

Tecnatura Universitaria en Agroecología

Agroclimatología y Agrometeorología

AGUA EN EL SUELO

Evapotranspiración

Balance hidrológico

Sequía

Agua en las plantas

Refrigeración
(Transpiración)
97 %

Medio de reacciones químicas
1%

Crecimiento (división y elongación celular)
2%

Mantiene la turgencia celular

Elemento de disolución y
transporte de nutrientes

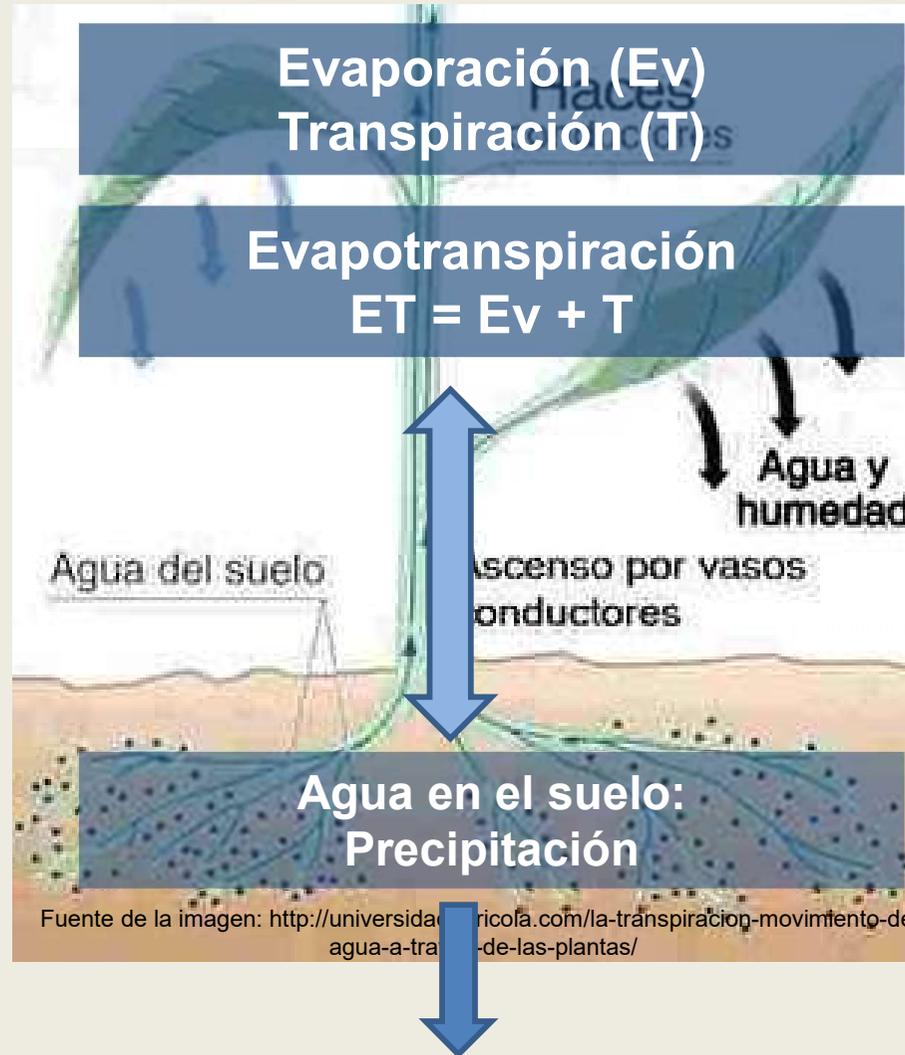


Cantidad de agua
absorbida
(transpirada)



