

Evapotranspiración

El agua en el suelo

Zonas de humedad en un suelo

Concepto de Evapotranspiración. Utilidad. Unidades

Evapotranspiración Real y Potencial

Factores que influyen en la Evapotranspiración

Medida y cálculo de la Evapotranspiración

Medida del poder evaporante de la atmósfera

Cálculo del poder evaporante de la atmósfera

Medida de la Evapotranspiración

Cálculo de la Evapotranspiración

APÉNDICE 1. Cálculo de la ETP mediante la fórmula de Thornthwaite

APÉNDICE 2. Cálculo de la ETR anual: Fórmulas de Turc y Coutagne

El agua en el suelo

Para comprender los procesos asociados a la Evapotranspiración debemos conocer algunos conceptos sencillos referentes al almacenamiento del agua en el suelo

Grado de Humedad: Peso de agua en una muestra respecto al peso de muestra seca, expresado en %. Por ej.: Peso de una muestra de suelo = 220 g. Peso después de secar la muestra en la estufa = 185 g. Grado de humedad = $35/185 \times 100 = 19 \%$

Capacidad de Campo: Grado de humedad en el momento en que el suelo ha perdido su agua gravífica

Punto de Marchitez: Grado de humedad cuando las plantas no pueden absorber más agua

Agua utilizable por las plantas: Diferencia entre los dos anteriores



FIGURA 6.20

Zonas de humedad. (CUSTODIO, p. 312)

(En laboratorio se miden centrifugando las muestras en condiciones que simulan las correspondientes a la Capacidad de Campo y al Punto de Marchitez)

Ejemplo.- Un suelo con una profundidad radicular media de 30 cm. y una densidad aparente de 1,4 tiene una capacidad de campo de 22,7 % y un punto de marchitez de 11,0 %. Calcular la capacidad de campo y el agua utilizable por las plantas en mm.

Zonas de humedad en un suelo

Lo que se encuentra por encima de la superficie freática se denomina zona de aireación o zona vadosa. La humedad en ella puede estar distribuída de un modo irregular, pero esquemáticamente podemos distinguir tres subzonas:

■ *Subzona de Evapotranspiración.* Es la afectada por este fenómeno. Puede tener desde unos pocos cm., si no existe vegetación, hasta varios metros.

■ *Subzona capilar,* sobre la superficie freática. El agua ha ascendido por capilaridad, su espesor es muy variable, dependiendo de la granulometría de los materiales.

- *Subzona intermedia*, entre las dos anteriores. A veces inexistente, a veces de muchos metros de espesor.

En toda la zona vadosa puede haber agua gravífica que aún no ha descendido o contener agua por capilaridad. En la subzona capilar, la humedad forma una banda continua, mientras que en el resto estará irregularmente repartida.

Concepto de Evapotranspiración. Utilidad. Unidades

Evapotranspiración (en adelante, ET) es la consideración conjunta de dos procesos diferentes: la evaporación y la transpiración

La **evaporación** es el fenómeno físico en el que el agua pasa de líquido a vapor (habría que añadir la sublimación --sólido a vapor-- desde la nieve y el hielo).

Se produce evaporación desde:

a) La superficie del suelo y la vegetación inmediatamente después de la precipitación

b) Desde las superficies de agua (ríos, lagos, embalses)

c) Desde el suelo, agua infiltrada que se evapora desde la parte más superficial del suelo.

Puede tratarse de agua recién infiltrada o, en áreas de descarga, de agua que se acerca de nuevo a la superficie después de un largo recorrido en el subsuelo.

La **transpiración** es el fenómeno biológico por el que las plantas pierden agua a la atmósfera. Toman agua del suelo a través de sus raíces, toman una pequeña parte para su crecimiento y el resto lo transpiran.

Como son difíciles de medir por separado, y además en la mayor parte de los casos lo que interesa es la cantidad total de agua que se pierde a la atmósfera sea del modo que sea, se consideran conjuntamente bajo el concepto mixto de ET.

Para el hidrólogo el interés de la ET se centra en la cuantificación de los recursos hídricos de una zona: Lo que llueve menos lo que se evapotranspira será el volumen de agua disponible. La ET se estudia principalmente en el campo de las ciencias agronómicas, donde la ET se considera pensando en las necesidades hídricas de los cultivos para su correcto desarrollo. Fórmulas y métodos que utilizamos en Hidrología provienen de ese campo de investigación.

