



Facultad de
Ciencias Agrarias
y Forestales



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

TECNICATURA UNIVERSITARIA EN AGROECOLOGÍA Agroclimatología y Agrometeorología

AGUA EN EL SUELO

Evapotranspiración

Balance hidrológico

Sequía

Bibliografía básica:

Castillo, F.E. y Castellvi Sentis, F. (Coord.) 1996. Agrometeorología. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa. 517 pp. *Biblioteca parcial del Curso, 1 ejemplar.*

De Fina, A.L.; Ravelo, A.C. 1973. Climatología y Fenología Agrícolas. Buenos Aires, Argentina: EUDEBA. 281 pp. *Biblioteca central.*

Murphy, G.M. y Hurtado, R.H. (Eds.) 2013. Agrometeorología. Buenos Aires, Argentina: Editorial Facultad de Agronomía. 489 pp. *Biblioteca parcial del Curso, 1 ejemplar.*

EVAPOTRANSPIRACIÓN

En las plantas, el agua refrigera y transporta los nutrientes, existiendo una relación directa entre la transpiración y la materia seca producida; siendo por esto relevante la evaporación, la transpiración (evapotranspiración de las plantas) y el balance hídrico del suelo.

La evaporación se mide por la altura en mm de la capa de agua evaporada durante un período de tiempo dado. Físicamente, la evaporación es el pasaje del agua líquida a agua vapor. Para la realización de este proceso las moléculas del agua líquida deben aumentar su energía cinética por la incorporación de otra energía, que es, por lo general, la energía solar. La evaporación es un proceso continuo a cualquier temperatura. La cantidad de agua que se evapora en la unidad de tiempo es distinta, según sea una superficie de agua libre o una superficie de suelo variando, en este caso según el suelo esté cubierto o desnudo.

En una superficie de agua libre (mar, lagunas, etc.) la intensidad de evaporación está regulada por distintos factores:

- Cantidad de energía solar (energía incidente) que recibe, y que hace aumentar la temperatura y la energía molecular.
- Viento: a mayor velocidad del viento, mayor intensidad de evaporación debido al "arrastre del vapor", que favorece su disipación, evitando que el ambiente llegue a la saturación, con lo que cesaría la evaporación.
- Hidrolapso: distribución vertical de la humedad del aire (gradiente vertical de humedad). A mayor gradiente, mayor intensidad de evaporación.

Otras condiciones importantes se refieren al área de la superficie en estudio y, sobre todo, a la rugosidad. A mayor rugosidad (olas u ondas) mayor superficie por unidad del área y mayor evaporación. La calidad del agua también incide sobre la evaporación, dado que la presencia de sólidos disueltos (sales) aumentan la tensión entre moléculas de agua, por lo que mayor salinidad se relaciona a una menor evaporación.

En una superficie de suelo desnudo (sin cubierta), la intensidad de evaporación, además de todos los factores vistos, obedece a la cantidad de agua disponible en el suelo (si el suelo está seco no evapora); siendo una condición especial de regulación el poder con que el agua esta retenida en el suelo.

En un suelo cubierto, la intensidad de pérdida de agua depende no solo de los factores físicos, sino también de los factores de la cobertura vegetal: la densidad y el tipo de plantas, profundidad de raíces, albedo de la capa foliar, regulación transpiratoria (apertura y cierre de estomas). La transpiración tiene una velocidad o intensidad que varía con las características mismas del vegetal, y depende también de la cantidad de agua que encuentra disponible en el suelo.

El contenido de agua en el suelo es variable, y depende de la cantidad de agua que llega al suelo por precipitación y la que el suelo pierde por evapotranspiración.

El suelo es un sistema disperso compuesto por tres fases: líquida (25 %), gaseosa (25 %) y sólida (50 %). El espacio que queda entre las partículas sólidas constituye el espacio poroso, que puede ser llenado en mayor o menor grado por el agua. Así, se puede definir:

Suelo saturado: todo el espacio poroso se encuentra lleno de agua, sin presencia de aire. En este punto, el porcentaje de agua representa la cantidad máxima de agua en el suelo.

Agua gravitacional: cantidad de agua que un suelo saturado pierde por gravedad. Es decir, agua que va hacia la profundidad "percolando", obedeciendo a la fuerza de gravedad, y así el suelo deja de estar saturado, y en los espacios porosos aparece aire otra vez.

