

8 La evaporación y la evapotranspiración



La evaporación es el proceso físico por el cual una masa líquida es transformada en vapor (vaporización) y se remueve desde la superficie evaporante; para el agua la cantidad de energía requerida en su evaporación es de 2,5 MJ/kg o 585 calorías/gramo.

La evaporación es un proceso determinante en el ciclo hidrológico y es el factor de gran importancia en el microclima y en el balance de energía de los agroecosistemas

La tasa de evaporación está influenciada por factores como la energía suministrada al sistema o al subsistema de referencia; las temperaturas, tanto de la superficie que evaporan como del aire, la tensión del vapor y la tasa del movimiento del aire.

La transpiración es la evaporación del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y liberada hacia la atmósfera a través de los estomas de las hojas. Las plantas pierden la mayor proporción de agua a través de los estomas (Figura 8.1). La tasa de transpiración depende de la humedad contenida en el suelo, de la fisiología del cultivo y el estado de desarrollo de la planta.

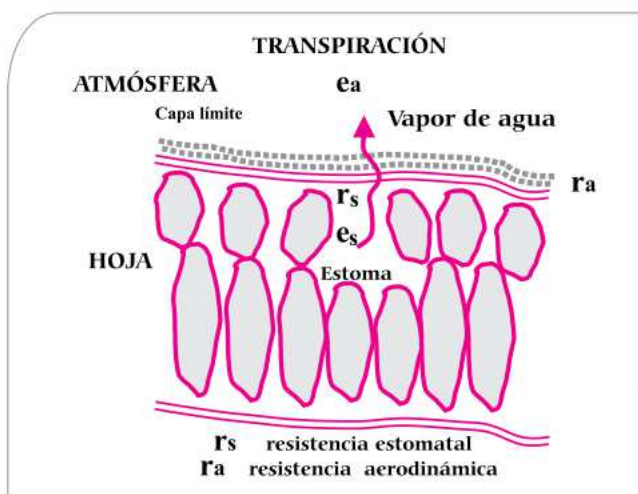


Figura 8.1. Representación esquemática del proceso de la transpiración a través de los estomas (Allen *et al.*, 1998).

La Evapotranspiración es la suma de la evaporación y de la transpiración, procesos que ocurren de manera simultánea y en la práctica no son fáciles de separar.

Factores que afectan la Evapotranspiración

La evaporación y la evapotranspiración están determinadas por los elementos del clima, las características de cultivo, su manejo, y por los aspectos ambientales.

Elementos del clima. Los principales elementos meteorológicos que afectan la evapotranspiración son la radiación solar, la temperatura del aire, la humedad del aire y la velocidad del viento.

Características de cultivo. Para idénticas condiciones meteorológicas la evapotranspiración varía con el tipo de cultivo, la variedad, el estado de desarrollo del cultivo y las diferencias en la reflexión de la radiación solar.

Manejo y condiciones ambientales. Factores como la salinidad del suelo, la baja fertilidad, la presencia de horizontes endurecidos y la ocurrencia de plagas y enfermedades reducen el desarrollo del cultivo y por tanto, la evapotranspiración. Además, prácticas como el riego, las barreras rompevientos y las distancias de siembra, alteran el microclima del cultivo modificando las tasas de evapotranspiración.

Algunos términos que se relacionan con la evaporación son los siguientes (Doorenbos y Kassam, 1988):

Evaporación potencial: es la cantidad máxima de vapor de agua que puede ser emitida por una superficie de agua libre; por ejemplo, la que ocurre desde un lago o un río.

Evapotranspiración potencial: es la cantidad máxima de agua que se puede evaporar de una capa de vegetación continua que cubre todo el terreno, cuando es ilimitada la cantidad de agua suministrada al suelo. El cultivo debe estar libre de plagas y enfermedades, bien fertilizado y bajo condiciones óptimas de suelo.

Evapotranspiración de referencia: es la cantidad de agua evaporada desde una superficie cubierta totalmente de pasto, con una altura entre 8 y 10 cm sin restricciones de agua y de nutrientes. El método de Penman-Monteith es el único método recomendado para determinar la evapotranspiración de referencia.

