solar disponible y de la transferencia de masa que ocurriría por el viento.

TABLA 2.- PRECIPITACION MENSUAL (mm) CON 80% DE PROBABILIDAD SEGUN FUNCION GAMMA, PARA 34 ESTACIONES DE LA ZONA CAFETERA COLOMBIANA.

Estación	Años de observaciones	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agto.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Pueblo Bello	25	10	11	19	69	168	129	82	124	216	250	138	16	1.596
Francisco Romero	25	54	66	55	147	143	38	34	63	116	322	306	102	2.275
Blonay	29	14	16	19	84	86	61	50	56	78	126	124	25	1.311
Bertha	27	19	28	112	197	195	129	82	117	139	196	132	42	1.867
Montelíbano	21	109	86	167	268	252	137	84	120	159	251	208	112	2.307
Mesitas de Sta. Inés	13	37	33	65	125	94	59	15	23	75	169	166	47	1.436
Tibacuy	28	22	29	46	83	67	32	17	19	31	109	118	42	872
Anolaima	10	33	55	55	100	73	30	26	36	47	141	78	75	1.100
Llanadas	28	91	143	207	248	218	96	28	104	166	281	251	147	2.527
Agronomía	24	37	59	104	169	133	74	36	60	98	211	175	87	1.730
Santágueda Fac.	16	53	60	101	178	229	159	84	130	131	196	162	90	2.129
Cenicafé	39	76	70	136	208	207	142	92	97	125	251	202	132	2.287
Naranjal	29	92	81	148	243	242	164	116	114	150	218	211	119	2.370
El Rubí	9	17	33	82	174	187	159	160	215	215	252	177	57	2.100
El Rosario	13	49	46	83	196	256	203	99	144	196	263	193	66	2.202
Piamonte	11	23	33	70	142	177	119	46	119	166	194	195	75	1.828
Miguel Valencia	26	48	73	112	190	191	146	91	133	160	196	142	95	1.932
Luis Bustamante	16	19	58	127	176	144	79	45	53	85	194	203	74	1.996
La Montaña	25	34	38	96	145	89	43	25	19	40	182	254	130	1.584
Chapetón	25	58	64	115	165	150	79	49	63	94	152	153	87	1.660
Limón	15	77	86	187	239	194	54	20	38	118	251	279	135	2.381
Granja Libano	24	41	67	134	200	169	75	52	82	145	233	169	91	2.007
El Jazmín	19	60	108	148	232	188	154	4	110	141	237	239	107	2.320
Jorge Villamil	25	24	38	76	114	101	83	65	54	58	103	97	67	1.168
Sena	18	70	48	130	245	136	79	16	28	110	223	226	166	2.164
La Bella	29	56	56	102	196	137	79	22	42	85	219	245	123	1.891
Paraguaicito	17	49	54	112	194	164	62	35	63	100	224	219	94	1.827
Arturo Gómez	14	42	61	96	164	170	128	52	65	107	168	172	72	1.624
Heraclio Uribe	28	47	53	93	177	147	97	40	52	98	190	169	96	1.720
Manuel Mallarino	11	26	47	87	132	153	98	18	77	105	174	134	79	1.488
Julio Fernández	18	18	25	56	92	79	50	28	34	40	107	79	35	887
La Florida	30	72	90	112	129	99	46	11	12	61	210	217	196	1.818
Manuel Mejía	27	82	67	80	127	89	65	19	13	77	215	267	171	1.723
Ospina Pérez	28	51	53	88	110	97	47	21	27	31	114	145	93	1.219

La información mensual y anual de la evaporación calculada para la zona cafetera se presenta en la tabla 3. Los valores anuales variaron entre 771,0 mm en Agronomía, Caldas y 1.489,0 mm en Santágueda, Caldas. El 79% de las estaciones analizadas presentan volúmenes anuales de evaporación inferiores a 1.200 mm.