Cantidad de materia
seca producida

Agua en las plantas



Balance hídrico del suelo: deficiencias y excesos

Requerimiento de riego

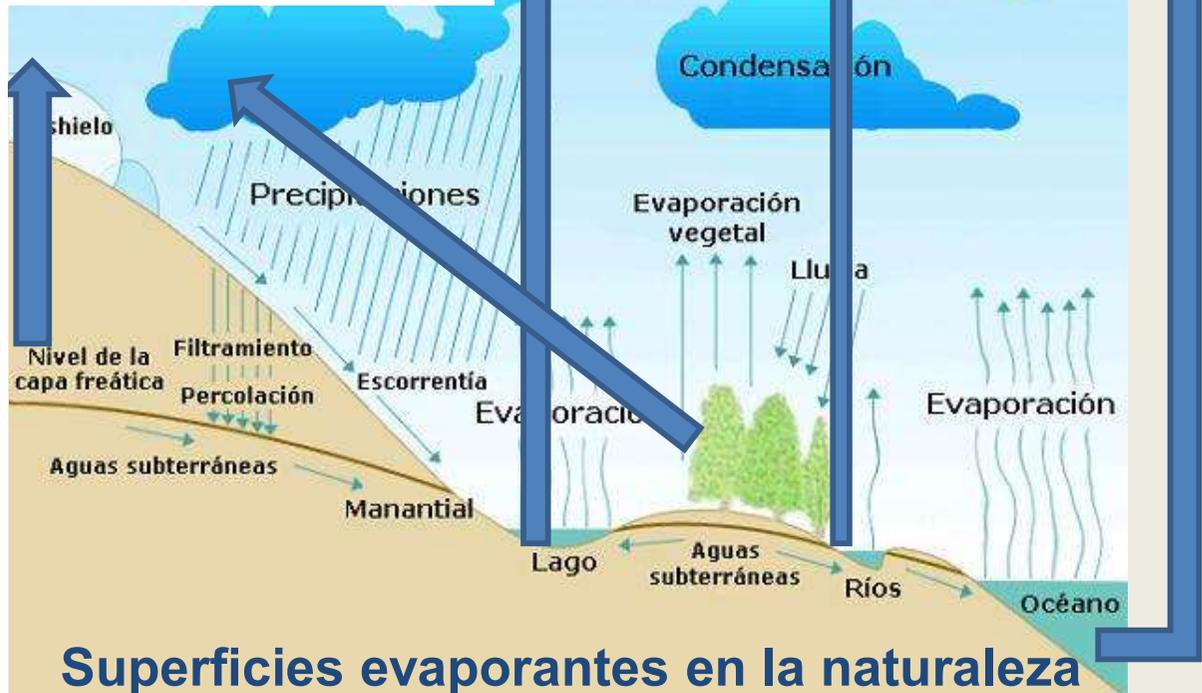
Evaporación

Proceso físico por el cual el agua pasa, en forma pacífica, de su fase líquida a la fase gaseosa

Medición: mm de la capa de agua evaporada durante un período dado

Superficies de agua: océanos, lagos, ríos

Suelos desnudos o con vegetación



Superficies evaporantes en la naturaleza

Puede ocurrir a cualquier temperatura

Debe existir energía suficiente para aportar calor latente de evaporación

El aire que rodea a la superficie evaporante no debe encontrarse saturado

580 cal.g⁻¹ de agua (a 20 °C)

Factores que inciden en la evaporación

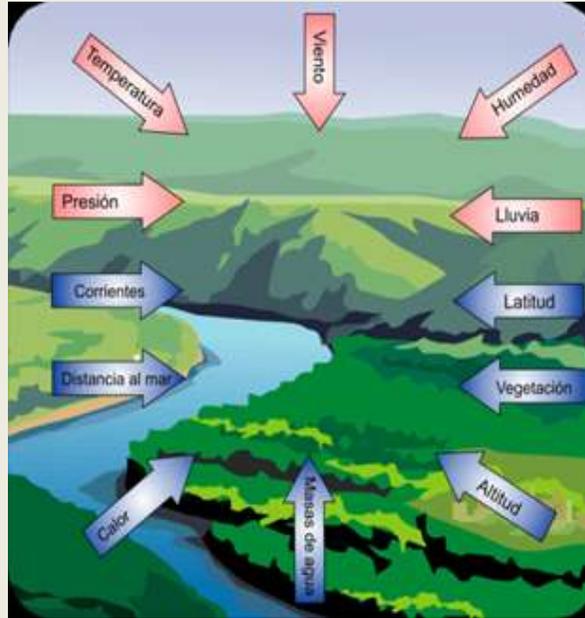
Meteorológicos

Radiación solar

Temperatura del aire y del agua

Presión de vapor (humedad)

Viento



Características de la superficie evaporante

Intercambio de vapor desde una superficie de agua libre

Intercambio de vapor desde el suelo (desnudo o con cobertura)

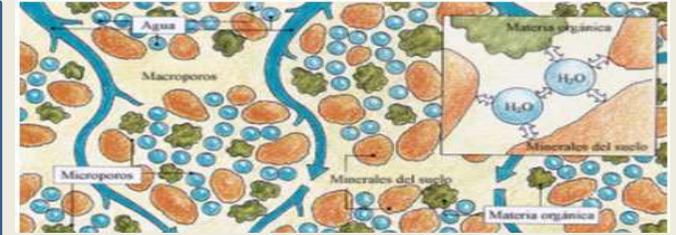
Factores meteorológicos que inciden en la evaporación

Radiación solar	Principal fuente de energía > Radiación > Evaporación
Temperatura	> temperatura del aire: + vapor puede contener > Mayor temperatura del agua: + facilidad de evaporación > Temperatura > Evaporación
Humedad del aire	Evaporación: aumenta la humedad hasta que la masa de aire circundante se sature Hidrolapso: gradiente de humedad del aire entre dos alturas > Hidrolapso > Evaporación
Viento	Remueve el aire saturado (permite que continúe la evaporación) > Velocidad > Evaporación Efecto secundario: enfriamiento de la superficie evaporante (< evaporación)

Características de la superficie evaporante

**Moléculas de agua libre:
mayor libertad de
movimiento**

Fuerza de atracción entre moléculas del suelo y del agua es mayor que entre moléculas de agua



**Moléculas de agua en el suelo:
agua de adhesión o cohesión**

Para evaporarse desde el suelo, las moléculas de agua deben vencer mayor resistencia que desde superficies líquidas

Agua libre

- Profundidad del volumen de agua

- > Volumen
- > Capacidad de almacenar calor
- > Evaporación

- Rugosidad

- > Rugosidad
- > Superficie evaporante
- > Evaporación

- Calidad del agua

- Sólidos disueltos (sales): >tensión entre moléculas de agua
- > Salinidad < Evaporación

