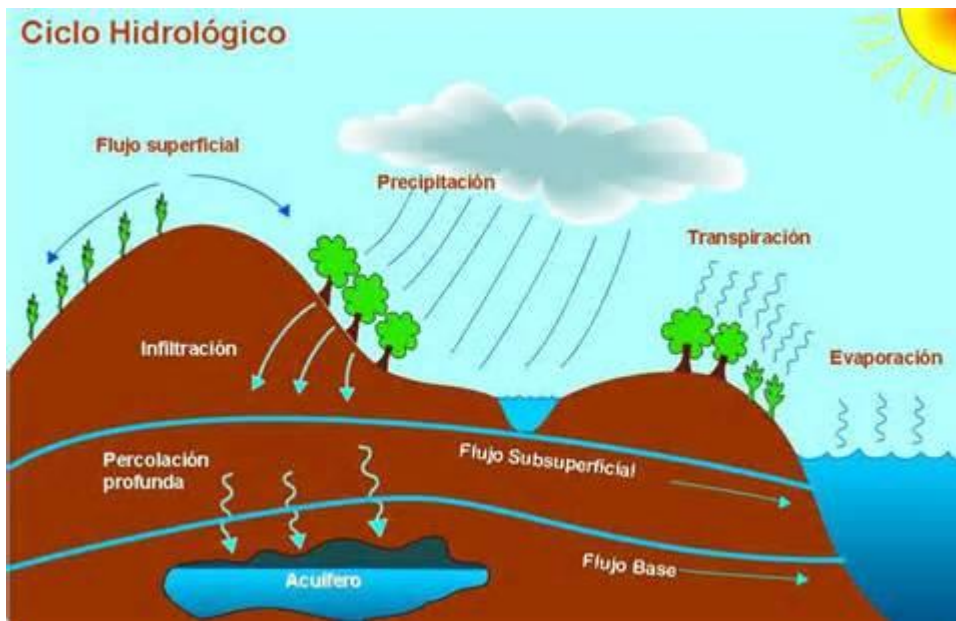


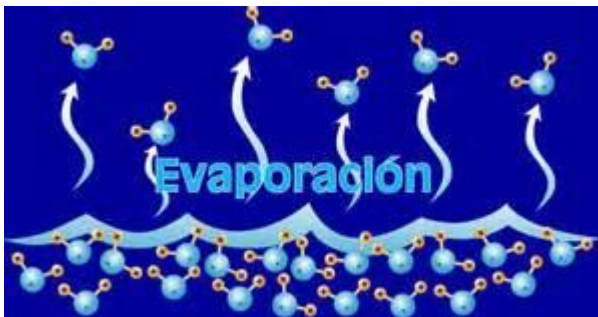
## UNIDAD 7:

### Ciclo hidrológico.



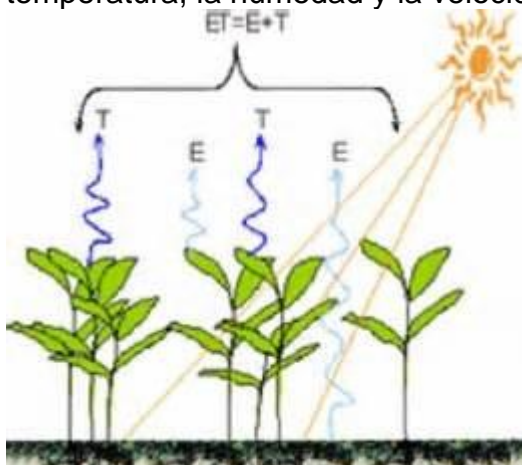
### Evaporación.

Es el cambio de estado del agua de líquido a vapor. Es la emisión de vapor de agua a la atmósfera por una superficie húmeda (en estado sólido o líquido), a temperatura por debajo del punto de ebullición, al romperse la tensión superficial que mantiene unidas las moléculas debido a la agitación térmica.