Los valores mensuales de evaporación presentan poca variación de un mes a otro, debido a la poca variabilidad que presentan los elementos climáticos que controlan la evaporación a nivel de la zona ecuatorial como son la radiación global, la temperatura del aire y la tensión del vapor. Debido a la poca variabilidad de la evaporación se admiten valores medios mensuales sin incurrir en errores graves.

Por existir una gran dependencia entre los elementos climáticos que controlan la evaporación con la altitud, se calculó una relación lineal la cual fue negativa y altamente significativa. La expresión encontrada fue la siguiente:

$$E_v = 1.795,5 - 0,5 A \quad (r = 0,79^{**})$$

siendo E_v = evaporación anual en mm, y
A = Altura en m.

La evaporación mensual sería aproximadamente igual al valor calculado con la ecuación anterior, dividido entre 12 meses. Esta expresión sería útil para estimar la evaporación, en aquellas regiones cafeteras que no disponen de información meteorológica.

García (4), calculó valores anuales de evaporación para otras regiones cafeteras en el mundo, que variaron entre 925,0 mm en Ishinda (Congo) y 1.999,0 mm en San Salvador (Salvador).

Hardee (9), calculó la evaporación potencial mediante la fórmula de Christiansen-Hargreaves para algunas estaciones localizadas en zona cafetera encontrando como valores extremos 1.150 mm para la estación Miguel Valencia, Antioquia y 1.520 mm para La Montaña, Tolima, y halló valores similares a los calculados en el presente estudio para Pueblo Bello, Cesar; Francisco Romero, Santander del Norte; Ospina Pérez, Nariño; Cenicafé, Caldas y Chapetón, Tolima.

Los valores de evaporación calculados a partir de elementos observados en estaciones climatológicas son válidos a nivel macroclimático únicamente.

Los valores de evaporación real mensual y anual se presentan en la tabla 4. Los menores valores se presentaron en Tibacuy, Cundinamarca, con 615 mm y Julio Fernández, Valle con 643 mm. Los valores más altos se presentan en Cenicafé, Caldas, con 1.200 mm, Luis Bustamante, Tolima, con 1.195 mm y Santágueda, Caldas, con 1.359 mm.

TABLA 3.- EVAPORACION MENSUAL (mm), CALCULADA POR LA FORMULA DE GARCIA-LOPEZ, PARA 34 ESTACIONES DE LA ZONA CAFETERA COLOMBIANA.

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
Pueblo Bello	96	101	110	101	95	92	101	95	88	84	84	88	1.135
Francisco Romero	97	95	112	102	113	106	122	124	130	112	98	101	1.312
Blonay	81	78	96	90	93	90	96	96	92	93	80	78	1.063
Bertha	81	78	85	77	80	73	74	74	76	76	80	80	934
Montelíbano	84	76	84	84	87	84	103	97	84	80	81	84	1.028
Mesitas de Sta. Inés	91	75	81	80	83	80	88	91	88	70	71	84	982
Tibacuy-Granja	92	87	96	84	84	86	92	98	101	99	77	87	1.083
Anolaima	78	74	85	76	78	77	87	92	89	74	63	69	942
Llanadas	85	82	93	83	90	90	98	98	95	88	91	78	1.071
Agronomía	66	65	66	61	64	68	71	71	62	61	55	61	771
Santágueda-Fac.	133	123	136	128	124	120	128	128	119	111	116	123	1.489
Cenicafé	90	77	114	99	100	102	110	114	105	98	95	103	1.207
Naranjal	107	97	107	94	97	94	103	107	99	96	92	103	1.196
El Rubí	80	76	81	76	78	76	82	81	77	69	63	69	908
El Rosario	104	97	112	92	94	91	117	98	93	91	86	94	1.169
Piamonte	97	97	104	101	91	88	97	91	84	87	90	94	1.121
Miguel Valencia	83	78	84	79	78	82	85	80	85	70	71	80	955
Luis Bustamante	75	71	78	74	75	76	77	75	68	77	64	70	880
La Montaña	101	98	109	88	101	131	107	121	119	98	78	91	1.242
Chapetón	88	86	96	86	91	92	101	109	105	92	82	88	1.116
Limón	114	106	114	111	114	118	129	129	117	110	107	110	1.379
Granja Libano	75	71	78	74	76	76	84	84	68	72	66	72	896
El Jazmín	87	74	80	68	68	65	85	81	74	65	67	76	890
Jorge Villamil	91	89	96	86	88	81	88	92	93	91	76	88	1.059
Sena	85	78	87	74	77	77	102	89	85	66	73	88	981
La Bella	80	78	87	74	77	77	87	93	80	76	74	74	957
Paraguacito	120	104	118	104	101	108	115	115	107	103	97	107	1.299
Arturo Gómez	103	95	107	101	94	87	107	103	97	90	91	97	1.172
Heraclio Uribe	78	77	85	80	83	76	88	88	86	78	76	78	973
Manuel Mallarino	110	103	110	101	98	101	118	104	102	96	92	106	1.241
Julio Fernández	90	88	90	80	83	80	85	85	83	83	76	83	1.006
La Florida	76	71	76	71	74	76	86	96	90	76	65	67	924
Manuel Meía	70	66	74	68	86	73	83	96	80	71	62	70	899
Ospina Pérez	80	81	84	81	84	89	98	108	99	85	74	77	1.040