Evapotranspiración real: es la cantidad de agua evaporada desde el complejo planta-suelo en las condiciones meteorológicas, edafológicas y biológicas presentes. En éstas últimas se incluye el tipo de cultivo y sus fases de crecimiento y desarrollo.

Determinación de la Evapotranspiración

Para medir la evapotranspiración es necesario contar con equipos especializados de alta precisión o determinar el balance hídrico del lugar, midiendo la precipitación, la humedad del suelo y la percolación *in situ*, mediante lisímetros y así estimar la evapotranspiración a partir de las variables enunciadas.

Los métodos existentes para la determinación de la evapotranspiración se pueden clasificar en (Jensen *et al.*, 1990; Rosenberg, 1974):

Métodos de medida directa

- Evapotranspirómetros y lisímetros
- Tanque de evaporación Clase A

Métodos de cálculo

▪ **Método hidrológico**

La evapotranspiración se estima a partir de la ecuación del balance de agua:

$$ET = (LL + R) - (P + E \pm \Delta S)$$

En donde:

<i>ET</i>	Evapotranspiración
<i>LL</i>	Lluvia
<i>R</i>	Riego
<i>P</i>	Percolación
<i>E</i>	Escorrentía
$\Delta S,$	Variación de humedad en el suelo

▪ **Métodos micrometeorológicos**

Método del balance de energía (Método de la relación de Bowen)

La evapotranspiración se determina a partir de la ecuación del balance de la energía

$$\lambda E = Rn - H - G$$

λE	Evapotranspiración, mm
λ	Calor latente de vaporización de agua, J/kg
Rn	Flujo de radiación neta, $\text{kJ/m}^2\text{s}$
H	Flujo de calor sensible, utilizado en calentar el aire, $\text{kJ/m}^2\text{s}$
G	Flujo de calor en el suelo, $\text{kJ/m}^2\text{s}$.

$$\lambda E = \frac{Rn - G}{1 + \beta}$$

β , es la relación de Bowen

$$\beta = \frac{H}{\lambda E} = \gamma \frac{\delta T}{\delta e}$$

γ , es el coeficiente psicrométrico, $\text{mb}/^\circ\text{C}$

T y e , son la temperatura del aire y la tensión del vapor, medidas a diferentes alturas dentro del cultivo.

▪ **Método aerodinámico**

Con el cual se determinan los flujos verticales de vapor de agua.

$$\lambda E = -\lambda \rho_a k^2 \frac{(q_2 - q_1)(u_2 - u_1)}{[\ln(z_2 / z_1)]^2}$$

E ,	Evapotranspiración, mm
λ ,	Calor latente de vaporización de agua (J/kg)
ρ_a ,	Densidad del aire (kg/m^3)
k ,	Constante de von Karman igual a 0,41
q ,	Humedad específica (kg/kg)
u ,	Velocidad del viento (m/s)
z ,	Altura de medida (m)
1,2,	Niveles de medida dentro del cultivo

▪ **Fórmula de Penman-Monteith**

La evapotranspiración de referencia puede ser calculada mediante fórmulas, siendo una de las más precisas la de Penman – Monteith (Allen et al., 1998):

$$\lambda E = \frac{\Delta R_n + \rho C_p (e_s - e_r) / r_a}{\Delta + \gamma (1 + r_s / r_a)}$$

Donde,

λE	Evapotranspiración de referencia, mm
λ	Calor latente de vaporización de agua (J/kg)
ΔD	Pendiente de la curva de saturación de vapor de presión, (mbar/K)
R_n	Radiación solar neta, (W/m ²)
ρr	Densidad del aire, (kg/m ³)
C_p	Calor específico del aire a presión constante, (J/kg.K)
e_s	Presión de vapor a punto de saturación, (mbar)
e_r	Presión de vapor real, (mbar)
r_a	Resistencia aerodinámica, (s/m)
γg	Coefficiente psicrométrico, (mbar/K)
r_s	Resistencia estomatal, (s/m)