Capacidad de campo: cantidad de agua que queda en un suelo después de haber descendido o escurrido el agua gravitacional. Este contenido de agua es constante para cada suelo, y se dice que el suelo está a la **humedad equivalente**. El agua que queda en el suelo se encuentra formando una película alrededor de todas las partículas sólidas del suelo y llenando los canales que se forman dentro del suelo en virtud del ordenamiento de esas partículas; en esos capilares, el agua es retenida por tensión superficial.

Coefficiente de marchitez: si el suelo se seca por evaporación, la cantidad de agua irá disminuyendo. Si se observa una planta en ese suelo, la misma comenzará a manifestar síntomas de marchitez o decaimiento en el momento en que la cantidad de agua del suelo es insuficiente para satisfacer las funciones vitales del vegetal. Es la cantidad de agua del suelo, cuando la planta entra en marchitez, y es la cantidad de agua mínima compatible con la vida del vegetal.

Agua útil: toda el agua del suelo que está entre la capacidad de campo y el coeficiente de marchitez. Es el agua utilizable por la planta.

Agua higroscópica: agua que no es asimilable por las plantas pues no alcanza el límite mínimo para satisfacer la capacidad de absorción de las raíces. Se da cuando un suelo totalmente seco que se va irrigando muy lentamente: al principio el agua se fijará como una película muy adherida a las partículas sólidas, que muy difícilmente deja el suelo.

En la Figura 1 se esquematizan distintos contenidos de humedad del suelo.

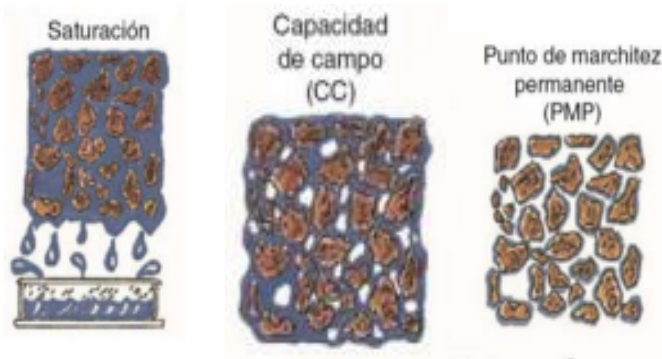


Figura 1. Esquema de los contenidos de humedad del suelo

Fuente: adaptado de Cruz, R. et al. En: https://cenicana.org/pdf_privado/no_clasificac

El suelo útil no es el suelo saturado, pues en él no hay gases necesarios para las plantas. El suelo adecuado es el que se encuentra en su humedad equivalente o capacidad de campo, y es la cantidad de humedad que mejor responde a un más activo crecimiento.

Cuando un suelo está saturado, la disponibilidad de agua en la superficie evaporante es ilimitada. Pero a medida que se va secando, o sea, que decae la cantidad de agua por debajo de la capacidad de campo, la cantidad de agua evaporada va a ser cada vez menor y, en consecuencia, disminuye la capacidad evaporativa de un suelo a medida que disminuye su cantidad de agua.

Es importante diferenciar los siguientes conceptos:

Evapotranspiración potencial (ETP): cantidad de agua posible de perderse desde un suelo por evaporación desde el mismo suelo y por transpiración de las plantas cuando el contenido de humedad del suelo es óptimo, o sea, está en su capacidad de campo. Su conocimiento permite establecer el grado en que se satisfacen las necesidades de agua de un área determinada, siendo

de suma importancia para la planificación y desarrollo de las actividades agropecuarias y forestales.

Evapotranspiración real (ER): pérdida de agua por evaporación del suelo y transpiración de las plantas, según el contenido circunstancial de agua en el suelo. En condiciones ideales (sin restricción hídrica), la ER puede tener igual valor que la ETP, pero nunca será superior a ésta.

Unidades de la evapotranspiración potencial

La evapotranspiración se expresa en milímetros (mm) acumulados de agua perdida en una determinada cantidad de tiempo, que puede ser una hora, un día, un mes, un año, o el ciclo completo del cultivo.

Medición de la evaporación

La evapotranspiración es un elemento continuo, cuyo registro se realiza principalmente en las estaciones agrometeorológicas por su importancia en las actividades agropecuarias y forestales.

Su medición se realiza mediante un tanque de evaporación, con dimensiones y características preestablecidas, en el que se realiza diariamente la medida de la altura del agua, al mismo tiempo que se lee la precipitación (Figura 2).

También puede utilizarse el evaporímetro de Piché que mide la mide la evaporación en un tiempo dado. Consiste en un tubo de vidrio graduado de 0 a 30 ml, cerrado en uno de sus extremos y lleno de agua. La parte abierta del tubo se cierra con un disco de papel secante poroso, que posee un anillo que presiona asegurando el cerramiento. El agua evaporada está marcada por el descenso del nivel de agua que se observa en el tubo medidor. Este aparato se coloca dentro del abrigo meteorológico (Figura 3).