TABLA 4.- EVAPORACION REAL MENSUAL (mm), DE 34 ESTACIONES DE LA ZONA CAFETERA COLOMBIANA.

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
Pueblo Bello	38	23	24	72	95	92	100	95	88	84	84	68	863
Francisco Romero	90	82	76	102	113	88	64	72	118	112	98	101	1.116
Blonay	43	30	27	84	87	62	52	59	78	93	80	44	739
Bertha	51	42	85	77	80	73	74	74	76	76	90	74	862
Montelíbano	84	76	84	84	87	84	102	97	84	80	81	84	1.027
Mesitas de Sta. Inés	66	46	69	80	83	80	45	36	77	70	71	79	802
Tibacuy	23	43	53	83	69	35	22	19	31	99	77	61	615
Anolaima	65	66	69	76	76	53	42	45	51	74	63	69	749
Llanadas	85	82	93	83	90	90	79	98	95	88	91	78	1.052
Agronomía	63	63	66	61	64	68	66	68	62	61	55	61	758
Santágueda Fac.	93	75	106	128	124	120	120	128	119	111	116	119	1.359
Cenicafé	89	76	114	99	100	102	109	110	105	98	95	103	1.200
Naranjal	106	94	107	94	97	94	103	107	99	96	92	103	1.192
El Rubí	59	49	81	76	78	76	82	81	77	69	63	69	860
El Rosario	81	63	90	92	94	91	116	98	93	91	86	91	1.086
Piamonte	67	51	76	101	91	88	87	91	84	87	90	93	1.006
Miguel Valencia	78	77	84	79	78	82	85	80	85	70	71	80	949
Luis Bustamante	63	65	78	74	75	76	73	67	68	77	64	70	820
La Montaña	84	61	99	88	101	84	41	27	44	98	78	91	896
Chapetón	84	79	96	86	91	91	86	82	97	92	82	88	1.054
Limón	109	98	114	111	114	102	55	48	117	110	107	110	1.195
Granja Libano	71	69	78	74	76	76	79	84	68	72	66	72	885
El Jazmín	84	74	80	68	68	65	60	81	74	65	67	76	862
Jorge Villamil	27	54	80	86	88	81	78	70	68	91	76	71	870
Sena	84	71	87	74	77	77	75	47	85	66	73	88	904
La Bella	78	72	87	74	77	77	71	63	80	76	74	74	903
Paraguaicito	95	70	114	104	101	100	70	74	101	103	97	106	1.035
Arturo Gómez	78	73	99	101	94	87	95	84	97	90	91	95	1.084
Heracio Uribe	74	69	85	80	83	76	79	71	86	78	76	78	935
Manuel Mallarino	70	61	91	101	98	101	80	86	102	96	92	103	1.081
Julio Fernández	27	25	56	80	83	42	37	41	40	83	76	53	643
La Florida	76	71	76	71	74	72	51	32	64	76	65	67	795
Manuel Mejía	70	66	74	68	86	73	63	41	77	71	62	70	821
Ospina Pérez	77	71	84	81	84	82	56	44	38	85	74	77	853