Para las cuencas de los ríos Cauca y Magdalena de la Zona Andina de Colombia se ha adaptado una fórmula basada en la relación de la evapotranspiración de referencia por la fórmula de Penman-Monteith y la altura sobre el nivel de mar, cuya expresión es la siguiente:

$$ETP = 4,568 * e^{(-0,0002 * A)}$$

ETP	Evapotranspiración, mm/día
A	Altitud, metros

Dentro de una comunidad vegetal la evaporación es la principal componente durante las etapas iniciales del cultivo, debido a que la fracción de radiación solar que llega a la superficie del suelo disminuye a medida que aumenta el área foliar, pero a medida que el follaje cubre la superficie del suelo, la transpiración desde el tejido vegetal se convierte en la mayor proporción de la evapotranspiración del cultivo. Es así como en un cultivo completamente desarrollado, la transpiración es responsable de cerca del 90% del uso de agua por parte del cultivo (Allen et al., 1998, Figura 8.2).

La demanda hídrica potencial de un cultivo o evapotranspiración máxima del cultivo en una etapa fenológica dada, se puede conocer mediante la siguiente expresión:

$$ET_c = K_c ET_o$$

En donde

ET _c	Evapotranspiración máxima del cultivo en cierta fase de desarrollo, mm/día
K _c	Coefficiente de consumo del cultivo (sin dimensiones)
ET _o	Evapotranspiración de referencia, mm/día; determinada con la fórmula de Penman-Monteith.

Los máximos consumos de agua de un cultivo se presentan en las épocas de floración y fructificación (Figura 8.3).

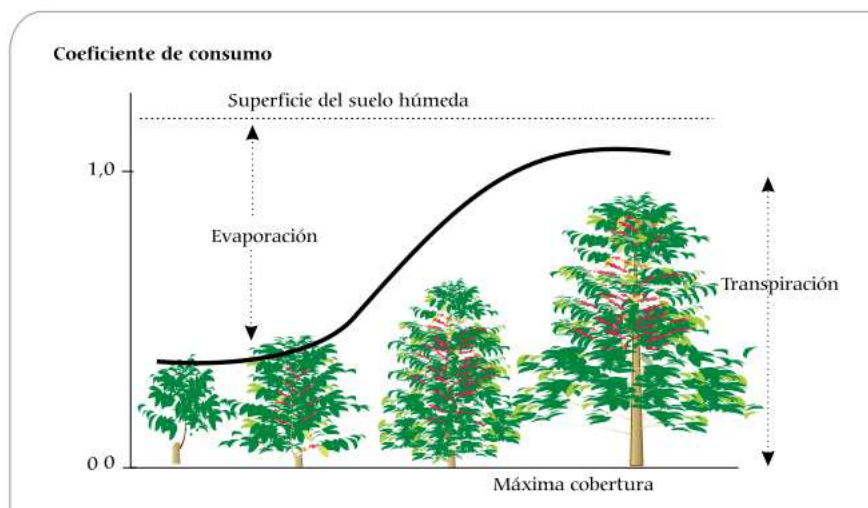


Figura 8.2. Relación entre el coeficiente de consumo de agua en un cultivo y su cobertura. Adaptado de Allen *et al.*, 1998.

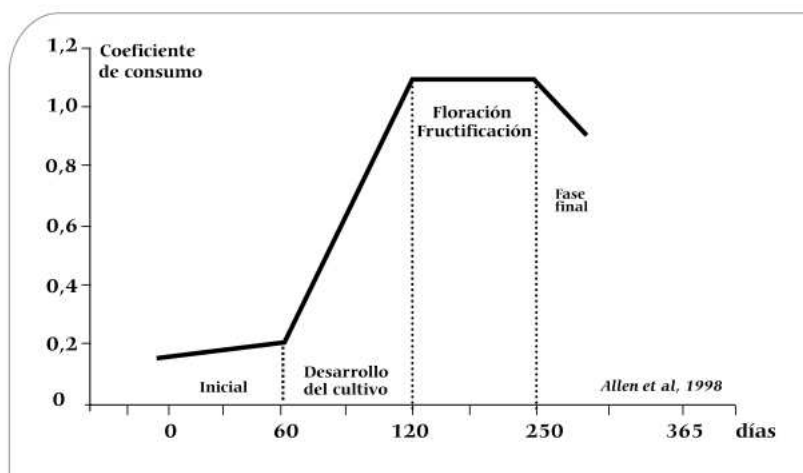


Figura 8.3. Esquema de la distribución de los coeficientes de consumo (K_c) en las diferentes fases de desarrollo del cultivo (Allen *et al.*, 1998)