Fuente de la imagen. Instrumentos meteorológicos. MeteoRed. Disponible en: <https://www.tiempo.com/ram/1410/instrumentos-meteorologicos-4/>

Figura 2. Tanque de evaporación



Fuente de la imagen. Petra Ramos. AEMET. Disponible en: https://meteoglosario.aemet.es/es/termino/493_evaporimetro-piche

Figura 3. Evaporímetro de Piché

La evapotranspiración implica procesos físicos que dependen de distintos factores. Así, se han desarrollado distintos métodos de estimación, a partir de la medición de estos factores como, por ejemplo: temperatura media mensual, humedad del aire, radiación neta, velocidad del viento. Las estaciones meteorológicas automáticas ofrecen el dato de evapotranspiración potencial diaria,

calculada por estos métodos de estimación, a partir del registro de otros elementos meteorológicos (Figura 4).

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	HR %
	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	2694.0	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	

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

Fuente de la imagen: Datos meteorológicos registrados con una estación automática Davis Advantage Pro2 (lat 34° 59" S - long 57° 59" W de G - a.s.n.m. 45 m), procesados por el Ing. Agr. H. Martin Pardi, Sección Agrometeorología de la Estación Experimental "Ing. Agr. Julio Hirschhorn" y la cátedra de Climatología y Fenología Agrícola de la FCAyF, U.N.L.P.

Figura 4. Ejemplo de presentación del valor de ETP en un boletín agrometeorológico

BALANCE HIDROLÓGICO DEL SUELO

El balance hidrológico define la cantidad de agua que entra y sale del suelo en un determinado tiempo. Puede ser anual, mensual, diario.

Agua almacenada en el suelo = agua recibida – agua perdida

La entrada natural de agua a un suelo se da por la precipitación. De la cantidad de agua que precipita, una parte de ella no penetra, se escurre hacia niveles más bajos. Otra parte se infiltra en la superficie aumentando el contenido de agua del suelo y saturando las distintas capas, hacia la profundidad hasta que alcanza la napa o una capa impermeable donde se pierde por escurrimiento profundo. Solo una parte del agua queda en la profundidad donde se desarrollan los cultivos. El agua en el suelo se almacena como resultado de las fuerzas de retención de las partículas, y vuelve por evapotranspiración a la atmósfera (Figura 5). Conociendo los ingresos y egresos de agua al suelo, puede aplicarse la fórmula de balance, adecuada a escala macro (cuencas hidrológicas, masas continentales) hasta a nivel de campos o parcelas.