De acuerdo con Lecarpentier, Umaña y Vega (13), la relación entre la evaporación real y la evaporación potencial es una caracterización numérica de la sequía; esta relación expresada como un porcentaje, da una idea del aporte de las lluvias respecto a lo potencialmente evaporable; en las estaciones que presentan un valor inferior al 80^o/0 ocurren meses con limitación de agua; entre estas estaciones están Anolaima, Cundinamarca con 80^o/0; Paraguaicito, Quindío, con 80^o/0; Pueblo Bello, Cesar, con 76^o/0; La Montaña, Tolima, con 72^o/0; Blonay, Santander del Norte, con 69^o/0; Julio Fernández, Valle, con 64^o/0 y Tibacuy, Cundinamarca, con 57^o/0.

Los excesos y déficits hídricos se presentan en la tabla 5. Un mes o un día con déficit hídrico (mes o día seco) es aquel en el cual la evaporación es mayor que la precipitación, siendo por tanto un concepto dinámico y no un valor fijo para diferentes localidades.

Los déficits hídricos anuales más severos se observan en Tibacuy, Cundinamarca (468 mm); Julio Fernández, Valle (363 mm); La Montaña, Tolima (343 mm); Blonay, Norte de Santander (324 mm) y Pueblo Bello, Cesar (272 mm).

En Tibacuy, Cundinamarca y Blonay, Norte de Santander, los déficits son el acumulado de 10 meses continuos, de diciembre a septiembre, siendo las estaciones que presentan la máxima limitación hídrica de las localidades analizadas. El valor mensual más severo de déficits se observa en Pueblo Bello, Cesar, en los meses de febrero y marzo con déficits de 78 a 86 mm, respectivamente.

Los menores valores de déficits hídricos se presentan en Montelíbano, Cundinamarca con 1,0 mm; Naranjal, Caldas con 4,0 mm y Miguel Valencia, Antioquia con 6,0 mm. García y Soto (6) consideran que un déficit hídrico inferior a 10,0 mm en un mes, no debe ser tomado como limitante en la producción agrícola.

Para García (5), los déficits hídricos registrados en diferentes regiones cafeteras del mundo, varían entre 0 mm en Chinchiná, Colombia y 379 mm en Mkeya, Tanganyka.

Los excesos hídricos son frecuentes en los meses de abril, mayo, octubre y noviembre. Las estaciones de Blonay, Norte de Santander; Tibacuy y Anolaima, Cundinamarca; Julio Fernández, Valle, no presentan excesos anuales. Los mayores excesos hídricos se presentan en Montelíbano, Cundinamarca (926 mm); Llanadas, Caldas (928 mm); El Rubí, Antioquia (868 mm) y Jazmín, Risaralda (866). Para otras áreas cafeteras del mundo, García (4) encontró como extremos de excesos hídricos en Harrar-Congo (0 mm) y Faragangana-Madagascar (1.545 mm).

El valor más alto de exceso hídrico en el primer semestre se presenta en Montelíbano, Cundinamarca en el mes de abril con 184 mm y en el segundo semestre en Sena, Quindío con 213 mm, en el mes de noviembre.

TABLA 5.- EXCESO Y DEFICIT HIDRICOS (mm), PARA 34 ESTACIONES DE LA ZONA CAFETERA COLOMBIANA.