Suelo

- Albedo

- Color claro
- > Reflexión
 - > Enfriamiento
 - < Evaporación

- Rugosidad

- > Rugosidad
- > Superficie evaporante
- > Evaporación

Estado hídrico

- Suelo saturado: > evaporación
- Suelos más secos: < evaporación

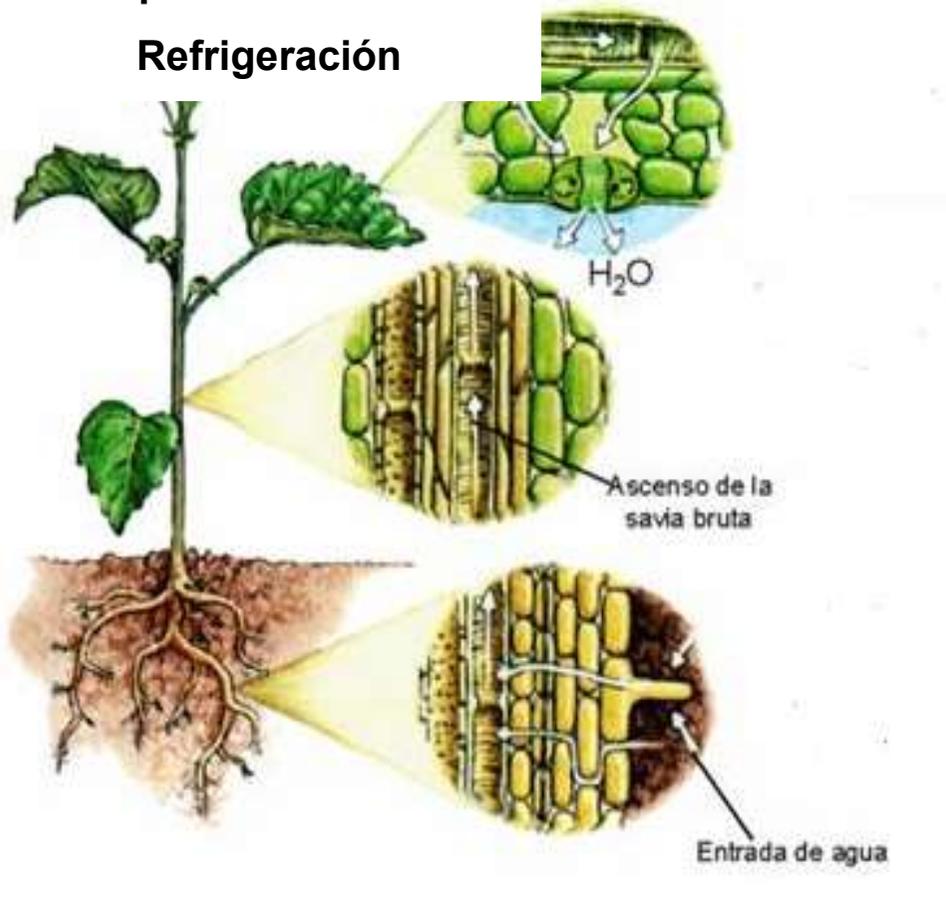
Cobertura vegetal – Transpiración

Transpiración

Proceso mediante el cual el agua fluye desde el suelo hacia la atmósfera a través de los tejidos de la planta

Transporte de nutrientes

Refrigeración



Factores vinculados al ambiente

- Disponibilidad de energía
- Presión parcial de vapor (humedad del aire)
- Advección (viento)
- Contenido hídrico del suelo
- Capacidad de retención de agua

Factores vinculados a la planta

- Densidad y comportamiento estomático
- Morfología y exposición foliar
- Cobertura foliar
- Fase fenológica
- Distribución y absorción radicular

Evapotranspiración

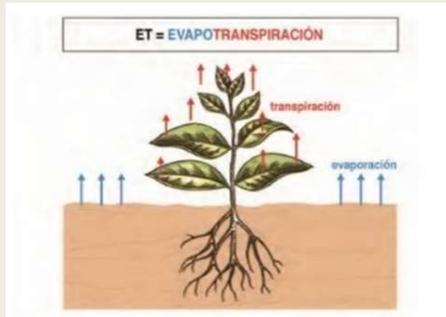
Combinación de procesos por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por **evaporación** y mediante la **transpiración del cultivo**

Energía disponible
(Balance energético sobre la superficie evaporante)



Unidades de expresión

La evapotranspiración se expresa en **mm**



Factores que inciden en la evapotranspiración

Factores que inciden en la evaporación

+

Factores que inciden en la transpiración

Climáticos o meteorológicos

Radiación solar: que alcanza la cubierta vegetal o el suelo

Velocidad del viento

Temperatura del aire
Temperatura de la superficie

Contenido de vapor de agua de la atmósfera

De la planta

Tipo de cubierta vegetal:

Albedo de las hojas
Morfología foliar
Disposición foliar
Altura de la cubierta

Edáficos

Contenido de agua y su disponibilidad

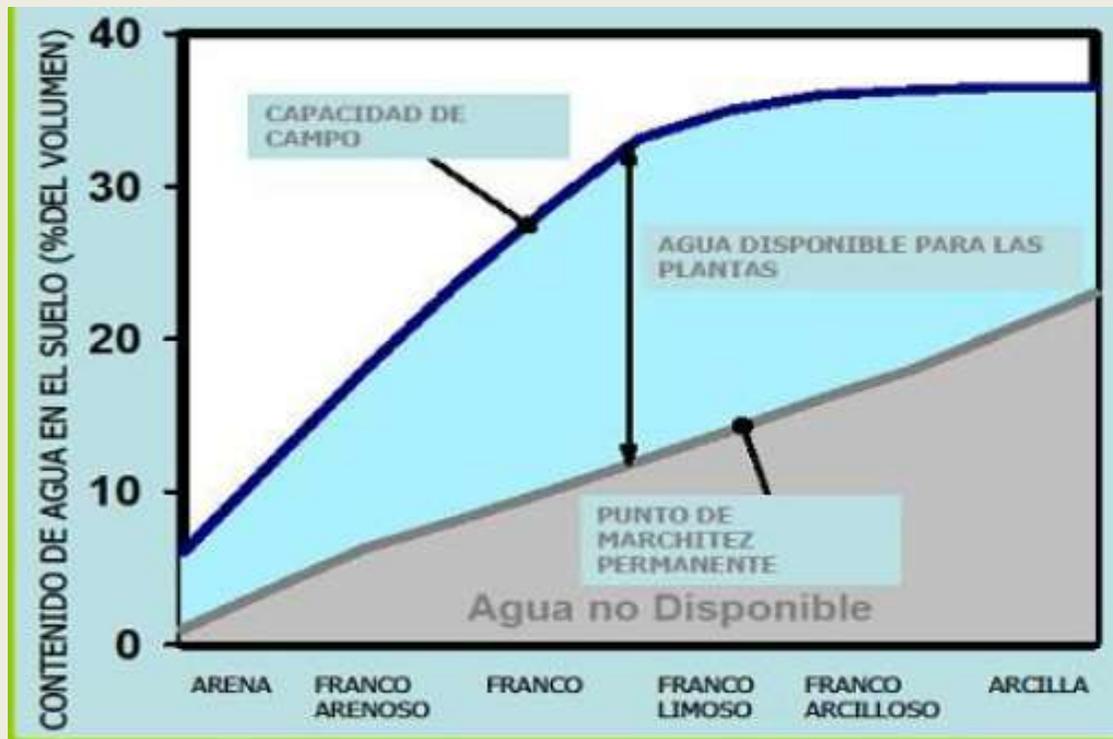
Régimen térmico

Albedo

Contenido hídrico del suelo



Agua disponible y capacidad de retención del suelo



Fuente de las imágenes: <https://slideplayer.es/slide/3749550/>

Agua en el suelo

Temperatura del suelo

A menor temperatura del suelo

- > viscosidad del agua del protoplasma y paredes celulares
- < permeabilidad de membranas celulares
- < actividad metabólica de raíces
- < velocidad de alargamiento de raíces

Evapotranspiración potencial (ETP) - mm



Cantidad máxima de agua que puede ser perdida por evaporación desde el suelo y por transpiración de las plantas, cuando el suelo se encuentra con un contenido óptimo de humedad (capacidad de campo), cubierto por completo con un manto herbáceo de poca altura (5 cm) en activo crecimiento y cuyo albedo es de aproximadamente 25%

Grado en que se satisface la

necesidad de agua

Evapotranspiración real (ETR) - mm



Cantidad de agua que evapora un suelo y las plantas, de acuerdo al contenido circunstancial de agua que posea el suelo, dependiendo de los gradientes de humedad que condicionan todos los factores en el momento de su determinación

Condiciones óptimas

$$ETP = ETR$$

**Menos Precipitación
que EP**

$$ETP > ETR$$

Nunca

$$ETR > ETP$$

EVAPORACIÓN - EVAPOTRANSPIRACIÓN

Medición



Tanque evaporímetro



Evaporímetro de Piché

Estimación



Utilizando:

- T media
- Radiación solar
- Velocidad del viento
- Tensión de vapor

Boletín Agrometeorológico Mensual
CLIMATOLOGÍA Y FENOLOGÍA AGRÍCOLA

Diciembre de 2022

UBICACION: LAT 34 59 S - LONG 57 59 W de G - A.S.N.M. 45 m

Fecha	Temperatura del aire			Temp. Suelo h=(-0,05 m) °C	Radiación Solar Wat.m2	Presión Barométrica Hpa.	Viento * (h=10 m)				Lluvia Cant. mm.	ETP mm	H ₀ %
	Media °C	Máx. °C	Min. °C				Vel. Med. Km/H.	Dir. Dom.	Vel. Máx. Km/H.	Dir.			
01/12/2022	19.4	22.4	16.4	22.3	2831.0	1008.6	11.2	SSW	46.7	S	3.4	2.2	88
02/12/2022	19.6	26.6	14.6	21.5	8719.0	1012.5	7.9	SSW	27.4	SSE	0.0	6.0	76
03/12/2022	20.1	26.2	13.2	21.6	8370.0	1010.9	6.4	E	30.6	E	0.0	5.9	73
04/12/2022	23.4	33.3	14.4	21.9	8456.0	1008.9	5.5	ENE	29.0	SE	0.2	6.4	72
05/12/2022	27.5	34.4	19.1	23.2	8674.0	1010.4	8.5	ENE	33.8	ENE	0.0	7.3	66
06/12/2022	28.1	34.8	21.9	24.1	8841.0	1010.7	10.2	NE	35.4	ENE	0.0	7.8	62
07/12/2022	28.8	34.9	24.3	24.6	6573.0	1008.3	8.3	NE	32.2	NNE	0.0	6.1	58
08/12/2022	27.8	35.9	19.9	24.7	7878.0	1004.7	6.8	W	45.1	WSW	4.6	6.5	68
09/12/2022	27.9	37.8	17.6	25.0	8171.0	1004.2	10.9	N	66.0	W	22.2	7.5	68
10/12/2022	24.3	29.3	19.3	23.7	8561.0	1010.5	10.5	ESE	33.8	E	0.0	7.3	67
11/12/2022	26.4	35.6	18.7	24.2	7577.0	1004.9	12.7	NNW	62.8	SW	11.2	6.5	77
12/12/2022	19.6	27.6	13.7	23.2	7331.0	1006.9	6.5	SSW	38.6	WSW	0.4	5.6	66
13/12/2022	19.8	26.2	10.8	22.2	8548.0	1010.6	5.7	SSW	27.4	NE	0.2	6.1	69
14/12/2022	25.7	32.2	17.6	22.6	8524.0	1007.5	10.7	N	33.8	NNW	0.0	7.9	59
15/12/2022	21.4	26.6	15.5	22.8	6861.0	1013.5	9.9	SSE	53.1	SSE	4.8	5.6	71
16/12/2022	17.7	24.1	11.2	21.7	8467.0	1016.7	8.9	ESE	35.4	ESE	0.0	6.1	71
17/12/2022	19.3	25.4	11.6	21.3	8279.0	1013.7	10.6	ESE	37.0	E	0.0	6.4	68
18/12/2022	22.5	27.6	18.6	21.8	8438.0	1014.6	13.4	ENE	40.2	E	0.0	7.1	65
19/12/2022	24.1	29.1	20.3	22.7	8592.0	1015.2	12.9	ENE	40.2	ENE	0.0	7.1	68
20/12/2022	25.0	30.6	20.7	23.7	8603.0	1015.2	14.7	ENE	43.5	E	0.0	7.3	69
21/12/2022	24.2	30.3	19.9	24.0	8576.0	1014.7	13.8	ENE	37.0	ESE	0.0	7.2	68
22/12/2022	25.5	31.6	20.8	24.4	7882.0	1011.2	14.1	ENE	38.6	NE	0.0	7.0	66
23/12/2022	23.0	26.4	20.3	24.3	4167.0	1009.1	8.2	ENE	32.2	ENE	6.0	3.3	82
24/12/2022	18.3	22.0	13.1	22.8	2894.0	1012.9	10.4	SW	48.3	S	12.8	2.1	85
25/12/2022	16.9	23.7	9.0	21.1	8164.0	1017.0	5.6	SW	29.0	SSE	0.0	5.3	71
26/12/2022	20.0	27.9	11.6	21.3	8718.0	1013.7	4.8	E	29.0	E	0.0	6.2	70
27/12/2022	24.2	30.4	15.5	22.2	8559.0	1009.9	7.9	NNE	29.0	NNE	0.0	7.3	61
28/12/2022	23.7	29.6	16.5	23.0	8491.0	1009.0	10.1	SW	40.2	SSW	0.0	6.9	66
29/12/2022	21.5	30.1	11.4	22.6	8759.0	1012.6	6.0	ENE	33.8	E	0.0	6.8	60
30/12/2022	27.7	35.0	20.4	23.4	8554.0	1007.6	12.6	N	37.0	N	0.0	8.5	53
31/12/2022	23.9	31.2	16.6	24.3	8598.0	1011.4	12.5	ESE	46.7	S	0.0	7.8	58
Media	23.1	29.6	16.6	23.0	7788.9	1010.9	9.6	E					68
Total					241456.0						65.8	197.1	
Normal del Mes (1964-2020)	22.2										81.3		
Ranking (1964-2020)	15										57		
Ranking (1911-2020)													57