Términos análogos a ET son:

Déficit de escorrentía: Al realizar el balance hídrico de una cuenca, es frecuente disponer de datos de precipitaciones y de escorrentía (aforos). La diferencia *P-Escorrentía Total* se denomina “déficit de escorrentía” queriendo decir simplemente “la precipitación que no ha generado escorrentía”. Si se trata de una cuenca hidrogeológicamente cerrada, y el balance lo estamos realizando para una serie de años (preferiblemente más de 20), sabemos que el déficit de escorrentía sólo puede ser debido a la ET; por tanto, en estas condiciones serían conceptos equivalentes.

Uso consuntivo: En las ciencias agronómicas, engloba lo evapotranspirado y el agua que la planta se queda para su crecimiento, que es proporcionalmente muy poca. Por tanto, cuantitativamente son conceptos equivalentes.¹

La **unidad** de medida es el mm. Si decimos que en un día de verano la ET puede ser de 3 ó 4 mm., es fácil de intuirlo al hablar de la evaporación desde un lago, pero en un terreno con vegetación, hemos de pensar que el agua que se ha evapotranspirado equivaldría a una lámina de agua de 3 ó 4 mm.

A veces también se utiliza el m³/Ha. Es fácil comprobar que 1 mm. = 10 m³/Ha.

Evapotranspiración Real y Potencial

Thornthwaite (1948) denominó **Evapotranspiración Potencial (ETP)** a la evapotranspiración que se produciría si la humedad del suelo y la cobertura vegetal estuvieran en condiciones óptimas.

Por el contrario, la **Evapotranspiración Real (ETR)** es la que se produce realmente en las condiciones existentes en cada caso.

Es evidente que **ETR ≤ ETP**. En un lugar desértico la ETP puede ser de 6 mm/día y la ETR de 0, puesto que no hay agua para evapotranspirar. Serán iguales siempre que la humedad del suelo sea óptima y que exista un buen desarrollo vegetal. Esto sucede en un campo de cultivo bien regado o en un área con vegetación natural en un periodo de suficientes precipitaciones.

Se trata de un concepto impreciso, pues cada tipo de planta evapotraspira distintas cantidades de agua. Cuando se estudia el tema con detalle se habla de ETP_{alfalfa} o de ETP_{gramíneas}, tomando alguno de estos cultivos como referencia.

En agricultura, hay que intentar que la diferencia ETP-ETR sea 0, o lo que es lo mismo, que las plantas siempre dispongan del agua suficiente para evapotranspirar lo que necesiten en cada momento. Se denomina **demanda de agua para riego** a dicha diferencia por un coeficiente de eficiencia de la aplicación (aspersión, goteo, etc.)

Factores que influyen en la Evapotranspiración

La evaporación depende del **poder evaporante de la atmósfera**, que a su vez depende de los siguientes factores:

- Radiación solar
- Temperatura (en relación estrecha con la anterior, pero mas sencilla de medir)
- Humedad: menos humedad => más evaporación
- Presión atmosférica (y la altitud en relación con ella): A menor presión (y/o mayor altitud) => mas evaporación
- Viento : mas viento => más evaporación

En la evaporación desde **lámina de agua libre** influye:

- El poder evaporante de la atmósfera

¹ Más genéricamente, este término (en inglés, *consumption*) se refiere a cualquier agua utilizada que no se devuelve; por ejemplo en una industria, gran parte del agua (limpieza, refrigeración,...) vuelve al sistema. En un cultivo, la única agua recuperada son los excedentes de riego, mientras que lo realmente perdido es la ET y la tomada por la planta.

- La salinidad del agua (inversamente)
- La temperatura del agua

La **evaporación desde un suelo desnudo** depende de:

- El poder evaporante de la atmósfera
- El tipo de suelo (textura, estructura, etc.)
- El grado de humedad del suelo

Finalmente la **transpiración** está en función de:

- El poder evaporante de la atmósfera
- El grado de humedad del suelo
- El tipo de planta
- Variaciones estacionales: en un cultivo, del desarrollo de las plantas, en zonas de bosque de hoja caduca, la caída de la hoja paraliza la transpiración
- Variaciones interanuales: En áreas de bosque la ET aumenta con el desarrollo de los árboles.