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Déficit	Exceso
Pueblo Bello	-58	-78	-86	-29	0	10	-1	11	128	166	54	-20	272	369
Francisco Romero	-7	-13	-36	0	2	-18	-58	-52	-12	119	208	1	196	330
Blonay	-38	-48	-69	-6	-6	-28	-44	-37	-14	0	0	-34	324	0
Bertha	-30	-36	0	69	115	56	8	43	63	120	52	-6	72	526
Montelibano	25	10	83	184	165	53	-1	5	75	171	127	28	1	926
Mesitas de Sta. Inés	-25	-29	-12	0	0	0	-43	-55	-11	11	95	-5	180	106
Tibacuy	-69	-44	-43	-1	-15	-51	-70	-79	-70	0	0	-26	468	0
Anolaima	-13	-8	-16	0	-2	-24	-45	-47	-38	0	0	0	193	0
Llanadas	6	61	114	165	128	6	-19	1	25	193	160	69	19	928
Agronomía	-3	-2	8	108	69	6	-5	-3	0	148	120	26	13	485
Santágueda	-40	-48	-30	0	66	39	-8	0	0	63	46	-4	130	214
Cenicafé	-1	-1	3	109	107	40	-1	-4	0	143	107	29	7	538
Naranjal	-1	-3	14	149	145	70	13	7	51	122	119	16	4	706
El Rubí	-21	-27	0	29	109	83	78	134	138	183	114	0	48	868
El Rosario	-23	-34	-22	23	162	112	-1	29	103	172	107	-3	83	708
Piamonte	-30	-46	-28	0	41	31	-10	0	69	107	105	-1	115	353
Miguel Valencia	-5	-1	0	105	113	64	6	53	75	126	71	15	6	628
Luis Bustamante	-12	-6	0	100	69	3	-4	-8	0	92	139	4	30	407
La Montaña	-17	-37	-10	0	0	47	-66	-94	-75	0	160	39	343	199
Chapetón	-4	-7	0	56	59	-1	-15	-27	-8	0	60	0	62	175
Limón	-5	-8	29	128	80	-16	-74	-81	0	49	172	25	184	483
Libano	-4	-2	24	126	93	0	-5	0	47	161	103	19	11	573
El Jazmín	-3	10	68	164	120	89	-25	0	40	172	172	31	28	866
Jorge Villamil	-64	-35	-16	0	0	0	-10	-22	-25	0	10	-17	189	10
Sena	-1	-7	6	171	59	2	-27	-42	0	104	213	78	77	633
La Bella	-2	-6	0	99	60	2	-16	30	0	78	171	49	54	459
Paraguaicito	-25	-34	-4	14	63	-8	-45	-41	-6	36	122	-1	164	235
Arturo Gómez	-25	-22	-8	0	65	41	-12	-19	0	26	81	-2	88	213
Heraclio Uribe	-4	-8	0	62	64	21	-9	-17	0	66	93	18	38	324
Manuel Mallarino	-40	-42	-19	0	0	0	-38	18	0	7	42	-3	160	49
Julio Fernández	-63	-63	-34	0	0	-38	-48	-44	-43	0	0	-30	363	0
La Florida	0	15	36	58	25	-4	-35	-64	-26	45	152	129	129	460
Manuel Mejía	12	1	6	59	3	0	-20	-55	-3	64	205	101	78	451
Ospina Pérez	-3	-10	0	0	2	-7	-42	-64	-61	0	6	16	187	24

Varios estudios (1, 4, 10), dan como límite de deficiencia hídrica para el café un valor entre 200 y 250 mm anuales o cuatro meses continuos con deficiencias hídricas por mes superiores a 15 mm.

Al analizar el número de meses en que ocurren déficits hídricos utilizando valores de precipitación media, se concluye que en un 92^o/0 de los meses de las estaciones analizadas no se presentaron faltantes de agua; sin embargo, al introducir en el análisis de la precipitación el concepto de probabilidad según la distribución Gamma a un nivel de 0,8, se observa que la situación es diferente, ya que solamente el 21^o/0 de los meses, de las estaciones estudiadas no presentan problemas de déficits hídricos.

