

CAPITULO 4. EVAPORACION Y EVAPOTRANSPIRACION

4.1 EVAPORACIÓN

La evaporación es un proceso físico por el cual determinadas moléculas de agua aumentan su nivel de agitación por aumento de temperatura, y si están próximas a la superficie libre, escapan a la atmósfera. Inversamente otras moléculas de agua existentes en la atmósfera, al perder energía y estar próximas a la superficie libre pueden penetrar en la masa de agua.

Se denomina evaporación el saldo de este doble proceso que implica el movimiento de agua hacia la atmósfera.

La evaporación depende de la insolación, del viento, de la temperatura y del grado de humedad de la atmósfera. Por todo esto la evaporación contemplada en un período corto de tiempo es muy variable, no así cuando el ciclo a considerar es un año, en el cual la insolación total es bastante constante. Como magnitud en zonas templadas continentales, la evaporación diaria en verano es del orden de 6 a 8 mm/día y en invierno puede ser casi despreciable.

4.2 FACTORES QUE DETERMINAN LA EVAPORACIÓN

a) Radiación solar. Es el factor determinante de la evaporación ya que es la fuente de energía de dicho proceso.

b) Temperatura del aire. El aumento de temperatura en el aire facilita la evaporación ya que: en primer lugar crea una convección térmica ascendente, que facilita la aireación de la superficie del líquido; y por otra parte la presión de vapor de saturación es más alta.

c) Humedad atmosférica. Es un factor determinante en la evaporación ya que para ésta se produzca, es necesario que el aire próximo a la superficie de evaporación no esté saturado (situación que es facilitada con humedad atmosférica baja).

d) El viento. Después de la radiación es el más importante, ya que renueva el aire próximo a la superficie de evaporación que está saturado. La combinación de humedad atmosférica baja y viento resulta ser la que produce mayor evaporación.

El viento también produce un efecto secundario que es el enfriamiento de la superficie del líquido y la consiguiente disminución de la evaporación.

e) Tamaño de la masa de agua. El volumen de la masa de agua y su profundidad son factores que afectan a la evaporación por el efecto de calentamiento de la masa.

Volúmenes pequeños con poca profundidad sufren un calentamiento mayor que facilita la evaporación.

f) Salinidad. Disminuye la evaporación, fenómeno que sólo es apreciable en el mar.

4.3 MEDIDA DE LA EVAPORACIÓN

La medida de la evaporación de una superficie de agua se realiza por medio de unos equipos constituidos a base de unos tanques o bandejas de evaporación, que tratan de reflejar en la medida de lo posible las características de inercia térmica, humedad, viento, etc., de la zona que se quiere medir.

Existen varios tipos, todos ellos con una superficie del orden de 1 a 2 112, y que se sitúan llenos de agua en la zona a medir. Todos ellos deben disponer de un pluviómetro ya que la evaporación neta debe excluir el aporte de agua por precipitación.

La evaporación se mide como volumen de déficit en el tanque, por lo que deben disponer de una medida precisa para el nivel del agua dentro del tanque.

- **de superficie**; tienen el problema de recibir mayor radiación térmica por las paredes así como de tener menos inercia térmica y de perturbar el régimen de viento en su entorno.
- **enterrados**; no tienen los problemas anteriores pero por otra parte, es más fácil que se introduzcan en ellos cuerpos extraños.
- **flotantes**; se han intentado utilizar en los embalses pero presentan graves dificultades de medida así como problemas con el oleaje.

Todos los tipos deben ser protegidos de los animales y aves por medio de mallas ya que acuden a ellos a beber.

Las medidas en tanque son mayores que las reales definiéndose un coeficiente del tanque k , tal que $k = (\text{evaporación real} / \text{evaporación en el tanque})$; k oscila entre 0,7 y 0,9 y es cuasi constante para cada tipo de tanque.