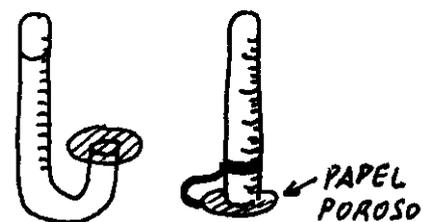
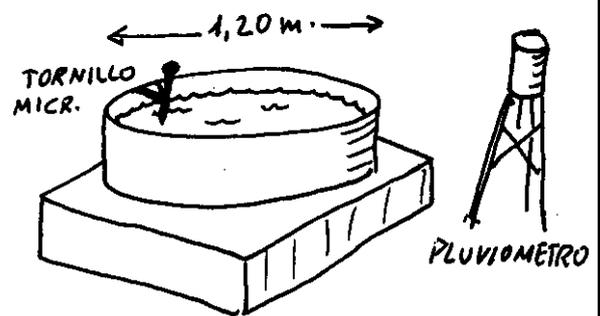
Medida y cálculo de la Evapotranspiración

Medida del poder evaporante de la atmósfera

Al realizar medidas podemos asimilar la evaporación que se produce desde una lámina de agua libre al poder evaporante de la atmósfera. Así, el equipo básico de medida es el **tanque de evaporación**, recipiente de tamaño estandarizado (En España = 1,20 mts diámetro), con un tornillo micrométrico para medir el nivel del agua con precisión. Lógicamente, al lado siempre debe existir un pluviómetro (por ejemplo, si en el tanque ha bajado el nivel 2 mm. y en el mismo periodo han llovido 3 mm., la evaporación ha sido de 5 mm.)

Estos aparatos a veces se instalan sobre balsas en embalses, donde el estudio de la evaporación tiene un gran interés.

Aunque el tanque es un equipo sencillo, se utilizan con más frecuencia **los evaporímetros de papel poroso** o Piche. Dan un error por exceso. Aproximadamente, Evaporación tanque = Evaporación Piche x 0,8.

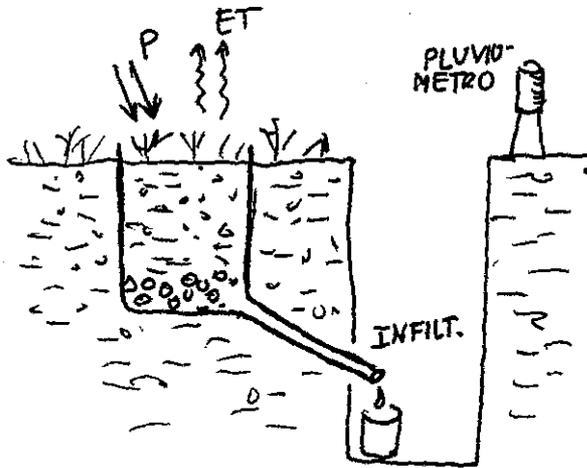


Cálculo del poder evaporante de la atmósfera

Existen numerosas fórmulas y procedimientos de cálculo, teóricas o semiempíricas, para evaluar este parámetro. Incluyen valores de temperaturas, radiación solar, velocidad del viento, tensión de vapor, etc.

Medida de la Evapotranspiración

La evapotranspiración se mide mediante **lisímetros**. Consiste en un recipiente enterrado y cerrado lateralmente, de modo que el agua drenada por gravedad (la que se hubiera infiltrado hasta el acuífero) es recogida por un drenaje. En su construcción hay que ser muy cuidadoso de restituir el suelo que se excavó en unas condiciones lo mas similares posible a las que se



encontraba. Próximo a él debe existir un pluviómetro.

Se despeja ETR de la siguiente ecuación que expresa el balance hídrico en el lisímetro :

$$\text{Precipitaciones} = \text{ETR} + \text{Infiltración} \pm \Delta \text{ almacenamiento}$$

(Hay que tener en cuenta que se construye con unos bordes que impiden la escorrentía superficial)

La única medida compleja es el Δ almacenamiento. Normalmente se mide la humedad del suelo y a partir de ahí se calcula para convertir esa humedad en una lámina de

agua equivalente expresada en mm.

Si queremos medir la ETP, es más simple. Mediante riego, debemos mantener el suelo en condiciones óptimas de humedad, y el cálculo ahora sería despejando ETP en esta expresión:

$$\text{Precipitaciones} + \text{Riego} = \text{ETP} + \text{Infiltración}$$

Ya no hay Δ almacenamiento, puesto que dicho almacenamiento está siempre completo.