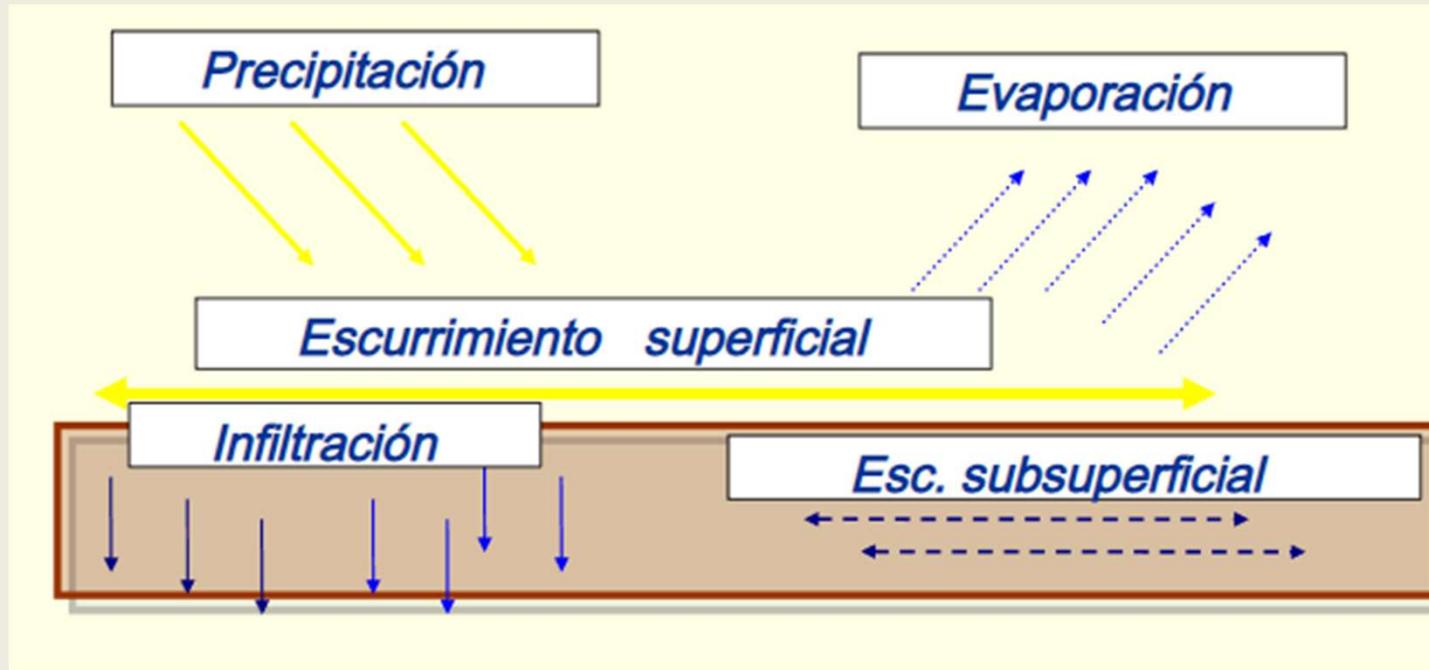
S/D=Sin datos disponibles

ETP= calculada por PENMAN-MONTEITH EMA DAVIS *

Ranking: ubicación del mes en la serie histórica ordenada de mayor a menor

Balance hidrológico del suelo

Agua almacenada en el suelo = Agua recibida – Agua perdida



$$P + I - ET - Es - D \pm (\Delta Alm) = 0$$

P e I: ingresos por precipitación e irrigación

ET: pérdida por evapotranspiración

Es: esguerrimiento superficial

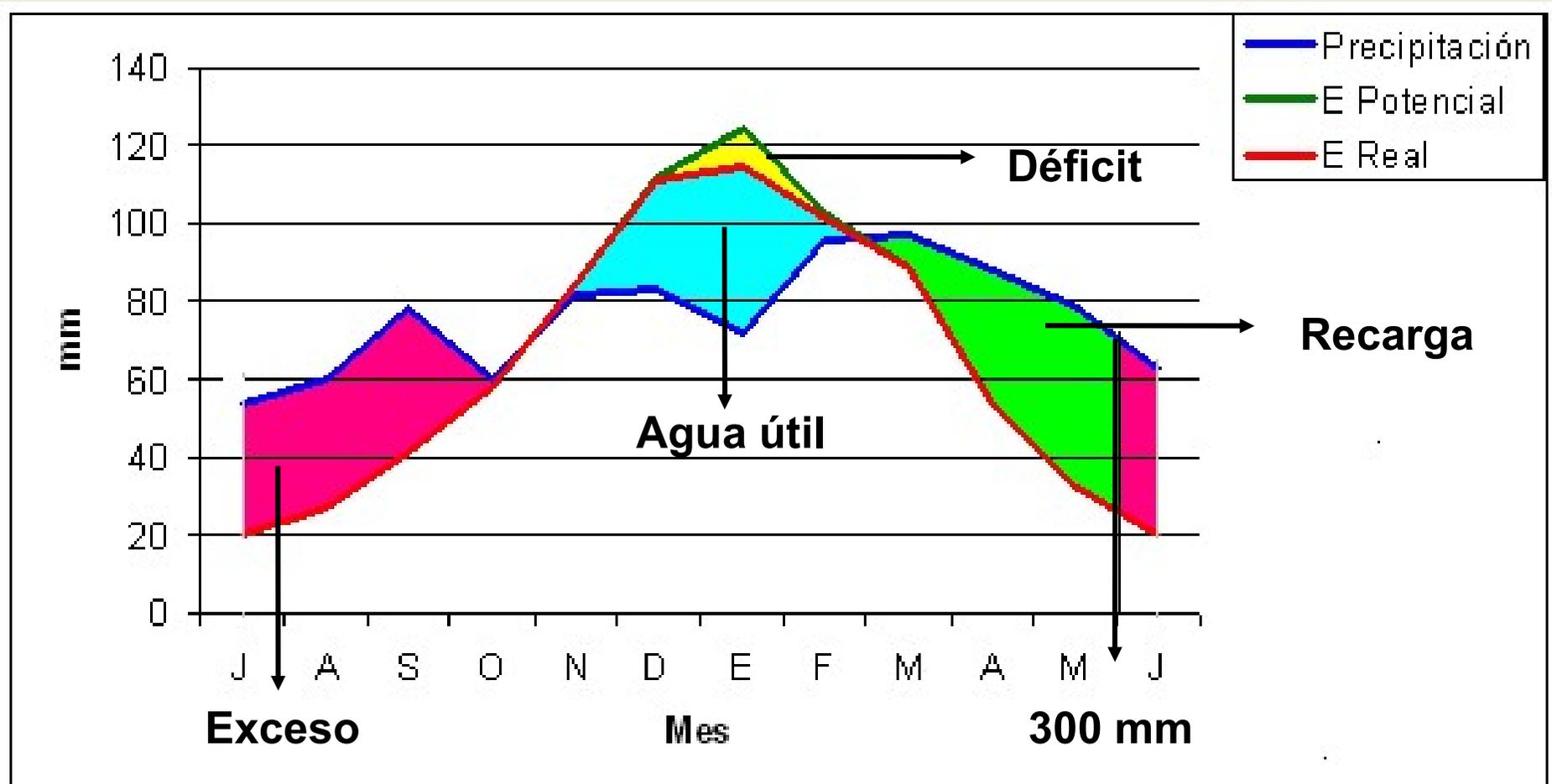
D: percolación

$\pm \Delta Alm$: variación en el contenido de agua de un suelo

Balance hidrológico del suelo

ETP	Necesidad potencial de agua de un suelo
P (precipitación)	Aporte de agua al suelo
P – ETP	(-) agua necesaria para satisfacer ETP (+) agua que excede ETP (recarga de humedad)
Almacenaje	pérdida o recarga de humedad según valores de P - ETP sean + o - Límite de almacenamiento: según suelo (300 mm)
ETR	$P > ETP$ $ETR = ETP$ $P < ETP$ $ETR < ETP$
Exceso	P que superan el límite de almacenamiento
Déficit	$ETR - ETP$

