

EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA EN LA REGIÓN ANDINA DE COLOMBIA

Alvaro Jaramillo Robledo*

RESUMEN

JARAMILLO R., A. Evapotranspiración de referencia en la región Andina de Colombia. Cenicafé 57(4):288-298.2006.

En el presente estudio se estimaron las variaciones temporal y altitudinal de la evapotranspiración de referencia (Penman-Monteith) y la evaporación para la región del cultivo del café en Colombia. A partir de la información climática de la red meteorológica del Centro Nacional de Investigaciones de Café, se analizaron para las estaciones de Cenicafé y Naranjal (Caldas) las observaciones de evaporación de Tanque clase A para el período 1975 a 1989. Se observó una relación exponencial entre la evapotranspiración de referencia (ET_o) y la altitud, y para estimar la evapotranspiración se propuso la expresión empírica $ET_o \text{ mm.día}^{-1} = 4,37 \exp(-0,0002 * \text{Altitud, m})$, aplicable en estudios generales de zonificación climática de las cuencas de los ríos Cauca y Magdalena, localizadas en la región Andina de Colombia, para altitudes entre 170 y 3.700m. Así mismo, se registró una disminución de la evapotranspiración de referencia de 237mm.km⁻¹ de altitud por año. Los valores de evaporación de tanque fueron superiores en un 7,1% a los estimados con el método de Penman-Monteith. Los valores de evaporación anual media para las regiones de cultivo del café en Colombia variaron entre 1.300mm para las zonas bajas (1.000m) y 1.050mm para las zonas altas (2.000m).

Palabras clave: Zona cafetera colombiana, Penman-Monteith, Tanque clase A, altitud.

ABSTRACT

The temporal and altitudinal variation of the reference evapotranspiration (Penman-Monteith) and the evaporation for the coffee growing zone of Colombia were estimated in this research. Based on the climatic information of the meteorological net of the National Coffee Research Centre, the evaporation observations of class A Tank from 1975 to 1989 were analyzed for the stations Cenicafé and Naranjal (Caldas). An exponential relationship between the evapotranspiration of reference and the altitude was observed, and in order to estimate the evotranspiration the empirical expression $ET_o \text{ mm.day}^{-1} = 4.37 \exp(-0.0002 * \text{Altitude, m})$, applicable in general studies of climatic zoning of the watershed of rivers Cauca and Magdalena in the Andean region of Colombia for altitudes between 170 and 3,700m was proposed. Likewise, a reduction of the evapotranspiration of reference of 237mm.km⁻¹ altitude per year was registered. The values of tank evaporation were superior in 7.1% to the estimated with the method of Penman-Monteith. The values of average annual evaporation for coffee growing regions in Colombia varied between 1,300mm for the low zones (1,000m) and 1,050mm for the high zones (2,000m).

Keywords: Colombian coffee zone, Penman-Monteith, class A Tank, altitude.

* Investigador Científico III. Agroclimatología. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

Cuando se cuantifica el ciclo hidrológico de una cuenca o de un agroecosistema, la principal entrada de agua está representada por la precipitación y como salidas están la evapotranspiración, la escorrentía y la percolación. La evapotranspiración es la suma de la evaporación desde la superficie del suelo y del agua interceptada por la vegetación, y de la transpiración desde las plantas, especialmente por los estomas; su conocimiento es útil para determinar las necesidades de agua de un cultivo o de una región (7, 11).

Las tasas de evapotranspiración están controladas por la radiación solar, la temperatura, el déficit de presión de vapor, el intercambio de humedad del aire entre la superficie y la atmósfera, el tipo de cobertura vegetal, las propiedades físicas y químicas del suelo, la sanidad del cultivo y, por las prácticas que alteran el microclima como son la cobertura vegetal, el sombrero, el riego, las barreras rompevientos y las distancias de siembra.

En la actualidad se cuenta con instrumentos para medir directamente la evaporación (tanques de evaporación) y la evapotranspiración (lisímetros); también se dispone de métodos indirectos entre los cuales están los hidrológicos, micrometeorológicos y aerodinámicos. Otra forma, de uso frecuente, para estimar la evaporación es por medio de fórmulas que utilizan los elementos climáticos de las estaciones, con resultados aplicables en la planificación de los programas de riego y en la zonificación agrícola a nivel regional (1, 7).

Un instrumento generalizado para la medida de la evaporación es el tanque clase A, de forma circular con 120,7cm de diámetro y 25cm de profundidad, construido de lámina metálica, ubicado sobre una estructura de madera y nivelado sobre el terreno. El tanque se llena con agua hasta

5cm del borde, y la variación del nivel del agua se mide diariamente con un tornillo micrométrico (1, 9).