Un lisímetro es difícilmente representativo de toda la región. En ocasiones se establece el balance hídrico en una **parcela experimental**, en la que se miden precipitaciones, escorrentía superficial, variaciones de la humedad en el suelo, etc. para despejar finalmente la ET. Sería un procedimiento más exacto, pero más costoso y complicado.

Cálculo de la Evapotranspiración

Numerosas fórmulas nos permiten evaluar la ETP con una aproximación suficiente para muchos estudios hidrológicos. Normalmente con estas fórmulas se calcula la ETP mes a mes para datos medios de una serie de años. Después, con la ETP mensual y las Precipitaciones mensuales, se realiza un balance mes a mes del agua en el suelo con lo que se obtiene la ETR, el déficit (=ETP-ETR) y los excedentes (agua que no puede ser retenida en el suelo y escapa a la escorrentía superficial o subterránea) para cada mes del año.

Algunas de estas fórmulas son:

	Medidas necesarias	Otros datos
Thornthwaite	Temperatura	De la latitud por una tabla se obtiene el n° teórico de horas de sol
Blannet-Criddle	Temperatura	De la latitud por una tabla se obtiene el n° teórico de horas de sol Coeficiente que depende del cultivo
Turc	Temperatura Horas reales de sol	De las horas de sol se obtiene la radiación global incidente (cal/cm ² .día) con una fórmula
Penman	Temperatura Horas reales de sol Veloc. viento Humedad relativa	Por tablas se obtienen otros parámetros necesarios

Para una **estimación de la ETR anual** cuando solamente se dispone de datos de P y temperatura, se utilizan las fórmulas de Turc (distinta de la citada más arriba y la de Coutagne), obtenidas correlacionando datos de numerosas cuencas de todo el mundo.

APÉNDICE 1

Cálculo de la ETP mediante la fórmula de Thornthwaite

1°) Se calcula un “índice de calor mensual” (*i*) a partir de la temperatura media mensual (*t*):

$$i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1,514}$$

2°) Se calcula el “índice de calor anual (*I*)” sumando los 12 valores de *i*:

$$I = \sum i$$

3°) Se calcula la ETP mensual “sin corregir” mediante la fórmula:

$$ETP_{sin\ corr.} = 16 \left(\frac{10t}{I} \right)^a$$

Donde:

ETP_{sin corr.} = ETP mensual en mm/mes para meses de 30 días y 12 horas de sol (teóricas)

t = temperatura media mensual, °C

I = índice de calor anual, obtenido en el punto 2°

a = $675 \cdot 10^{-9} I^3 - 771 \cdot 10^{-7} I^2 + 1792 \cdot 10^{-5} I + 0,49239$

4°) Corrección para el n° de días del mes y el n° de horas de sol:

$$ETP = ETP_{sin\ corr.} \cdot \frac{N}{12} \cdot \frac{d}{30}$$

Donde: *N* = número máximo de horas de sol, dependiendo del mes y de la latitud (Tabla)

d = número de días del mes

Cálculo de la ETR anual: Fórmulas de Turc y Coutagne

Se trata de fórmulas establecidas empíricamente comparando las precipitaciones y la escorrentía total de numerosas cuencas.

Fórmula de TURC:

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

Donde:

ETR = evapotranspiración real en mm/año

P = Precipitación en mm/año

L = $300 + 25 t + 0,05 t^3$

t = temperatura media anual en °C

Fórmula de COUTAGNE:

$$ETR = P - \chi P^2$$

Donde:

ETR = evapotranspiración real en metros/año

P = Precipitación en metros/año (¡unidades : metros/año!)

$$\chi = \frac{1}{0,8 + 0,14 t}$$

t = temperatura media anual en °C

La fórmula solo es válida para valores de P (en metros/año) comprendidos entre $1/8\chi$ y $1/2\chi$

Bibliografía

Aparicio, F.J. (1997).- *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. Limusa, 303 pp.

Martín, M. (1983).- Componentes primarios de Ciclo Hidrológico. *En: Hidrología Subterránea*, (E. Custodio & M.R. Llamas, eds.). Omega: 281-350.

Sánchez, M.I. (1992).- Métodos para el estudio de la evaporación y evapotranspiración. *Cuadernos Técnicos Sociedad Española de Geomorfología*, nº 3, 36 pp.

Shuttleworth, W. J. (1992).- Evaporation. *En: Handbook of Hydrology*, (Maidment, D. R., editor). McGraw-Hill: 4.1- 4.53