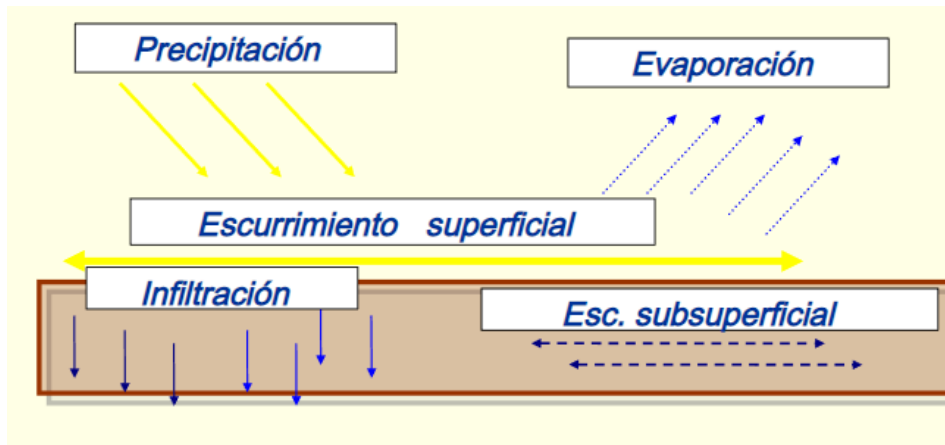


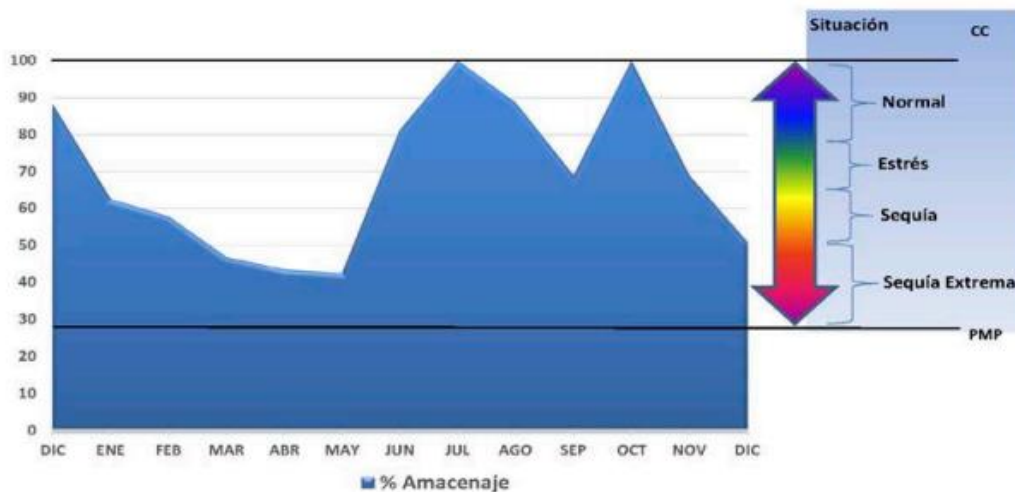
Figura 5. Movimiento del agua en el suelo

Para conocer la climatología del agua en el suelo, están ampliamente difundidas las estimaciones que se realizan mediante el cómputo del Balance Hidrológico Climático Mensual. Este método consta del cálculo de entradas (precipitaciones o riegos), y salidas (evapotranspiración) de agua del suelo. Por medio de este balance y de la comparación de la marcha estacional de la precipitación con relación a la evapotranspiración, pueden calcularse otros parámetros de humedad que se encuentran relacionados, tales como el exceso, la deficiencia y el almacenaje de agua en el suelo (Figura 6).

Balance Hidrológico	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Exceso de agua en mm	---	---	---	---	---	---	38	---	---	19	---	---
Deficit de agua en mm	25	9	29	12	4	---	---	2	15	---	18	35
mm de agua almacenada en el suelo hasta 1m de profundidad	188	174	141	131	128	244	300	266	207	300	207	153

CC= capacidad de campo, Cantidad de agua que puede almacenar el suelo 300mm
 PMP=punto de marchitez permanente, cantidad nula de agua disponible para la una planta 75mm

Gráfico 1: Evolución del almacenaje de agua en el suelo considerando una profundidad de 1 m, un valor máximo de 300mm en suelo argiudol típico con b2t (2018/19)



Fuente de la imagen: Datos meteorológicos registrados con una estación automática Davis Advantage Pro2 (lat 34° 59" S - long 57° 59"W de G - a.s.n.m. 45 m), procesados por el Ing. Agr. H. Martín Pardi, Sección Agrometeorología de la Estación Experimental "Ing. Agr. Julio Hirschhorn" y la cátedra de Climatología y Fenología Agrícola de la FCAyF, U.N.L.P.

Figura 6. Ejemplo de presentación distintos parámetros de humedad en el suelo en un boletín agrometeorológico

El balance hidrológico climático es de escala macroclimática, dado que usa valores medios de precipitación y ETP. Representan la situación hídrica media o normal de una región, pudiendo utilizarse para la comparación de la disponibilidad hídrica entre distintas regiones o la delimitación de regiones según su aptitud productiva (agrícolas, ganaderas, forestales). También existen metodologías que se basan en la utilización de datos diarios, o incluyen mayor número de variables. La selección del tipo de balance a utilizar depende del tipo de estudio que se desee de riego a aplicar, no es de utilidad un balance climático, sino que debe recurrirse a metodologías que apliquen datos diarios.

El Servicio Meteorológico Nacional brinda información sobre el balance de agua en el suelo, que puede utilizarse para conocer el agua útil en el perfil para distintas regiones del país en la fecha deseada (Información disponible en: https://www.smn.gob.ar/monitoreo_estados). También emite mensualmente boletines agrometeorológicos que presentan datos referidos a la evolución del agua almacenada en el suelo para el periodo en estudio y su comparación con datos históricos de referencia (<http://repositorio.smn.gob.ar/handle/20.500.12160/376>).

Medición de la humedad del suelo

La medición directa de la humedad del suelo en determinado momento y en forma continua es una de las mediciones de mayor importancia, dado se encuentra vinculada directamente al crecimiento y desarrollo vegetal. Los métodos e instrumentos son variados y distintos en cuanto a su exactitud. Uno de ellos, de uso práctico en el campo es el tensiómetro.