En un estudio anterior, Frere, Rijks y Rea (3) esquematizan las disponibilidades de agua para estaciones de la zona andina (Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia); para las estaciones correspondientes a zona cafetera de Colombia, no se encuentran diferencias con los valores calculados en el presente trabajo con la precipitación media; sin embargo, difieren a las calculadas con la probabilidad de precipitación.

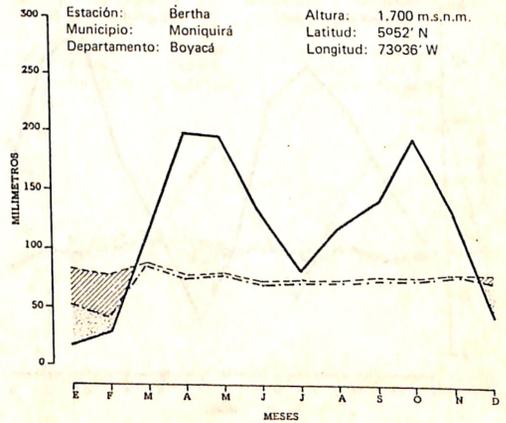
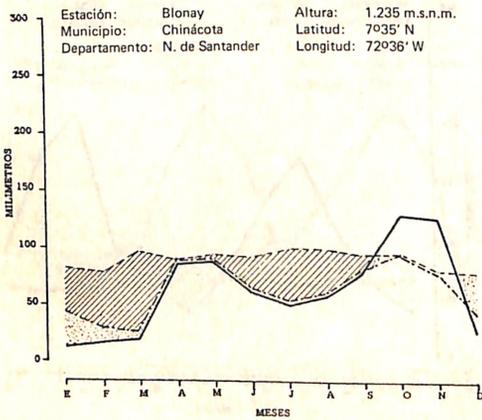
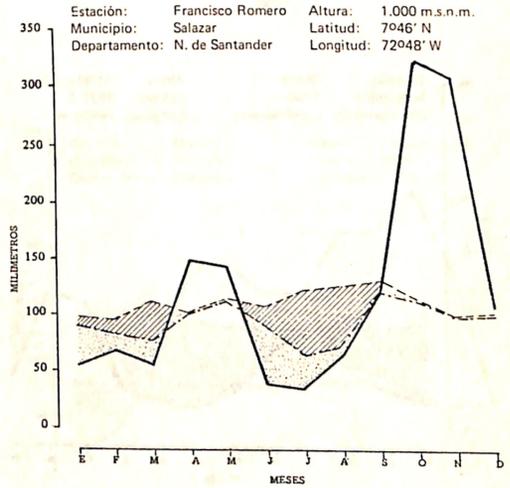
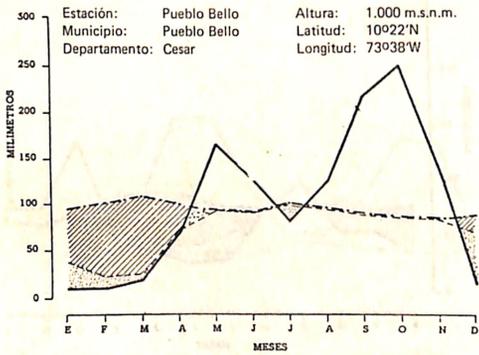
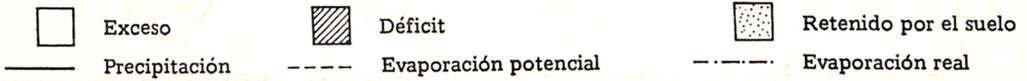
La representación gráfica del balance hídrico para cada una de las estaciones analizadas, se presenta en el Apéndice 1.