La evapotranspiración de referencia (ET_o) estandarizada es la cantidad de agua evaporada desde una superficie de terreno cubierto totalmente con un cultivo hipotético de 12cm de altura, con una resistencia superficial de 70s.m⁻¹, un albedo de 0,23 y sin restricciones de agua; este valor representa la evapotranspiración de una superficie extensa de pasto verde de altura uniforme, en crecimiento activo y con riego adecuado. La ET_o se determina mediante el método de Penman-Monteith y se considera un patrón que permite comparar la evapotranspiración en diversos períodos del año, entre diferentes regiones y diversos cultivos (1).

Para las condiciones de Colombia se relacionan algunos trabajos sobre la evaporación a escala regional. Frere *et al.*(4), en el estudio agroclimatológico de la región Andina presentan los valores mensuales y anuales de evaporación calculada con las fórmulas de Thornthwaite, Penman, Turc y Hargreaves para un total de sesenta y nueve estaciones, distribuidas en Venezuela, Colombia (diecinueve), Ecuador, Perú y Bolivia. En este estudio encontraron una disminución de la evaporación alrededor de 150mm.año⁻¹ por cada 1.000m de aumento en la altitud.

Barco *et al.* (2), estimaron la evaporación de Colombia por medio de los métodos de Turc, Morton, Penman y Holdridge, y concluyeron que aunque Penman y Morton son métodos difíciles de implementar debido a la información climática requerida, ambos proporcionan estimaciones de la evaporación con errores bajos.

Así mismo, Poveda *et al.*(10) regionalizaron la evapotranspiración en Colombia, utilizando los métodos de Turc, Coutagne, Thornthwaite,

Holdridge, Meyer, Penman, Budyko, Morton y Cenicafé, y observaron que aunque ninguno de los métodos tiene ventajas, las fórmulas propuestas por Turc y Morton son las más adecuadas para estas estimaciones. Las magnitudes de los errores se explican por la deficiente calidad en la información climática y por el bajo número de observaciones.

La variación mensual y anual de la evapotranspiración estimada para Colombia por Lasso (8), mediante la fórmula de Penman, muestra valores anuales extremos que varían entre 870mm en San Félix - Caldas (2.820m de altitud) y 2.300mm en Riohacha - La Guajira (4m de altitud).

Para las condiciones climáticas de la zona cafetera central de Colombia (Cenicafé y la Estación Central Naranjal en Chinchiná, Caldas) las tasas de evaporación del tanque clase A se explican en gran parte por el brillo solar observado (5).

Las medidas de la evaporación son necesarias para conocer el balance hídrico regional. Sin embargo, en las áreas del cultivo del café en Colombia las medidas de evaporación directa (tanque A) son escasas, razón por la cual se debe recurrir a fórmulas que permitan su estimación utilizando los datos obtenidos por medio de los elementos climáticos de las estaciones. En el presente estudio se determinó para las regiones de cultivo de café en Colombia la variación temporal y altitudinal de la evaporación y la evapotranspiración de referencia ETo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La información climática para las regiones cafeteras en Colombia se obtuvo del archivo de datos de la red meteorológica del Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé (3). Las observaciones de evaporación

de Tanque clase A se analizaron para las estaciones de Cenicafé y Naranjal (Caldas), para el período 1975 a 1989.

La evapotranspiración de referencia (ETo) se estimó mediante la fórmula de Penman-Monteith, presentada por Allen *et al.* (1):

donde:

$$ETo = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_r)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)}$$

ETo Evapotranspiración de referencia (mm.día⁻¹)

R_n Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ.m⁻².día⁻¹)

G Flujo de calor en el suelo (MJ.m⁻².día⁻¹)

T Temperatura media del aire a 2m de altura (°C)

u₂ Velocidad del viento a 2m de altura (m.s⁻¹)

e_s Presión de vapor de saturación (kPa)

e_r Presión de vapor real (kPa)

Δ Pendiente de la curva de saturación de presión de vapor (kPa.°C⁻¹)

γ Constante psicrométrica (kPa.°C⁻¹)

La expresión de Penman-Monteith utiliza como elementos climáticos la radiación solar, la temperatura del aire, la presión del vapor de agua y la velocidad del viento, registrados a dos metros de altura. La evapotranspiración de referencia se estimó diariamente utilizando el programa de balance hídrico desarrollado en Cenicafé (6).

Para el cálculo de los gradientes altitudinales de la evapotranspiración de referencia se tuvieron en cuenta los registros de las estaciones climáticas operadas por Cenicafé y los resultados de evapotranspiración publicados por Lasso (8), con información climática del actual Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

En la atmósfera, la presión atmosférica y la densidad del aire varían exponencialmente con la altura. De acuerdo con este comportamiento físico se utilizó una expresión de tipo exponencial para relacionar la evaporación y la evapotranspiración de referencia con la altitud para diferentes localidades de la región Andina de Colombia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Relación de la evapotranspiración de referencia con la altitud. Las estaciones utilizadas para estimar las relaciones entre la evapotranspiración de referencia y la altitud para las cuencas hidrográficas interandinas de Colombia de los ríos Cauca y Magdalena, se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Evapotranspiración de referencia (ET_o) para las cuencas de los ríos Cauca y Magdalena (Colombia).