El tensiómetro mide la tensión o succión de agua del suelo. El instrumento consiste en un tubo de plástico lleno de agua y herméticamente cerrado, con un manómetro de vacío en la parte superior y una capsula de cerámica porosa en el extremo inferior. Cuando hay evaporación de agua desde el suelo, el agua del tensiómetro se mueve desde el tubo a través de la cápsula de cerámica hacia el suelo (por la succión del agua del suelo). A medida que el tensiómetro pierde agua se genera un vacío en el tubo, que es registrado por el manómetro. Una lectura de 0 indica suelo saturado. A medida que el suelo se va secando, aumenta el valor de la lectura. Cuando hay ingreso de agua al suelo, ésta retorna al tensiómetro y la lectura del manómetro comienza a descender (Figura 7).



Diagrama de un tensiómetro y de una estación de dos tensiómetros instalados a diferentes profundidades del suelo.



Estación de tres tensiómetros instalados a diferentes profundidades del suelo.

Fuente de las imágenes. Enciso, J.M.; Porter, D. & Périès, X. Uso de sensores de humedad del suelo para eficientizar el riego. Texas A&M. AgriLife Extensión. Disponible en: <http://riograndewater.org/media/1080/e-618s-irrigation-monitoring-with-soil-water-sensors-spanish-version.pdf>

Figura 7. Tensiómetro

SEQUÍA

Según el criterio del balance hídrico, se puede considerar este problema desde dos puntos de vista:

- La sequía como fenómeno agrícola o agroclimático: carencia de agua en las plantas
- La sequía desde un punto de vista meteorológico: período de tiempo sin precipitación

Según el balance hidrológico, la duración de la sequía está dada por el período comprendido entre los extremos de fecha en que la humedad del suelo esté por debajo de un cierto límite, mientras que su intensidad depende la magnitud del déficit de agua durante el periodo.

Un límite de utilidad es el **coeficiente de marchitez**, pero otro límite lo puede constituir la **capacidad de campo o humedad equivalente**. Recordando estas definiciones:

Capacidad de marchitez permanente o coeficiente de marchitez: máxima cantidad de agua del suelo en que se observa la marchitez de las plantas, que no desaparece aun poniéndolas en ambiente saturado por 24 horas.

Capacidad de campo: máxima cantidad de agua retenida por el suelo después de haber drenado toda el agua gravitacional.

Capacidad a humedad equivalente (agua útil o agua capilar): máxima cantidad de agua retenida por el suelo después de haber drenado toda el agua gravitacional bajo la fuerza centrífuga de 10.000 g durante 30 minutos.

Causas de la sequía

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

Clasificación de las sequías

Según un criterio meteorológico, en función de la precipitación:

Sequía absoluta: período de 15 días consecutivos o más con menos del 0,2 mm de precipitación

Sequía relativa o parcial: período de 29 días o más con precipitación diaria inferior a 0,2 mm

Período seco: 15 días con menos de 0,2 mm

Según su forma de ocurrencia:

Accidentales: se presentan sin una periodicidad fija o fluctuante. Las sequías accidentales se parecen al proceso del tiempo atmosférico

Periódicas o permanentes: estas responden al concepto de clima. Periódicamente ocurre una sequía que se transforma en un fenómeno climático

Según su origen:

Sequía edáfica: como consecuencia de una disminución del agua del suelo

Sequía atmosférica: producida por altas temperaturas y baja humedad relativa, promueven una excesiva transpiración

Por su apariencia:

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

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

Por su época de ocurrencia: invernales, estivales, otoñales y primaverales

Métodos de lucha contra las sequías

Medidas orientadas hacia la demanda

Se pretende que los recursos hídricos deficitarios, puedan usarse de manera más eficaz:

- Modificación de la demanda del predio/cultivo
- Reducción de pérdidas por escorrentía, drenaje y evaporación
- Cumplimiento de la asignación de dotaciones de riego

Medidas orientadas a la oferta

Orientadas a hacer un uso eficiente del recurso existente

- Reducir pérdidas de transporte de agua y embalse (impermeabilizar)
- Mejorar la capacidad de almacenamiento del suelo: a través de prácticas culturales que mejoren la infiltración y la capacidad de retención del agua (incorporación de materia orgánica compostada) o reduzcan la pérdida de agua por evaporación, como el uso de mulching (cobertura del suelo).
- Reducir la evaporación de espejos de agua: mediante sustancias que aumentan la tensión superficial del agua y reducen la tensión de saturación del aire sobre el agua (menor gradiente vertical y déficit de saturación). En general, los métodos antievaporativos han permitido el ahorro del 45 % de la evaporación en condiciones favorables al 30 % en condiciones desfavorables.
- Utilizar prácticas eficientes de riego, como el riego por goteo combinado con el uso de mulching.