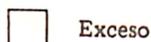
BIBLIOGRAFIA

- 1.- CAMARGO, A. P. de et al. Zoneamiento da aptidao climática para cultura comerciais em areas de cerrado. In: Simposio sobre cerrado; bases para utilizaçao agropecuaria, 4^o. Brasil, Atatiaia, 1977. pp. 89-120.
- 2.- DASTANE, N. G. Precipitación efectiva en la agricultura de regadío. Roma, FAO, 1974. 68 p. (Estudio sobre Riego y Avenamiento N^o 25).
- 3.- FRERE, M.; RIJKS, J. Q. y REA, J. Estudio agroclimatológico de la zona andina. Roma, FAO/ UNESCO/ OMM, 1975. 375 p.
- 4.- GARCIA B., J. Clima agrícola del cafeto (*C. arabica*) y zonas potenciales en los Andes de Venezuela. Agronomía Tropical (Venezuela) 18(1):57-85. 1968.
- 5.- GARCIA B., J. y LOPEZ D., J. Fórmula para el cálculo de la evapotranspiración potencial adaptada al trópico (15^oN 15^oS). Agronomía Tropical (Venezuela) 20(5):335-45. 1970.
- 6.- GARCIA B., J. y SOTO N., E. Zonificación ecológica de cultivos. V. Relación entre el rendimiento y variables climáticas simples. Modelos de predicción. Revista de la Facultad de Agronomía (Venezuela) 9(2):69-95. 1977.
- 7.- GARCIA B., J. y MONTOYA M., J. M. Relación entre la magnitud de excesos hídricos y la producción de cacao (*Theobroma cacao*) en Turrialba, Costa Rica. Agronomía Tropical (Venezuela) 22(1):57-66; 1972.

- 8.- GARCIA B., J. y MONTOYA M., J. M. Relación entre el balance de agua en el suelo y rendimiento del café (*Coffea arabica*) en Turrialba, Costa Rica. *Agronomía Tropical (Venezuela)* 24(1):11-20. 1974.
- 9.- HARDEE, J. Analysis of Colombian precipitation to estimate irrigation requirements. Logan, University of Utah, 1971. 67 p. (Thesis Mag. Sci.).
- 10.- INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFE. Cultura de café no Brasil; manual de recomendações. Rio de Janeiro, Ministerio da Industria e de Comercio, 1974. 261 p.
- 11.- JARAMILLO C., L. R. y GARCIA B., J. Relación entre el balance hídrico y la duración del desarrollo del fruto del banano (var. "Giant cavendish") en Guápiles, Costa Rica. *Agronomía Tropical (Venezuela)* 23(4):343-354. 1973.
- 12.- JARAMILLO R., A. Comparación entre la evaporación registrada en tanque y la calculada por diferentes fórmulas. *Cenicafé (Colombia)* 28(2):67-72. 1977.
- 13.- LECARPENTIER, C.; UMAÑA, G y VEGA, G. Estudio hidroclimático de la región del Caribe (norte colombiano). *Boletín del Instituto Frances de Estudios Andinos (Perú)* 6(1-2):7-41. 1977.
- 14.- LEGARDA B., L. y FORSYTHE, W. Estudio comparativo entre la evaporación calculada por varias fórmulas y la evaporación de tanques medida en tres lugares tropicales. *Turrialba (Costa Rica)* 22(3):282-292. 1972.
- 15.- MOTA, F. S. da. Analise agroclimatologica das necessidades semanais de irrigação em pelotas - S. Brasil, Universidad Federal de Pelotas, 1976. v. p. (Boletim Técnico N° 1).
- 16.- MOTA, F. S. da. Índice de seca agronomica derivado do balanço hídrico agroclimatológico mensal. Brasil, Instituto Nacional de Meteorología, 1978. 9 p. (Boletim Técnico N° 16).
- 17.- MOTA, F. S. da. Meteorología Agrícola. Sao Paulo, Brasil, Librería Nobel S. A., 1975. 376 p.
- 18.- THOM, H. C. S. Some methods of climatological analysis. WMO Technical Note N° 81. 1976. 53 p.

APENDICE 1.- REPRESENTACION GRAFICA DEL BALANCE HIDRICO PARA CADA UNA DE LAS ESTACIONES ANALIZADAS.





Exceso



Déficit



Retenido por el suelo

Precipitación

Evaporación potencial

Evaporación real