Estación	Municipio y departamento	Latitud	Longitud	Altitud m	ET _o mm.día ⁻¹
		Norte ° ' "	Oeste ° ' "		
Cuenca río Cauca					
Aragón*	Sta Rosa Osos-Antioquia	06 47	75 34	2.600	2,65
El Rosario	Venecia-Antioquia	05 58	75 42	1.635	3,28
La Cristalina	Támesis-Antioquia	05 42	75 40	775	3,83
Miguel Valencia	Jardín-Antioquia	05 32	75 51	1.570	3,17
R. Escobar	Supía-Caldas	05 27	75 38	1.307	3,46
La Camelia*	Santuario-Risaralda	05 05	75 58	2.100	2,77
Santágueda	Palestina-Caldas	05 04	75 40	1.026	3,62
Letras	Manizales-Caldas	05 03	75 20	3.684	2,27
Cenicafé	Manizales-Caldas	05 00	75 36	1.308	3,25
Agromía	Manizales-Caldas	04 59	75 35	2.088	2,86
La Bohemia*	Pereira-Risaralda	04 52	75 54	1.020	3,74
La Unión*	La Unión-Valle	04 32	76 03	920	3,92
H. Uribe	Sevilla-Valle	04 16	75 55	1.540	3,03
Cumbarco*	Sevilla-Valle	04 10	75 47	1.740	2,87
Palmaseca*	Palmira-Valle	03 33	76 23	961	3,60
G. López*	Totoró-Cauca	02 30	76 17	3.000	2,99
Manuel Mejía	El Tambo-Cauca	02 24	76 48	1.700	3,05
Cuenca río Magdalena					
Pueblo Bello	Pueblo Bello-Cesar	10 22	73 38	1.134	3,20
A. Palonegro*	Lebrija-Santander	07 06	73 12	1.189	3,59
Campo Capote*	Vélez-Santander	06 35	73 55	178	3,84
Granja Nus*	San Roque-Antioquia	06 29	74 49	835	3,64
Palanquero*	Pto Salgar-Cundinamarca	05 29	75 00	1.395	2,92
San Félix*	Salamina-Caldas	05 23	75 23	2.821	2,38
Santa Helena	Marquetalia-Caldas	05 19	75 00	1.395	2,92
Llanadas	Manzanares-Caldas	05 13	75 09	1.470	3,19
Letras	Manizales-Caldas	05 03	75 20	3.684	2,27
El Dorado*	Fontibón-Cundinamarca	04 43	74 29	2.547	2,79
Tibaitatá*	Mosquera-Cundinamarca	04 42	74 12	2.543	2,77
Chapetón	Ibagué-Tolima	04 27	75 16	1.300	3,30
Perales*	Ibagué-Tolima	04 26	75 09	750	4,25
Nataima*	Espinal-Tolima	04 12	74 56	431	4,70
El Guamo*	El Guamo-Tolima	03 59	74 59	360	4,23
La Montaña	Dolores-Tolima	03 33	74 54	1.260	3,47
La Manguita*	Neiva-Huila	02 58	75 18	439	4,65
Jorge Villamil	Gigante-Huila	02 22	75 33	1.500	3,17

* Estaciones del Ideam

En la Figura 1 se relaciona la ETo con la altitud mediante expresiones de tipo exponencial, con coeficientes de determinación (R^2) de 0,82 para la cuenca del río Cauca, de 0,83 para la cuenca del río Magdalena y de 0,80 al agrupar todas las localidades (34 estaciones). Se observó que para una misma altitud la evapotranspiración de referencia para la cuenca del río Magdalena fue un poco mayor que para la cuenca del río Cauca. Esta situación se explica debido a que en la cuenca del río Magdalena se registró un mayor calentamiento dado que altitudinalmente ésta es más baja y de mayor amplitud.