### Evapotranspiración.

Es la pérdida combinada de agua en forma de vapor desde el suelo y la transpirada por las plantas, a la atmósfera. Está influenciada por la radiación, la temperatura, la humedad y la velocidad del viento.



### **Evapotranspiración potencial (EP):**

Es la máxima evaporación posible en un intervalo de tiempo, bajo condiciones climáticas existentes, cuando el suelo se encuentra en su contenido óptimo de humedad (capacidad de campo) y cubierto totalmente con una capa vegetal.

### **Evapotranspiración real (ER):**

Es la producida en condiciones reales, teniendo en cuenta que la cobertura vegetal no siempre es completa y que los niveles de humedad en el suelo son variables.

### **Uso Consuntivo (UC):**

Es la cantidad de agua que debe aplicarse a un cultivo para que económicamente sea rentable, se expresa en mm/día.

### **Cálculo de la Evapotranspiración según el método de Penman modificado por FAO:**

Según Penman, la pérdida por evaporación de una superficie de agua es mayor que la evapotranspiración de la misma superficie con cobertura vegetal (75%). La evapotranspiración está directamente relacionada con la radiación incidente (mes del año y latitud en que me encuentre).

La FAO ha modificado la fórmula original de Penman introduciendo una corrección para las condiciones diurnas y nocturnas revisando la función del viento. La nueva ecuación queda de la siguiente forma:

$$\text{ETPo} = [W \times R_n + (1 - W) \times (e_a - e_d) \times f(V_2)] \times c$$

Siendo:

**W** = es un factor de ponderación que depende de la temperatura y de la latitud (tabulado en función de esos dos parámetros).

**R<sub>n</sub>** = radiación neta, en mm/día. La radiación neta puede ser medida, pero al no disponer de este dato, se puede estimarla a partir de los siguientes datos: R<sub>s</sub>, insolación, temperatura y humedad. La radiación neta total (R<sub>n</sub>) es igual a la diferencia entre la radiación solar neta de ondas cortas y la radiación neta de ondas largas.

$$R_n = R_{nc} - R_{nl}$$

**e<sub>a</sub>** = presión de vapor saturante, en mb, a la temperatura media del aire (tabulada en función de ella).

**e<sub>d</sub>** = presión real media del vapor en el aire, también en mb, la cual puede ser estimada a partir de la expresión:

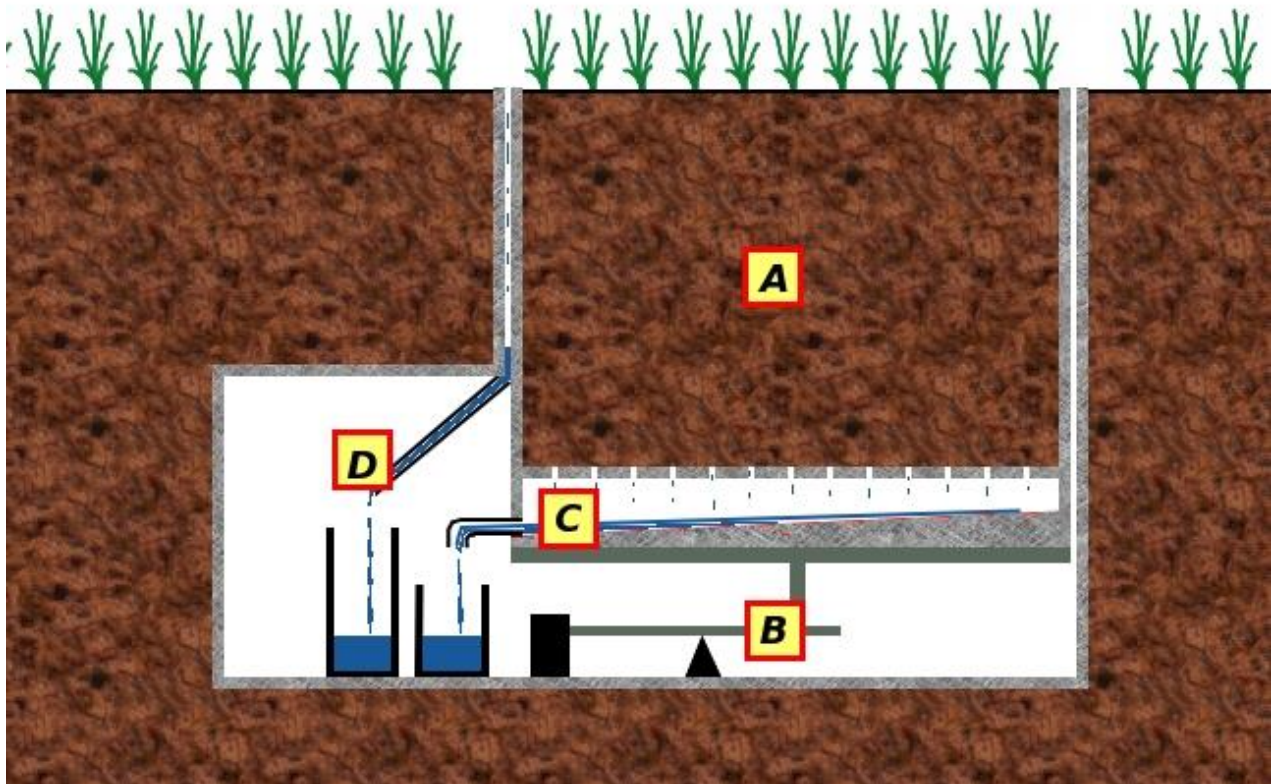
$$e_d = e_a \times \text{HRm} (\%) / 100$$

$$f(V_2) = \text{función del viento} = 0,27 \times (1 + V_2/100)$$

**V<sub>2</sub>** = velocidad del viento, en Km/día, a una altura de dos metros.

## Medición de la evapotranspiración y de la evaporación.

Un **lisímetro** es un dispositivo introducido en el suelo, relleno con el mismo terreno del lugar y con vegetación. Es utilizado para medir evapotranspiración. La medida de la evapotranspiración es determinada por el balance hídrico de los dispositivos. Normalmente hay una balanza en el fondo del lisímetro donde se puede determinar la cantidad de agua que se va evapotranspirando en el sistema. Otro tipo de lisímetro utiliza en lugar de una balanza un sistema de drenaje del agua donde la cantidad drenada de la misma equivale exactamente a la cantidad de agua evapotranspirada que es igual a la capacidad de campo.



- A) Terreno en estudio
- B) Balanza
- C) Recolección del agua de drenaje
- D) Recolección del agua de escorrentía

**El evaporímetro de Piché:** Un tubo graduado invertido va volcando agua sobre una lámina de papel secante, se mide lo que se consume.



**El evaporímetro de Livingstone:** Es una porcelana porosa la que evapora.

**El evaporímetro de Wild:** Es de balanza.



**Tanque evaporímetro:** Instrumento utilizado para medir la evaporación efectiva. Junto con un pluviómetro, un anemómetro, un termómetro y un pozo tranquilizador forma una estación evaporimétrica. Es el más usado, mide los milímetros que se evaporó del tanque.



## Estimación de ETP a partir de datos de tanque.

$$ET_o = K_p E_{pan}$$

donde:

- ET<sub>o</sub>: evapotranspiración de referencia [mm/day].  
K<sub>p</sub>: coeficiente del tanque.  
E<sub>pan</sub>: evaporación de tanque [mm/day].