Orientadas a incrementar los recursos existentes

- Reutilización de aguas residuales
- Utilización de agua subterránea

- Desalinización de agua: es una técnica cara, que requiere gran cantidad de energía, en la mayoría de los casos combustibles fósiles. Actualmente existen filtros que pueden desalinizar el agua con presión hidrostática, reduciendo significativamente la cantidad de energía necesaria.
- Utilización de agua del aire: sistemas que permiten aprovechar la humedad contenida en el aire, en forma de nieblas (atrapa nieblas).

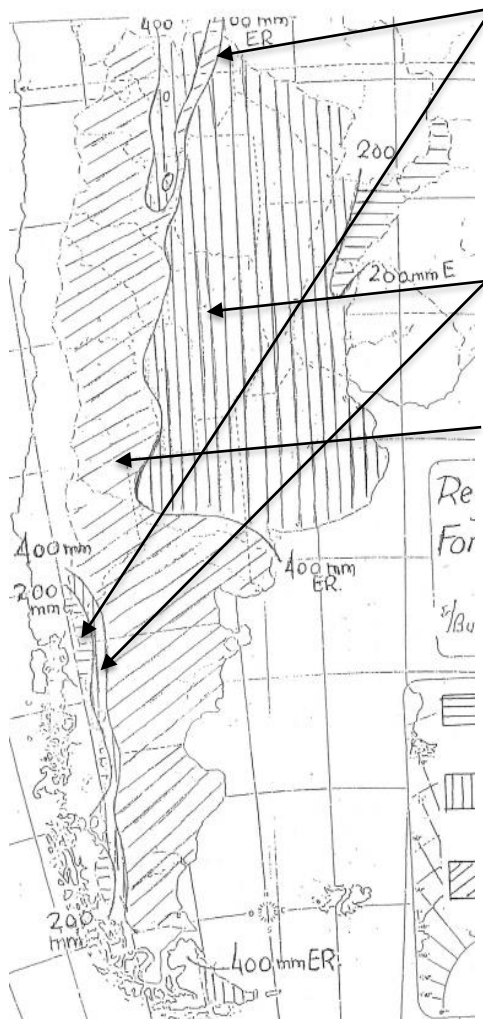
El impacto de las sequías también puede reducirse utilizando cultivos y variedades más tolerantes, planificando la ubicación espacial y temporal de los cultivos, o adoptando sistemas de seguros, entre otros.

CARACTERÍSTICAS HÍDRICAS DE LA ARGENTINA

El territorio argentino puede caracterizarse como mayoritariamente seco, es decir, que presenta menor disponibilidad de agua que la requerida para el óptimo crecimiento y desarrollo de los cultivos. Existen áreas que presentan deficiencia todo el año, y otras donde se encuentran muy marcadas la estación seca y la estación húmeda.

Los niveles de evapotranspiración o necesidad de agua son útiles para delimitar las distintas regiones productivas, como se explica a continuación:

Regiones forestales



Hay dos formas de explotación de árboles, una es en forma natural y otra es por la plantación. Según las exigencias bioclimáticas de cada especie, se puede hacer la siguiente clasificación (Figura 8):

Forestales higrófilos naturales: las condiciones, son: 400 mm de ETP, que sería el límite para la tundra, por otra parte, la ER no debe superar ese valor, ya que los árboles toman aspecto de arbustos. En cuanto al exceso de agua, esta debe exceder los 200 mm anuales.

Forestales higrófilos con riego o xerófilos sin riego: en estas regiones se cumplen las condiciones anteriores en cuanto a ETP y ER, pero el exceso es menor a 200 mm

Forestales higrófilos y xerófilos con riego: en estas regiones la ETP es superior a los 400 mm, por lo que es necesario suplementar con riego.

Figura 8. Regiones forestales

Regiones Agrícola

Para la definición de regiones agrícolas, la condición límite se debe a una problemática térmica. Los límites corresponden al período libre de heladas, con más de 150 días de duración y con una ETP menor a 500 mm. Observando (Figura 9):

1. Agricultura sin riego: deficiencia anual menor a 200 mm.
2. Agricultura con riego: deficiencia anual mayor a los 200 mm.