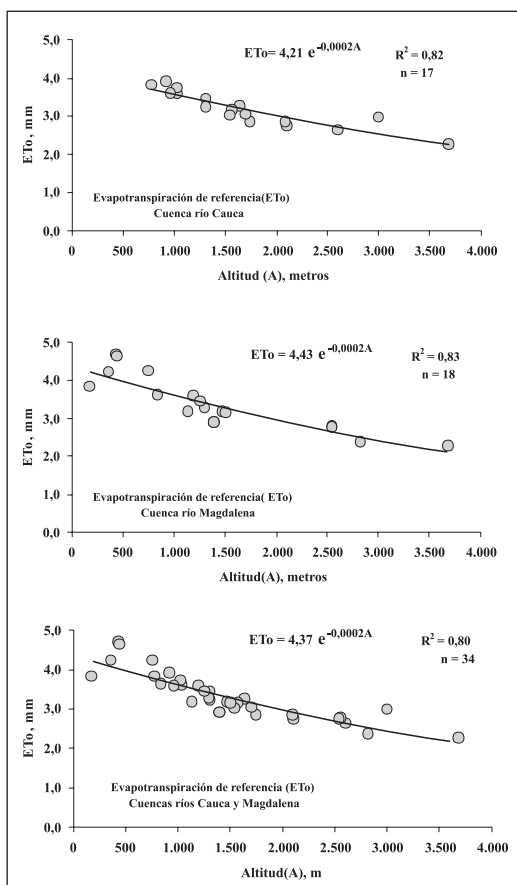


Figura 1. Relación entre la evapotranspiración de referencia (ETo) y la altitud (m) para las cuencas de los ríos Cauca y Magdalena.

Con las expresiones anteriores puede estimarse para la cuenca del río Cauca una disminución en la evapotranspiración de referencia de 228mm.año⁻¹ por kilómetro de aumento en altitud y de 240mm.año⁻¹ por kilómetro para la cuenca del río Magdalena; cuando se agrupan las dos cuencas este gradiente es de 237mm.año⁻¹ por kilómetro. Los gradientes encontrados son mayores a los publicados por Frere *et al.*(4), quienes reportan para la región Andina tropical de Suramérica un valor de 150mm.año⁻¹ por cada kilómetro de diferencia altitudinal.

De acuerdo con las relaciones de la Figura 1 se propuso la ecuación <<1>> para estimar un valor medio de la evapotranspiración de referencia en los valles interandinos de Colombia.

$$E_{To} \text{ (mm.día}^{-1}\text{)} = 4,37\exp(-0,0002*\text{Altitud, metros})$$

$$(R^2 = 0,80)$$

<<1>>

La expresión anterior sería aplicable para las cuencas de los ríos Cauca y Magdalena (Colombia) y en altitudes entre los 170 y 3.700m.

Variación temporal de la evapotranspiración de referencia. En la Tabla 2 se observa la variación mensual de la evapotranspiración de referencia para cinco estaciones situadas en altitudes entre 775m (La Cristalina en Támesis, Antioquia) y 3.684m (Letras en Manizales, Caldas), localizadas en la cuenca del río Cauca. Para una misma altitud hubo poca variación entre los valores de evaporación mensual, con un promedio de los coeficientes de variación de 6,4% y valores extremos entre 5,7% para Naranjal (Caldas) y 7,1% en Agronomía (Caldas), debido a la baja variabilidad a nivel tropical de los elementos meteorológicos que controlan el proceso de evaporación como son la radiación solar

global, la temperatura del aire, la tensión de vapor y la velocidad del viento.

La variación mensual de la evaporación de referencia presenta una onda doble con los valores máximos en los meses de marzo y agosto, y los mínimos en mayo y octubre.

Evaporación de tanque A y su relación con la evapotranspiración de referencia (ETo).

La variación mensual de la evaporación de tanque para las localidades de Cenicafé y

Naranjal (Caldas) se presenta en la Tabla 3. La evaporación media mensual en Cenicafé es de 3,47mm.día⁻¹ con un valor mínimo de 2,97mm.día⁻¹ (octubre) y un valor máximo de 3,77mm.día⁻¹ (julio). Para Naranjal la evaporación tuvo un valor medio de 3,57mm.día⁻¹ con un valor mínimo de 3,30mm.día⁻¹ (octubre) y un máximo de 3,81mm.día⁻¹ (julio y agosto). Los menores valores se registraron durante los períodos de lluvia, que para esta región corresponden a los meses de abril - mayo y octubre - noviembre.

Tabla 2. Variación mensual de la evapotranspiración de referencia a diferente altitud para estaciones de la cuenca del río Cauca en la región Andina de Colombia.

Estación	Altitud (m)	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	media	DS	C.V. (%)
Letras	3.684	68,6	77,7	74,7	66,9	67,3	67,3	72,1	77,6	70,3	66,1	63,7	65,0	69,8	4,8	6,8
Agronomía	2.088	89,9	84,1	96,0	84,7	84,0	80,7	91,5	99,9	84,9	87,5	78,8	83,5	87,1	6,2	7,1
Naranjal	1.381	100,9	95,8	108,8	96,8	94,9	93,3	104,2	106,1	98,0	95,8	89,8	95,9	98,4	5,6	5,7
Santágueda	1.026	114,2	107,7	121,0	109,8	104,1	102,7	114,0	121,1	110,5	110,9	102,1	105,9	110,3	6,4	5,8
La Cristalina	775	118,0	114,1	128,3	116,2	113,6	112,9	122,5	131,2	117,5	115,5	107,0	106,3	116,9	7,5	6,4

Tabla 3. Valores medios mensuales y anuales de la evaporación de Tanque A y la Evapotranspiración de referencia (ETo) para Cenicafé y Naranjal (Caldas), en el periodo 1975 a 1989.