4.4 CÁLCULO DE LA EVAPORACIÓN

MÉTODO DE BALANCE ENERGÉTICO

Determina la evaporación por unidad de superficie y segundo, en función de la radiación neta que entra, de la densidad del agua, y del calor latente de evaporación (calor necesario para que una sustancia cambie de estado):

$$E = R_n / (L_v \cdot f_w) \text{ mm/día}$$

Donde $L_v = (2,501 \cdot 10^6 - 2370 \cdot T^{\circ}\text{H}_{20}) \text{ J/Kg}$.

Ejemplo. Utilizando este método, calcular la tasa de evaporación del agua desde una superficie abierta, siendo la radiación neta de 200 W/m² y la temperatura de 25 °C (la densidad del agua es 997 kg/m³).

$$L_v = (2,501 \cdot 10^6 - 2370 \cdot 25) = 2441 \text{ KJ/Kg};$$

$$\underline{E} = 200 / (2441 \cdot 10^3 \cdot 997) = 8,22 \cdot 10^{-8} \text{ m/s} = \underline{7,10 \text{ mm/día}}.$$

* Este método se emplea en zonas muy extensas (marismas, pantanos...), donde prácticamente sólo se posee el dato de la radiación solar.

MÉTODO DE MEYER

Esta fórmula ha sido muy utilizada y considera la acción del viento:

$$E \text{ (mm/día)} = c \cdot (P_a - P) \cdot (1 + v/16)$$

Donde c es un coeficiente (0,36 para grandes masas y 0,50 para charcas o pantanos); P_a es la presión del agua

de vapor en mm de Hg; P es la presión de vapor del aire en mm de Hg; y v es la velocidad del viento en Km/hora a una altura de 7,64 m. de la superficie del agua.

MÉTODO AERODINÁMICO COMPLETO

Esta forma de cálculo tiene en cuenta el viento pero no la altura. La evaporación se mide en mm/día:

$$E = B \cdot (P_a - P) = (0,102 \cdot v) / [\ln(z/z_0)]^2$$

Donde B es el coeficiente de transporte de vapor; (z ?); z_0 es la altura de rugosidad en superficies naturales (equivale a una resistencia); P_a es la presión del agua de vapor en mm de Hg; P es la presión de vapor del aire en mm de Hg; v es la velocidad del viento en Km/hora a una altura z ;

* Este método es bueno, pero a veces los resultados son excesivos debido a que intervienen muchas variables.

MÉTODO COMBINADO (aerodinámico y de balance de energía)

Es el método más preciso para el cálculo de la evaporación:

$$E = \frac{1}{(1 + \alpha)} \cdot EE + \frac{\alpha}{(1 + \alpha)} \cdot EA$$

Donde $(\alpha/^\circ\text{C})$ y $(Pa/^\circ\text{C})$ son constantes; EE es la evaporación obtenida por el método de balance de energía; y EA es la evaporación obtenida por el método aerodinámico.

4.5 PROTECCIÓN CONTRA LA EVAPORACIÓN

En climas secos y calurosos la evaporación en los embalses es muy importante y ello conlleva importantes pérdidas de agua almacenada. Por ello se ha tratado de evitar o disminuir esta evaporación, utilizándose diversos métodos entre los que destacan:

- a) La cubrición. Sólo es posible en pequeñas superficies.
- b) Disminuir la evaporación protegiendo el embalse del viento por medio de pantallas.
- c) Cubrir la superficie del agua con sólidos o líquidos flotantes que eviten la evaporación.

Entre los primeros se han utilizado placas de aislante blanco que aumentan la reflexión de la radiación solar y entre los segundos productos químicos que deben de ser estables y no miscibles con el agua ni tóxicos.

Estos métodos presentan el problema de que al evitarse la evaporación se produce un calentamiento de la masa de agua con problemas de contaminación. Por todo ello, las medidas deben tender a una mejor gestión del agua, almacenándola en embalses altos (poca evaporación) y aumentando el uso de recursos subterráneos, que sí que funcionan como auténticos embalses cubiertos.

4.6 EVAPOTRANSPIRACIÓN

Se denomina evapotranspiración a la evaporación en superficies cubiertas de vegetales junto con la transpiración de estos vegetales.