La evaporación en Colombia

En la región tropical y en el caso de la Región Andina de Colombia, para una misma altitud los valores de evaporación varían muy poco entre un mes y otro, lo que se explica por la baja variabilidad de los elementos meteorológicos que la controlan, como son la radiación solar global, la temperatura del aire, la tensión de vapor y la velocidad del viento (Frere, *et al.*, 1978).

Para las condiciones climáticas de Colombia la evapotranspiración varía con la altitud, con valores que están próximos a 4,6 mm/día al nivel del mar y 2,3 mm/día a los 3.500 metros. Para el rango altitudinal de las zonas de cultivo del café entre los 1.000 y los 2.000 metros la evapotranspiración media varía entre 3,74 y 3,06 mm/día, respectivamente (Tabla 8.1).

Los valores de evaporación anual para las regiones de cultivo del café en Colombia varían entre 1.400 y 1.100 mm para las zonas bajas y altas, respectivamente. Las cantidades de evaporación anual para las condiciones de Colombia están alrededor de 800 mm (Región Pacífica) y 2.300 mm (La Guajira). En la Figura 8.4 se presenta la evaporación mensual para algunas localidades: Naranjal en la región Andina; Riohacha en la región Atlántica y Puerto Carreño en la Región de la Orinoquia.

Tabla 8.1. Variación de la evaporación con la altitud para la región Andina, cuencas de los ríos Cauca y Magdalena.

Altitud metros	Evaporación mm/día
0	4,57
500	4,13
1.000	3,74
1.200	3,59
1.400	3,45
1.600	3,32
1.800	3,19
2.000	3,06
2.500	2,77
3.000	2,51
3.500	2,27

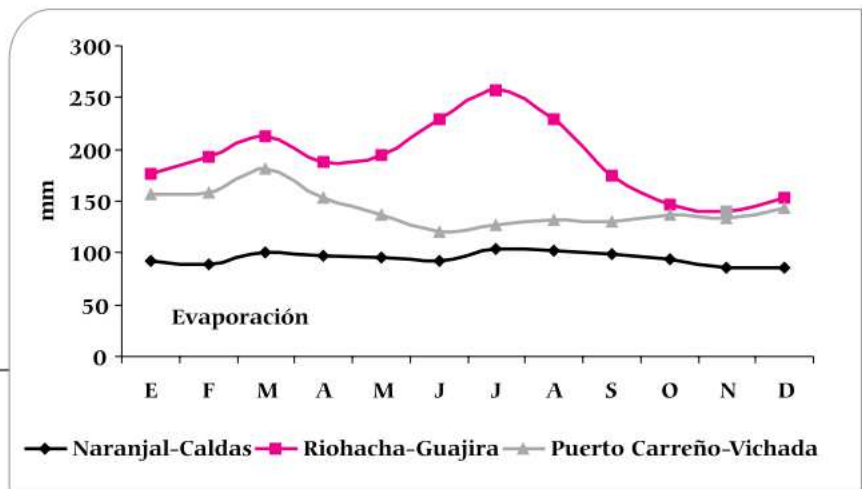


Figura 8.4. Transcurso mensual de la evaporación en algunas localidades de Colombia

Instrumentos para medir la evaporación

La evaporación y la evapotranspiración pueden ser medidas o estimadas por diferentes métodos, algunos complejos como los métodos aerodinámicos y los métodos de balance de energía. Se pueden utilizar también fórmulas, unas simples y otras más complejas como la de Penman-Monteith.

Un instrumento simple y de uso común para medir la evaporación de una localidad es el Tanque de Evaporación Clase A