Estación	Meses												Media anual
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Cenicafé													
Tanque (mm.día ⁻¹)	3,90	3,93	3,94	3,23	3,06	3,20	3,77	3,71	3,47	2,97	3,17	3,29	3,47
Eto (mm.día ⁻¹)	3,50	3,58	3,62	3,32	3,14	3,18	3,46	3,52	3,39	3,12	3,14	3,16	3,34
Naranjal													
Tanque (mm.día ⁻¹)	3,81	3,86	3,87	3,40	3,19	3,33	3,81	3,81	3,67	3,30	3,33	3,45	3,57
Eto (mm.día ⁻¹)	3,25	3,42	3,51	3,23	3,06	3,11	3,36	3,42	3,27	3,09	3,00	3,10	3,24

La evaporación de tanque y la ETo están influenciadas por los mismos procesos físicos como son la disponibilidad de energía y la transferencia de masa, por tanto pueden relacionarse mediante un coeficiente de proporcionalidad empírico. La relación lineal entre la evaporación del Tanque clase A (Ev) y la evapotranspiración de referencia (ETo), al agrupar la información para Cenicafé y Naranjal, se observa en la ecuación <<2>>.

$$E_v = 1,071 E_{To} \quad (R^2=0,65 \quad n=24)$$

<<2>>

En la expresión anterior se encuentra que la evaporación de tanque es 7,1% superior a la evapotranspiración de referencia estimada mediante el método de Penman-Monteith. Las mayores tasas de evaporación del tanque según Allen *et al.*(1), pueden explicarse por varios factores entre los cuales están un mayor calentamiento del tanque, el cual genera una evaporación adicional durante la noche, mientras que en la mayoría de los cultivos solamente ocurre transpiración durante el día. También se deben tener en cuenta las modificaciones en la turbulencia, la temperatura y la humedad del aire, que presentan diferencias en la superficie del tanque y en la vegetación.

Valores estimados para la evapotranspiración de referencia (ETo) y la evaporación de tanque clase A para las regiones de cultivo del café. Conocidas las relaciones entre la evapotranspiración de referencia (ETo) con la altitud y la relación entre la ETo y la evaporación de tanque A, se estimaron los valores para 118 estaciones climáticas

situadas en las regiones del cultivo del café en Colombia (Tabla 4).

Para las condiciones climáticas de las estaciones estudiadas la evapotranspiración de referencia registró una mayor frecuencia de 3,3mm.día⁻¹ (Figura 2), con valores extremos entre 2,91mm.día⁻¹ (Bremen, Circasia-Quindío) y 3,90mm.día⁻¹ (La Blanquita, Fredonia-Antioquia). La evaporación de tanque tuvo una mayor frecuencia de 3,6mm.día⁻¹ con valores extremos entre 3,30mm.día⁻¹ y 4,18mm.día⁻¹ para las mismas estaciones. Para el rango altitudinal de las zonas de cultivo del café entre los 1.000 y los 2.000m la evapotranspiración media diaria varió entre 3,6 y 2,9mm.día⁻¹, respectivamente.

Al considerar el total de las estaciones analizadas, el menor valor de la evapotranspiración de referencia se observó en Letras (Manizales, Caldas) con 2,27mm.día⁻¹ y el mayor con 4,70mm.día⁻¹ en Nataima (Espinal, Tolima) (Tabla 4).

Los valores de evaporación anual media para las regiones cafeteras de Colombia varían entre 1.280 y 1.050mm para las zonas de altitud baja (1.000m) y alta (2.000m), respectivamente. Para las condiciones de Colombia las cantidades de evaporación anual están próximas a 800mm en la región Pacífica y 2.300mm en la península de La Guajira.

Como consideración general se sugiere que las expresiones expuestas en el presente trabajo para estimar la evapotranspiración de referencia y la evaporación de tanque con base en la altitud pueden utilizarse en estudios generales de regionalización climática de las cuencas de los ríos Cauca y Magdalena localizadas en la región Andina de Colombia.

Tabla 4. Valores estimados de Evapotranspiración de referencia (ETo) y la evaporación de tanque A (mm) para algunas estaciones de la región cafetera de Colombia.