Para la estimación de K<sub>p</sub>, se utilizó la ecuación propuesta por FAO para zonas con suelo desnudo y poco desarrollo agrícola, descripción que coincide con las características del suelo en la cual esta instalado el tanque tipo A.

$$K_p = 0.61 + 0.00341 \times RH_{mean} - 0.000162 \times \mu_2 \times RH_{mean} - 0.00000959 \times \mu_2 \times FET \\ + 0.00327 \times \mu_2 \times \ln(FET) - 0.00289 \times \mu_2 \times \ln(86.4 \times u_2) - 0.0106 \times \ln(86.4 \times \mu_2) \\ \times \ln(FET) + 0.00063 \times [\ln(FET)]^2 \times \ln(86.4 \times \mu_2)$$

donde:

- μ<sub>2</sub>: velocidad del viento registrada a 2 m de altura [m/s].  
RH<sub>mean</sub>: humedad relativa media diaria (%)  
d: distancia cubierta por el suelo desnudo en las proximidades del tanque (en este caso d= FET= 1000 m)

## Almacenaje de agua en el suelo (W alm).

Está expresado en milímetros y determinado por la textura del suelo, que nos va a caracterizar la capacidad de campo (W<sub>c</sub> expresado en %), el punto de marchitez permanente (W<sub>p</sub> expresado en %) del mismo, su densidad aparente (D<sub>ap</sub> expresado en g/cm<sup>3</sup>), y la profundidad de raíces del cultivo (D expresado en metros).

$$W_{alm.}(AU) = (W_c - W_p)/100 * D_{ap} * D * 1000 \text{ (mm)}$$

## Capacidad de Campo (CC o W<sub>c</sub>):

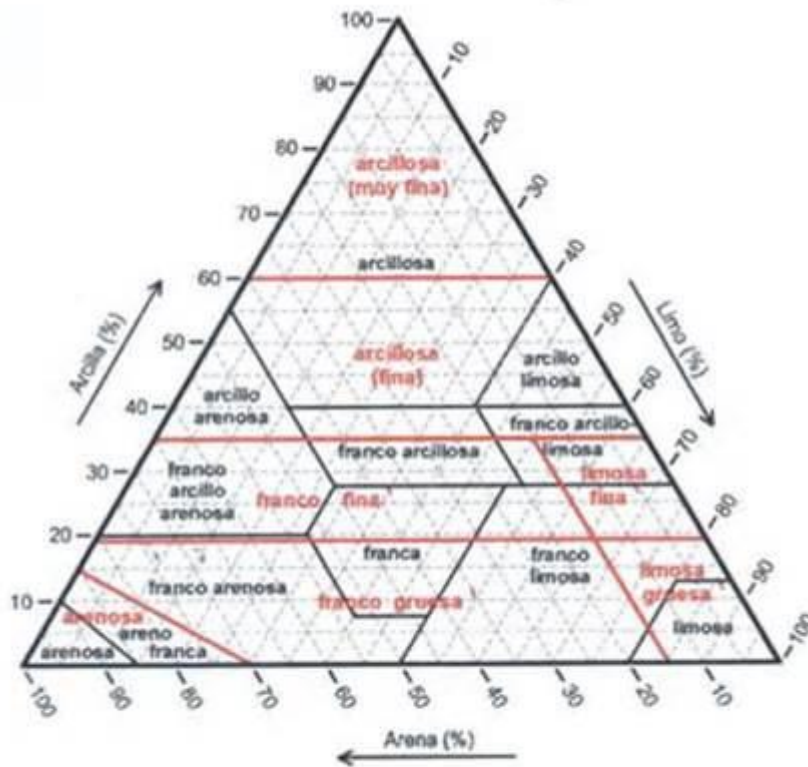
Es el contenido de agua o humedad que es capaz de retener el suelo luego de saturación o de haber sido mojado abundantemente y después dejado drenar libremente.

$$CC\% = 0.48 * \% \text{ arcilla} + 0.12 * \% \text{ limo} + 0.023 * \% \text{ arena} + 2.62$$

## Punto de marchitamiento permanente (PMP o W<sub>p</sub>):

Es el punto de humedad mínima en el cual una planta no puede seguir extrayendo agua del suelo y no puede recuperarse de la pérdida hídrica.