La evaporación del agua por las plantas se debe a la necesidad de agua que tienen las plantas para incorporarla a su estructura celular, además de utilizarla como elemento de transporte de alimentos y de eliminación de residuos. La circulación del agua en la planta no es un circuito cerrado, sino que por el contrario es una

circulación abierta. El agua penetra por la raíz, circula por la planta y gran parte de ella se evapora por las hojas.

La transpiración depende de los siguientes factores:

- Tipo de planta;
- Ciclo de crecimiento de la planta (inicial, vegetativo, medio, maduro);
- Tipo de suelo y humedad del suelo;
- Insolación, viento, humedad de la atmósfera, etc.

Existe una diferencia entre la cantidad de agua que la planta puede absorber del suelo Q_p y la cantidad de agua Q_l que la planta transpira.

Q_p depende del tipo de suelo, de las condiciones de humedad, así como del tipo y situación de la planta; mientras que Q_l depende de las condiciones de insolación, humedad y viento, así como de las características de la propia planta.

Si $Q_l > Q_p$, la planta se marchita o tiene que variar sus condiciones de desarrollo. Si $Q_l = Q_p$, la planta tiene suficiente circulación de agua y se desarrolla satisfactoriamente. Por último, los excesos de circulación de agua con $Q_l < Q_p$, pueden producir fenómenos contrarios al desarrollo.

4.7 EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL

Con objeto de valorar la capacidad máxima de evaporación y transpiración de un suelo, con unas determinadas condiciones atmosféricas y de radiación, se define el concepto de evapotranspiración potencial como: la cantidad de agua transpirada por unidad de tiempo, teniendo el suelo un cultivo herbáceo uniforme de 30–50 cm. de altura (alfalfa) y siempre con suficiente agua. En esas condiciones se produce el máximo de transpiración y coincide con las óptimas condiciones de crecimiento de las plantas.

4.8 CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL

MÉTODO DE BLANEY–CRIDDLE

Es una fórmula utilizable para zonas áridas:

$$E_{tp} = p \cdot (0,46 \cdot T + 8,13)$$

Donde $p = 100 \cdot (\text{n}^\circ \text{ horas luz al día} / \text{n}^\circ \text{ horas luz al año})$; T es la temperatura en $^\circ\text{C}$; y E_{tp} es la evaporación diaria en mm.

MÉTODO DE CONTAGNE

$$E_{tp} \text{ (mm/día)} = p - p^2 = p - [p^2 / (0,8 + 0,14 \cdot T)]$$

Donde p es la precipitación anual en mm. y T es la temperatura media anual.

4.10. EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL

La evapotranspiración real es inferior a la evapotranspiración potencial para los siguientes factores:

- falta de agua en algunos períodos;
- variación de la evapotranspiración según el desarrollo de la planta;
- variaciones de las condiciones atmosféricas como la humedad, la temperatura, etc.

Por todo ello:

$$\text{Evapotranspiración real} = K \cdot \text{evapotranspiración potencial}$$

El coeficiente K es variable y oscila entre 0.10 y 0.90, aproximándose a 1 cuando la planta está en su máximo desarrollo de foliación y fruto.

La medida real de la evapotranspiración se puede realizar a través de tres procedimientos:

- 1. Lisímetros.** Una estación lisimétrica es una zona de terreno natural de superficie del orden de 4 m², en la que se realiza un cultivo en condiciones reales pero con dispositivos de medida del agua suministrada, percolada y sobrante. Por diferencia de estas medidas se obtiene el agua evapotranspirada.
- 2. Sonda de neutrones.** El método de la sonda de neutrones se basa en la absorción de neutrones por el agua, lo que permite evaluar el contenido de humedad. Son medidas no destructivas y que además no alteran las condiciones hidráulicas ni de cultivo del suelo.
- 3. Balance hídrico.** El balance hídrico consiste en seleccionar una cuenca natural pequeña y medir en ella la precipitación, escorrentía y percolación; por diferencia se calcula la evapotranspiración: $E_{tpr} = P - Q - \text{Perc}$. Este método es bastante impreciso ya que la percolación es muy difícil de medir.