Estación	Municipio	Latitud Norte	Longitud Oeste	Altitud (m)	Eto día (mm)	ETo año (mm)	Evaporación tanque A (mm.día ⁻¹)
Antioquia							
Bariloche	Fredonia	05 55	75 42	1.748	3,08	1.124	3,30
La Blanquita	Fredonia	05 49	75 41	570	3,90	1.423	4,18
Miguel Valencia	Jardín	05 36	75 51	1.621	3,16	1.153	3,38
El Rosario	Venecia	05 58	75 42	1.635	3,15	1.150	3,37
Boyacá							
Bertha	Moniquirá	05 53	73 34	1.677	3,12	1.141	3,34
Caldas							
Cuatro Esquinas	Aguadas	05 40	75 25	1.900	2,99	1.091	3,20
Guaymaral	Aguadas	05 39	75 27	1.600	3,17	1.158	3,39
Cenicafé	Chinchiná	05 00	75 36	1.310	3,36	1.227	3,60
La Francia	Chinchiná	04 59	75 41	1.267	3,39	1.238	3,63
Naranjal	Chinchiná	04 58	75 39	1.381	3,32	1.210	3,56
La Selva	Manizales	05 05	75 36	1.312	3,36	1.227	3,60
Agronomía	Manizales	05 03	75 30	2.088	2,88	1.051	3,08
Java	Manizales	05 01	75 32	1.778	3,06	1.118	3,28
Llanadas	Manzanares	05 12	75 08	1.420	3,29	1.201	3,52
El Descanso	Marmato	05 30	75 37	1.803	3,05	1.112	3,27
Santa Helena	Marquetalia	05 19	75 00	1.395	3,31	1.207	3,54
La Argentina 1	Palestina	06 02	75 41	1.354	3,33	1.217	3,57
Granja Luker	Palestina	05 04	75 41	1.031	3,56	1.298	3,81
Santágueda	Palestina	05 04	75 40	1.026	3,56	1.299	3,81
El Recreo	Palestina	05 02	75 39	1.430	3,28	1.198	3,51
La Argentina 2	Riosucio	05 28	75 42	1.420	3,29	1.201	3,52
La Manuelita	Riosucio	05 22	75 41	1.460	3,26	1.191	3,49
Rafael Escobar	Supía	05 27	75 38	1.307	3,36	1.228	3,60
La Pastorita	Victoria	05 19	74 58	1.122	3,49	1.274	3,74
Cauca							
Manuel Mejía	El Tambo	02 24	76 44	1.735	3,09	1.127	3,31
La Trinidad	Piendamó	02 45	76 35	1.671	3,13	1.142	3,35
Instituto Técnico	S Quilichao	03 01	76 29	1.058	3,54	1.291	3,79
Mondomo	S Quilichao	02 54	76 33	1.380	3,32	1.210	3,56
Cesar							
Pueblo Bello	Pueblo Bello	10 25	73 34	1.134	3,48	1.271	3,73
Cundinamarca							
Mesitas Santa Inés	Cachipay	04 43	74 27	1.340	3,34	1.220	3,58
El Refugio	La Mesa	04 42	74 26	1.250	3,40	1.242	3,64

Continúa...

...Continuación

Sec Agricultura	La Palma	05 27	74 24	1.250	3,40	1.242	3,64
Misiones	Mesitas del Colegio	04 33	74 26	1.540	3,21	1.172	3,44
Santa Bárbara	Sasaima	04 56	74 25	1.478	3,25	1.187	3,48
Pinar del Río	Silvania	04 26	74 23	1.752	3,08	1.124	3,30
Granja Tibacuy	Tibacuy	04 22	74 26	1.538	3,21	1.173	3,44
Montelíbano	Yacopí	05 27	74 20	1.365	3,33	1.214	3,57
Huila							
Jorge Villamil	Gigante	02 20	75 31	1.420	3,29	1.201	3,52
Concent. Desarrollo	Timaná	01 57	75 56	1.141	3,48	1.270	3,73
Norte de Santander							
Blonay	Chinácota	07 34	72 37	1.250	3,40	1.242	3,64
Gabriel María Barriga	Convención	08 25	73 20	1.261	3,40	1.239	3,64
Francisco Romero	Salazar	07 44	72 47	903	3,65	1.331	3,91
Nariño							
Ospina Pérez	Consacá	01 15	77 29	1.603	3,17	1.158	3,39
El Sauce	La Unión	01 37	77 07	1.609	3,17	1.156	3,39
Quindío							
El Sena	Armenia	04 34	75 39	1.550	3,21	1.170	3,44
Tucumán	Armenia	04 32	75 44	1.250	3,40	1.242	3,64
La Pradera	Armenia	04 28	75 43	1.350	3,34	1.218	3,58
Paraguaicito	Buenavista	04 24	75 44	1.203	3,44	1.254	3,68
La Esperanza	Buenavista	04 22	75 45	1.428	3,28	1.199	3,51
La Bella	Calarcá	04 30	75 40	1.449	3,27	1.194	3,50
Quebradanegra	Calarcá	04 27	75 40	1.500	3,24	1.182	3,47
Bremen	Circasia	04 40	75 36	2.028	2,91	1.063	3,12
La Ilusión	Circasia	04 35	75 43	1.442	3,28	1.195	3,51
Mónaco	Cordoba	04 25	75 42	1.350	3,34	1.218	3,58
Villa Horizaba	Génova	04 15	75 48	1.470	3,26	1.189	3,49
La Argentina	La Tebaida	04 27	75 47	1.200	3,44	1.255	3,68
La Miranda	La Tebaida	04 26	75 51	1.193	3,44	1.256	3,68
Sorrento	Montenegro	04 33	75 49	1.203	3,44	1.254	3,68
El Agrado	Montenegro	04 31	75 48	1.275	3,39	1.236	3,63
Vivero	Quimbaya	04 37	75 46	1.330	3,35	1.223	3,59
Maracay	Quimbaya	04 36	75 44	1.402	3,30	1.205	3,53
Risaralda							
La Tribuna	Balboa	04 57	75 58	1.580	3,19	1.163	3,42
Ingenio Risaralda	Balboa	04 55	75 54	908	3,64	1.330	3,90
El Bosque	Dosquebradas	04 51	75 41	1.458	3,26	1.192	3,49
Ospirma	Guática	05 20	75 49	1.661	3,13	1.144	3,35
Buenos Aires	Guática	05 19	75 48	1.814	3,04	1.110	3,26
La Palmera	Marsella	05 00	75 45	1.450	3,27	1.194	3,50
Combia	Pereira	04 51	75 47	1.173	3,46	1.262	3,70