Balance Hidrológico Climático Mensual



Balance hidrológico del suelo

Aplicaciones

Balance hidrológico climático



Valores medios de P y ET

Situación hídrica media o normal de una región

Comparar climas hídricos

Delimitar regiones agrícolas

Balance hidrológico diario



Marcha diaria de la humedad del suelo

Permite decidir cuándo aportar agua por riego

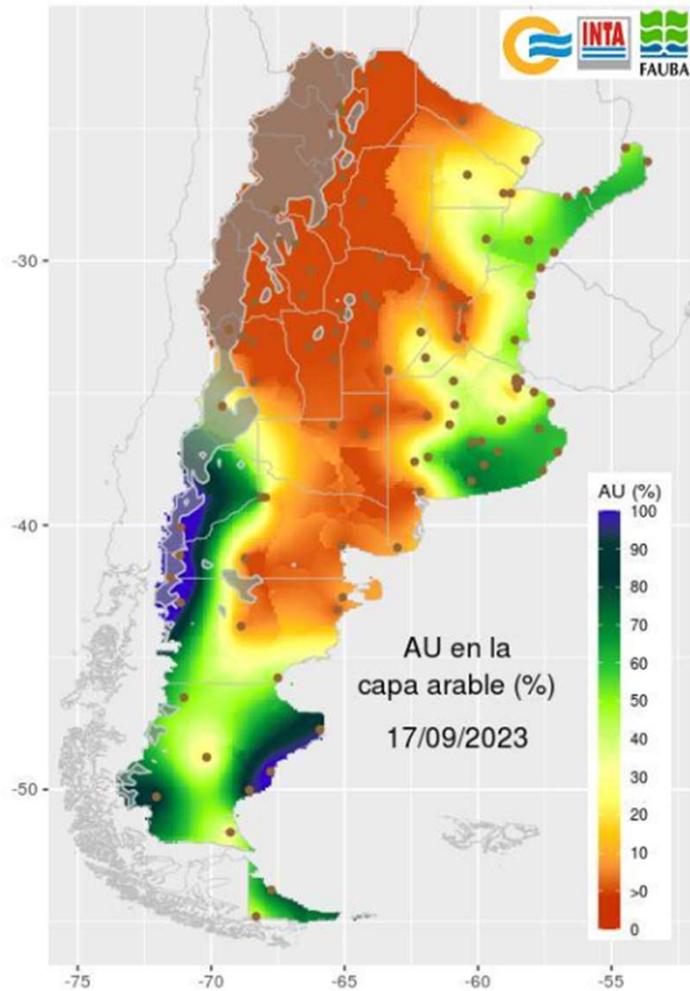
Medición de la humedad del suelo



Estación de tres tensiómetros instalados a diferentes profundidades del suelo.

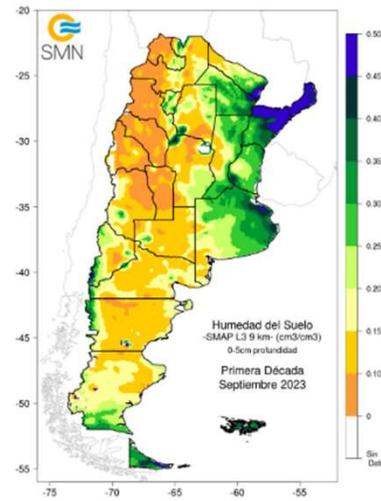
Balance hidrológico del suelo: información útil

Agua útil en la capa arable

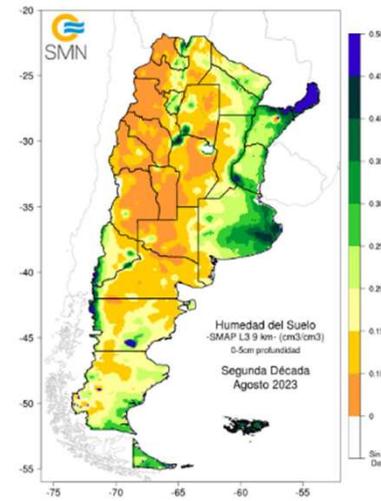


Humedad del suelo absoluta

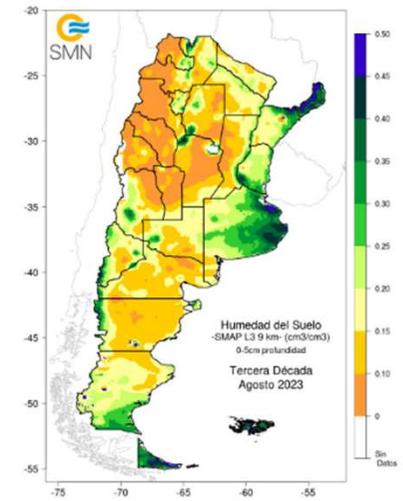
Primera década



Segunda década



Tercera década



SEQUÍA

Como fenómeno agrícola o agroclimático

Carencia de agua en las plantas

Punto de vista meteorológico

Período de tiempo sin precipitación

Causas de la sequía

- Precipitación por debajo del óptimo o normal
- Elevadas temperaturas que implican una elevada evapotranspiración