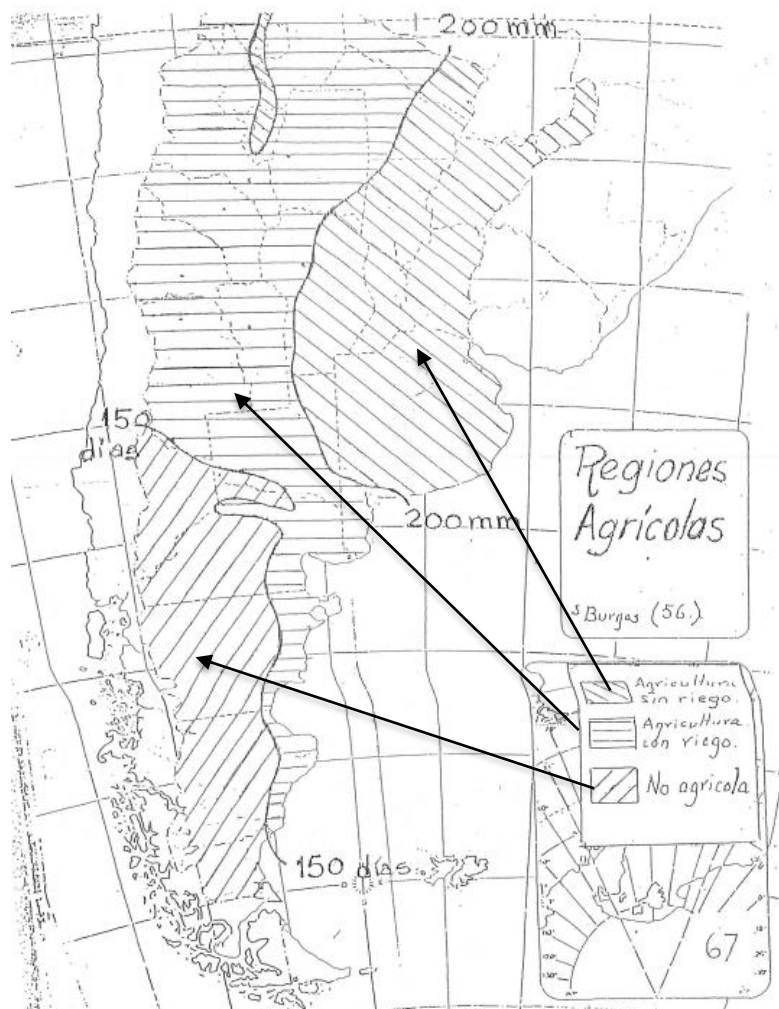
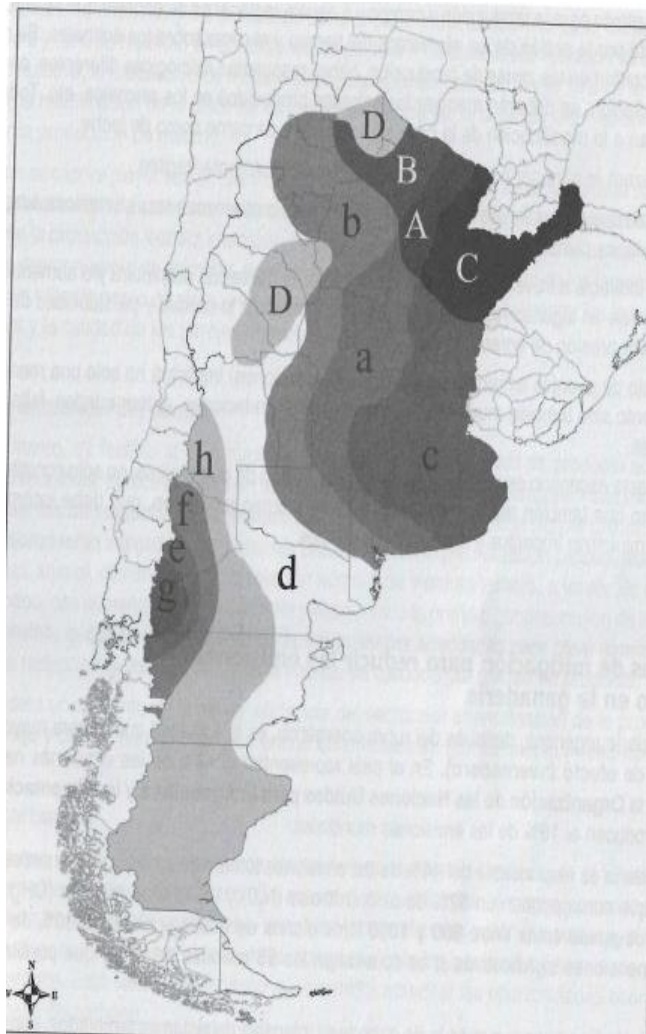