Continúa...

...Continuación

Los Cámbulos	Pereira	04 49	75 50	1.189	3,45	1.257	3,69
Planta de tratamiento	Pereira	04 48	75 40	1.487	3,25	1.185	3,48
Hiroshima	Pereira	04 46	75 44	1.340	3,34	1.220	3,58
La Catalina	Pereira	04 45	75 44	1.321	3,36	1.225	3,60
El Cedral	Pereira	04 42	75 32	2.120	2,86	1.044	3,06
La Oriental	Quinchía	05 22	75 43	1.730	3,09	1.129	3,31
El Diamante	Quinchía	05 19	75 42	1.550	3,21	1.170	3,44
El Jazmín	S Rosa Cabal	04 55	75 37	1.635	3,15	1.150	3,37
Los Naranjos	Santuario	05 03	76 00	1.580	3,19	1.163	3,42
Santander							
Ceylan	Bucaramanga	07 11	73 07	1.304	3,37	1.229	3,61
Villanueva	Charalá	06 14	73 10	1.450	3,27	1.194	3,50
Cuchicute	Curití	06 34	73 04	1.600	3,17	1.158	3,39
Miporal	Floridablanca	07 06	73 05	1.237	3,41	1.245	3,65
Bonanza	Girón	07 05	73 17	1.250	3,40	1.242	3,64
Chochos	Hato	06 33	73 19	1.400	3,30	1.206	3,53
La Laguna	Páramo	06 30	73 09	1.550	3,21	1.170	3,44
Las Flores	Pinchote	06 29	73 11	1.700	3,11	1.135	3,33
La Cumbre	Pte Nacional	05 52	73 41	1.691	3,12	1.137	3,34
Cocal	Rionegro	07 16	73 09	700	3,80	1.387	4,07
Los Cocos	Rionegro	07 14	73 07	1.300	3,37	1.230	3,61
Santa Rita	San Gil	06 35	73 08	1.600	3,17	1.158	3,39
Aguasblancas	San Vicente	06 50	73 29	964	3,60	1.315	3,85
Cielo Roto	Suaita	06 07	73 22	1.504	3,23	1.181	3,46
El Mesón	Valle San Jose	06 25	73 09	1.330	3,35	1.223	3,59
Tolima							
Totarito	Alvarado	04 40	75 01	1.250	3,40	1.242	3,64
Janiyof	Anzoátegui	04 38	75 04	1.720	3,10	1.131	3,32
El Limón	Chaparral	03 40	75 35	990	3,59	1.309	3,84
La Montaña	Dolores	03 33	74 54	1.296	3,37	1.231	3,61
El Ocaso	Dolores	03 32	74 53	1.000	3,58	1.306	3,83
Palocabildo	Falan	05 07	75 02	1.500	3,24	1.182	3,47
La Cimarrona	Fresno	05 10	75 00	1.400	3,30	1.206	3,53
Chapeton	Ibague	04 28	75 16	1.353	3,33	1.217	3,57
La Trinidad	Libano	04 54	75 02	1.456	3,27	1.192	3,50
Montefrío	Natagaima	03 29	75 16	1.500	3,24	1.182	3,47
Guadualito	Santa Isabel	04 41	75 05	1.620	3,16	1.154	3,38
Luis Bustamante	Villarrica	03 54	74 34	1.616	3,16	1.155	3,38
Valle							
Arturo Gómez	Alcalá	04 40	75 47	1.259	3,40	1.240	3,64
Bellavista	Ansermanuevo	04 48	76 04	1.550	3,21	1.170	3,44
El Placer	Ansermanuevo	04 47	76 04	1.744	3,08	1.125	3,30
Santiago Gutiérrez	Argelia	04 44	76 07	1.530	3,22	1.175	3,45

Continúa...