SEQUÍA: CLASIFICACION

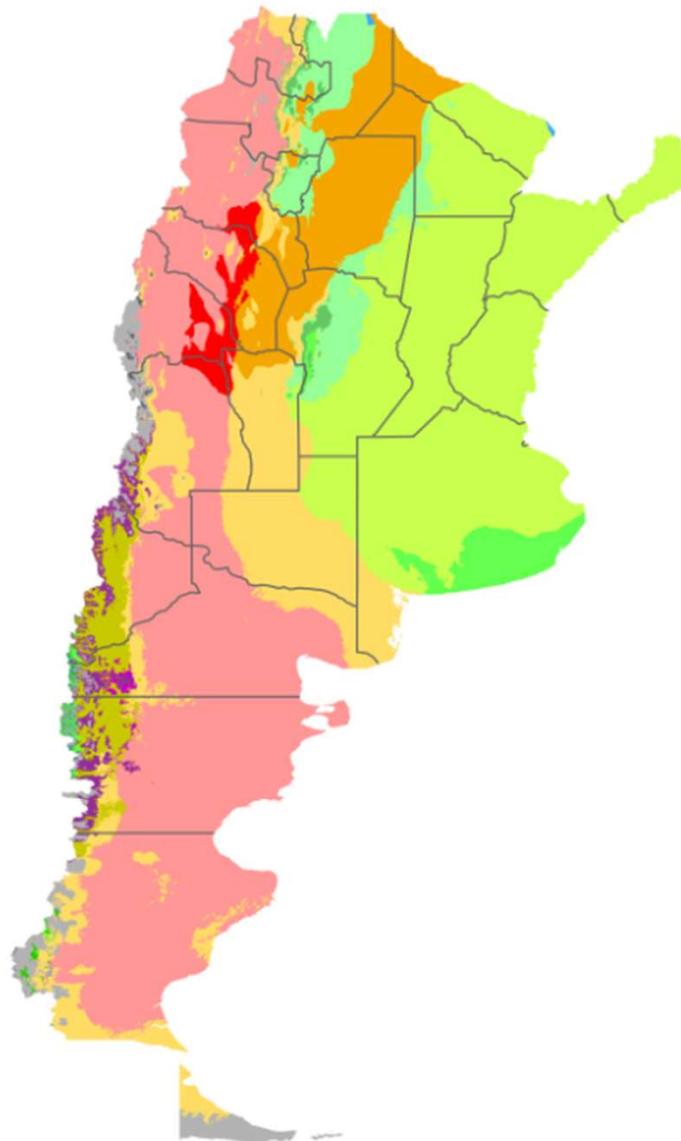
Criterio	
Meteorológico	<p>Sequía absoluta: 15 o más días consecutivos con precipitación menor a 0,2 mm</p> <p>Sequía relativa o parcial: 29 o más días con precipitación diaria inferior a 0,2 mm</p> <p>Período seco: 15 días con menos de 0,2 mm</p>
Forma de ocurrencia	<p>Accidentales: sin periodicidad fija (meteorológico)</p> <p>Periódicas o permanentes: Periódicamente ocurre una sequía (climático)</p>
Por su origen	<p>Sequía edáfica: disminución del agua del suelo</p> <p>Sequía atmosférica: altas T y baja HR, excesiva transpiración</p>
Por su apariencia	<p>Aparentes: el agua del suelo desciende por debajo del coeficiente de marchitez. El fenómeno es perceptible a la vista por el estado de las plantas</p> <p>Inaparentes: la humedad no baja del coeficiente de marchitez, pero sí por debajo de la capacidad del campo. No manifiesta daño alguno en la planta, pero sí en el rendimiento</p>
Por su época de ocurrencia	Invernales – Otoñales – Estivales - Primaverales

SEQUÍA: MÉTODOS DE LUCHA

Orientados a la demanda	Orientados a la oferta
<p data-bbox="197 300 1030 411">Usar eficazmente los recursos hídricos deficitarios</p> <p data-bbox="125 491 815 603">Modificación de la demanda del predio/cultivo</p> <p data-bbox="125 683 967 794">Reducción de pérdidas por escorrentía, drenaje y evaporación</p> <p data-bbox="125 874 1097 986">Cumplimiento de la asignación de dotaciones de riego</p>	<p data-bbox="1249 300 2002 347">Uso eficiente del recurso existente</p> <p data-bbox="1137 427 2024 539">Reducir pérdidas de transporte de agua y embalse (impermeabilizar)</p> <p data-bbox="1137 619 2105 730">Mejorar la capacidad de almacenamiento del suelo</p> <p data-bbox="1137 810 1899 858">Utilizar prácticas eficientes de riego</p> <p data-bbox="1240 938 2011 986">Incrementar los recursos existentes</p> <p data-bbox="1137 1066 1845 1114">Reutilización de aguas residuales</p> <p data-bbox="1137 1193 1818 1241">Utilización de agua subterránea</p> <p data-bbox="1137 1321 1630 1369">Desalinización de agua</p> <p data-bbox="1137 1449 1720 1497">Utilización de agua del aire</p>

Características hídricas de la Argentina

Köppen-Geiger climate classification map for Argentina (1980–2016)



- Tropical, monsoon (Am)
- Tropical, savannah (Aw)
- Arid, desert, hot (BWh)
- Arid, desert, cold (BWk)
- Arid, steppe, hot (BSh)
- Arid, steppe, cold (BSk)
- Temperate, dry summer, warm summer (Csb)
- Temperate, dry summer, cold summer (Csc)
- Temperate, dry winter, hot summer (Cwa)
- Temperate, dry winter, warm summer (Cwb)
- Temperate, dry winter, cold summer (Cwc)
- Temperate, no dry season, hot summer (Cfa)
- Temperate, no dry season, warm summer (Cfb)
- Temperate, no dry season, cold summer (Cfc)
- Cold, dry summer, warm summer (Dsb)
- Cold, dry summer, cold summer (Dsc)
- Cold, no dry season, cold summer (Dfc)
- Polar, tundra (ET)
- Polar, frost (EF)

Deficiencia gran parte del año

Estación seca muy marcada