$$PMP\% = 0.302 * \% \text{ arcilla} + 0.102 * \% \text{ limo} + 0.0147 * \% \text{ arena}$$



Triángulos combinados de textura:  
 Clases de textura para la tierra fina ( — ) y  
 Clases de familia textural de suelos ( — )

Empíricamente podemos medir la humedad del suelo y calcular el almacenaje de agua:

$$W = (a * b * c) / 10$$

**W = Almacenaje total del agua en milímetros.**

**a = humedad del suelo en porcentaje del peso del suelo seco.**

**b = densidad del suelo en gr/cm<sup>3</sup>.**

**c = profundidad de la capa del suelo en centímetros.**

**Humedad gravimétrica (a):**

$$\% H = (\text{Peso húmedo en gramos} - \text{peso seco}) / \text{Peso seco} * 100$$

**Necesidades de agua de los cultivos.**

$$UC \text{ (mm/mes)} = (0.0311 * T + 0.24) * \frac{(T + 17.8) * P * 10 * Kc}{21.8}$$

Kc en función del cultivo, su etapa fenológica y el mes del año (insolación).

T = Temperatura media mensual (°C).

P = porcentaje diario medio de horas diurnas, se extrae de tabla, según la latitud y el mes del año en cuestión.

Para 30° Latitud sur:

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
9.61	8.40	8.68	7.5	7.44	6.9	7.44	7.75	8.1	8.99	9.3	9.92

$W_b$  (lamina bruta) =  $W_n / E_f$ . Aplicac. (En riego por goteo es de 90%)

$W_n$  (lamina neta) =  $0,6 * W_t$

$W_t$  (lámina teórica) =  $W_{alm}$ .

Cultivo	% Ciclo Vegetativo			Kc			
	B	C	D	B	C	D	E
Algodón	15	25	85	0.35	0.95	0.95	0.50
Maiz (grano)	20	45	75	0.20	1.05	1.05	0.60
Maiz (forraje)	20	45	100	0.20	1.00	1.00	1.00
Trigo, Cebada	20	45	75	0.33	1.10	1.10	0.15
Cártamo	17	45	80	0.20	1.05	1.05	0.25
Sorgo	16	42	75	0.20	1.05	1.05	0.50
Melon	21	50	83	0.80	0.95	0.95	0.75
Remolacha azucarera	15	45	80	0.20	1.15	1.15	0.95
Sandia	20	50	75	0.80	1.00	1.00	0.75
Girasol	20	45	80	0.20	1.10	1.10	0.40
Alfalfa (annual)	7	30	100	0.40	1.15	1.15	0.40
Papa	20	45	78	0.80	1.10	1.10	0.70
Tomate	25	50	80	0.30	1.10	1.10	0.65
Espárrago	12	25	95	0.25	1.00	1.00	0.25
Broccoli	20	50	83	0.30	1.00	1.00	0.80
Col	25	63	88	0.30	1.00	1.00	0.85
Zanahoria	20	50	83	0.85	0.95	0.95	0.80
Apio	15	40	90	0.80	0.95	0.95	0.95
Pepino	19	47	85	0.80	0.85	0.85	0.85
Lechuga	25	65	90	0.80	0.80	0.80	0.80
Cebolla	10	26	75	0.80	1.00	1.00	0.75
Cebollín	25	70	90	0.80	1.00	1.00	0.90
Chile, Pimiento	20	45	85	0.80	1.00	1.00	0.85
Rábanos	20	45	85	0.80	0.85	0.85	0.75
Espinacas	33	67	92	0.80	0.95	0.95	0.90
Calabaza	20	50	80	0.52	0.90	0.90	0.70
Fresas	15	45	80	0.20	0.70	0.70	0.70
Pasto (forrajes)	25	50	75	0.95	0.95	0.95	0.95
Almendro	0	50	90	0.55	1.05	1.05	0.65
Kiwi	0	22	67	0.30	1.05	1.05	1.00
Manzano	0	50	75	0.55	1.05	1.05	0.80
Vid (Viñedos)	0	25	75	0.45	0.80	0.80	0.35
Frutales de hueso	0	50	90	0.55	1.05	1.05	0.65
Nogales	0	50	75	0.55	1.05	1.05	0.80
Aguacate	0	33	67	0.70	0.70	0.70	0.70
Citricos	0	33	67	1.00	1.00	1.00	1.00
Citricos (semiárido)	0	33	67	0.90	0.90	0.90	0.90
Palma Datilera	0	33	67	0.95	0.95	0.95	0.95
Coníferas (Pinos, etc)	0	33	67	1.15	1.15	1.15	1.15
Olivos	0	33	67	0.80	0.80	0.80	0.80