Venecia	Caicedonia	04 20	75 50	1.168	3,46	1.263	3,70
El Berrión	Cartago	04 40	75 50	1.166	3,46	1.263	3,70
Santa Marta	El Aguila	04 53	76 03	1.764	3,07	1.121	3,29
Albán	El Cairo	04 47	76 11	1.510	3,23	1.179	3,46
La Selva	Ginebra	03 45	76 12	1.805	3,05	1.112	3,27
Campanella	Palmira	03 29	76 11	1.512	3,23	1.179	3,46
Julio Fernández	Restrepo	03 49	76 32	1.381	3,32	1.210	3,56
La Sirena	Sevilla	04 17	75 54	1.519	3,23	1.177	3,46
Manuel M Mallarino	Trujillo	04 13	76 19	1.331	3,35	1.222	3,59
El Recreo	Ulloa	04 42	75 44	1.421	3,29	1.200	3,52

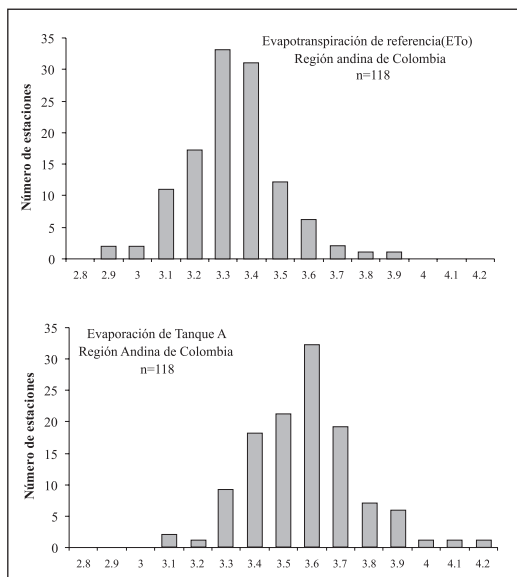


Figura 2. Frecuencia de la evapotranspiración de referencia y la evaporación de Tanque A para la zona andina de Colombia.

LITERATURA CITADA

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S; RAES, D.; SMITH, M. Evapotranspiración del cultivo; guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma, FAO, 2006. 298 p. (Estudio FAO: Riego y Drenaje No. 56).
- BARCO, J.; CUARTAS, A.; MESA, O.; POVEDA, G.; VÉLEZ, J.I.; MANTILLA, R.; HOYOS, C.; MEJÍA, J.F.; BOTERO, B.; MONTOYA, M. Estimación de la evaporación en Colombia. Avances en Recursos Hidráulicos 7:43-51. 2000.
- CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - Cenicafé. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Archivos de información climática 1950-2004. Disciplina de Agroclimatología, Chinchiná, Cenicafé. 2004.
- FRERE, M.; RIJKS, Q.; REA, J. Estudio agroclimatológico de la zona Andina. Ginebra, Organización Meteorológica Mundial – OMM, 1978. 297 p. (Nota Técnica N° 161. OMM – No. 506)
- JARAMILLO R., A. Relación entre la evaporación y los elementos climáticos. Cenicafé 40(3):86-94. 1989.
- JARAMILLO R., A.; GÓMEZ, O.F. Programa para el cálculo del balance hídrico agroclimático. Chinchiná, Cenicafé, 2000. 18 p.
- JENSEN, M.E.; BURMAN, R.D.; ALLEN, R.G. Evapotranspiration and irrigation water requirements. New York, American Society of Civil Engineers - ASCE, 1990. 332 p. (Manual and Reports on Engineering Practice No. 70)
- LASSO E., L. D. La evapotranspiración potencial del territorio colombiano estimada con el método de Penman. Bogotá, Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras – HIMAT, 1988. s.p.
- OMETTO, J. C. Bioclimatología vegetal. Sao Paulo, Editora Agronómica Ceres Ltda, 1981. 425 p.
- POVEDA, G.; VÉLEZ, J.I.; MESA, O.J.; CUARTAS, A.; BARCO, J.; MANTILLA, R.I.; MEJÍA, J.F.; HOYOS, C. D.; RAMÍREZ, J. M.; CEBALLOS, L.I.; ZULUAGA, M.D.; ARIAS, P.A.; BOTERO, B.A.; MONTOYA, M.I.; GIRALDO, J.D.; QUEVEDO, D.I. Linking long-term water balances and statistical scaling to estimate river flows along the drainage network of Colombia. Journal of Hydrologic Engineering 12 (1): 4-13. 2007.
- SELLERS, W.D. Physical climatology. Chicago, The University of Chicago Press, 1974. 271 p.