Figura 9. Regiones agrícolas

Regiones Ganaderas

Como se desarrolló previamente, respecto a las temperaturas, la isoterma de 26°C se utiliza para delimitar las regiones del país aptas para la cría de ganado europeo (climáticamente corresponde a la isoterma de 26° C del mes de enero). La región del país donde el valor de la isoterma de enero es superior a 26°C no es apta para la producción de estas razas, siéndolo para la cría de ganado asiático o hindú, debido a su mayor tolerancia al calor y a que los mecanismos de termorregulación son lo suficientemente eficaces hasta los 32° C. Inclusive, el ascenso térmico que experimentan es poco pronunciado hasta los 38° C. La isoterma de 5°C (representada climáticamente por la isoterma de 5°C del mes de julio) representa el límite entre la ganadería (templada) a campo y con estabulación (en establos).

Puede hacerse una zonificación o subdelimitación en las regiones ganaderas según el tipo de pastoreo, con valores climáticos que tengan una acción indirecta sobre el ganado (sobre su alimentación). Siendo utilizables los índices hidrológicos propuestos por Thornthwaite: índice hídrico, índice de aridez (meses deficitarios de agua), e índice de exceso¹, los que permiten evaluar la calidad y cantidad, como así también su desarrollo a lo largo de los meses del año, de las pasturas naturales. Si se aplican estos índices para la Argentina y regiones de la misma latitud, los límites serían los siguientes: las regiones ideales son aquellas en las que el índice hídrico tiene un valor comprendido entre 0 a 20; en cambio de 20 a 40 o superiores a 40 ya se observan deficiencias. El pastoreo será abundante en todas ellas, pero malo en calidad en las superiores a 20 y 40, pues en estos casos se dispondría de pastoreos hipocalcémicos. Si se analizan las regiones con índices inferiores a 0, se observa que con índices entre 0 y -20 hay pastoreos normales, pero deberían complementarse con henificación, y si el índice toma valores comprendidos entre -20 y -40 o más se trata de regiones carentes de pastoreo donde casi todo el año deberá darse alimento suplementario al ganado (Figura 10).



I. Ganado tropical	
Temperatura media del mes más cálido (enero)	> 26 °C
A. Pastoreos normales a campo	IH 0 a +20
B. Pastoreos normales con henificación por sequía	IH 0 a -20
C. Pastoreos deficitarios en Ca y P	IH > a +20
D. Pastoreos de suelos áridos y salinos. (Riego o alimentación complementaria)	IH < -20
II. Ganado mayor de clima templado sin estabulación	
Temperatura media del mes más cálido (Enero)	< 26 °C
Temperatura media del mes más frío (Julio)	> 5 °C
a) Pastoreos normales sin henificación	IH 0 a +20
b) Pastoreos normales con henificación por sequía ocasional	IH 0 a -20
c) Pastoreos deficitarios en Ca y P.	IH > +20
d) Pastoreos de suelos áridos y salinos. (Riego complementario y/o alimentación complementaria)	IH < -20
III. Ganado mayor de clima templado con estabulación	
Temperatura del mes más cálido (Enero)	< 26 °C
Temperatura del mes más frío (Julio)	< 5 °C
e) Pastoreos normales con henificación por frío. Ración complementaria	IH 0 a +20
f) Pastoreos normales con henificación por frío ó sequía ocasional	IH 0 a -20
g) Pastoreos deficitarios en Ca y P con henificación por frío y ración suplementaria	IH > 20
h) Pastoreos de suelos áridos y salinos. Riego. Henificación por frío y sequía. Ración complementaria.	IH < -20

Fuente: Valtorta, S.E.; Spescha, L. Tiempo, clima y ganadería. En: En. Murphy, G.M.; Hurtado, R.H. (Eds.). Agrometeorología. Ed. Facultad de Agronomía. UBA. pp: 385-407.

Figura 10. Regiones ganaderas clasificadas según el índice hídrico (IH) de Thornthwaite (1948)

¹ Índices hidrológicos de Thornthwaite: Índice hídrico = $(100 \times \text{exceso de agua}) - (60 \times \text{deficiencia de agua}) / \text{ETP}$; Índice de aridez = $100 \times \text{deficiencia de agua} / \text{ETP}$; Índice de exceso = $100 \times \text{exceso de agua} / \text{ETP}$.