Soja: E (1), F(0.98), M(0.93), O(0.74), N (0.87), D (0.96).

### El balance hidrológico.

Es el balance entre los milímetros aportados por las precipitaciones y la Evapotranspiración potencia a lo largo de un año. Se va restando el UC diario de ese mes a la humedad del suelo. Cuando llueve se suman los milímetros aportados por la lluvia, si sobrepasan la  $W_t$ , parte de capacidad de campo ( $W_c$ ) que va a ser la lámina teórica ( $W_t$ ). Cuando baja por debajo de  $W_n$ , se riega con  $W_b$  y se parte de  $W_c$  o sea  $W_t$ . Se utiliza para determinar la necesidad de riego o drenaje.

### Efectos de la vegetación sobre el balance hídrico.

En los bosques la mayor parte del agua o bien se infiltra en el suelo recargando los acuíferos o bien es absorbida por las vegetación, que más tarde la devuelven a la atmósfera mediante la transpiración. En dichos ambientes, el escurrimiento superficial sobre las laderas es escaso y el agua infiltrada sólo reaparece en la superficie con un cierto retardo en los cursos de agua como resultado de la descarga de las napas.

En áreas esteparias o desérticas, donde hay una menor cobertura vegetal capaz de retener el agua, el escurrimiento predomina.

En llanuras inundables de las regiones áridas los volúmenes de agua que llegan a los acuíferos pueden ser importantes. En dichos ambientes, particularmente en las cuencas endorreicas la mayor parte del agua se evade del ciclo terrestre a través de la evaporación.

En los pastizales subhúmedos el ciclo hidrológico presenta un comportamiento intermedio entre la dinámica árida y la dinámica húmeda.

### Otros instrumentos para medir humedad edáfica:

#### Sonda de neutrones:

Es un instrumento que posee en su extremo una pastilla de Cesio radiactivo (o cualquier otro isótopo radiactivo) que emite neutrones por su desintegración. Los neutrones colisionan con los núcleos de hidrógeno contenidos en las moléculas de agua y retornan a la sonda donde son captados por un contador Geiger, la señal se traduce a humedad edáfica.





### **Tensiómetro:**

Consiste en un tubo en cuyo extremo inferior se coloca una cápsula cerámica porosa y en el superior, herméticamente cerrado, un manómetro de vacío. Se llena de agua y se introduce en el suelo a la profundidad a medir. Por la porosidad de la cerámica se establece un equilibrio entre el tensiómetro y el agua contenida en el suelo. El manómetro mide la variación de presión que se produce y se estima con ello la humedad.



### **BIBLIOGRAFÍA**

- CASTILLO, F. E., y F. CASTELLVI SENTIS. 1996. Agrometeorología. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 517pp.
- CUADRAT, J. M., y M. F. PITA. 1997. Climatología. Ediciones Cátedra S.A. Madrid, España. 496 pp.
- FAO. 1990. Necesidades Hídricas de los Cultivos. N° 24. Roma, Italia.
- FUENTES YAGÜE, J. L. 1996. Iniciación a la Meteorología Agrícola. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 195 pp.

