

LOS DEFICITS HÍDRICOS Y LA PRODUCCIÓN DE LOS CULTIVOS

5.1.- Introducción. 5.2.- Respuesta de los distintos procesos o parámetros de la planta al estrés de agua. 5.3.- Balance hídrico de la planta. 5.4.- Períodos críticos. 5.5.- Mecanismos de adaptación de las plantas a la sequía.

5.1.- Introducción

El cultivo de un gran número de plantas tiene lugar en regiones áridas o semiáridas donde es normal el desarrollo de estreses hídricos originados durante períodos de sequía, o menos frecuentemente, por la ocurrencia de lluvias torrenciales (encharcamiento). El déficit hídrico afecta a la mayoría de los aspectos del crecimiento de las plantas, manifestándose tanto a nivel anatómico como morfológico y fisiológico.

El término estrés se define desde el punto de vista biológico como **cualquier factor del medio ambiente que altera el normal funcionamiento de las plantas**. Los efectos del estrés hídrico sobre el desarrollo y la productividad de las plantas han sido la base de numerosas investigaciones, siendo el efecto del estrés hídrico sobre la producción el más importante desde un sentir agronómico.

Una planta se encuentra estresada hídricamente cuando su potencial hídrico, especialmente la componente de presión, disminuye lo suficiente como para alterar su normal funcionamiento. Estos valores bajos del potencial hídrico a nivel foliar se pueden alcanzar por diferentes causas:

- ✓ Valores bajos de potencial hídrico del agua en el suelo.
- ✓ Altos flujos de transpiración o por resistencias elevadas al flujo de agua en todo su recorrido.
- ✓ En árboles de gran altura, ésta también puede contribuir ($\Delta\Psi_g$ = diferencia de Ψ_g entre el agua del suelo y la hoja).

$$\Psi_{\text{hoja}} = \Psi_{\text{suelo}} + \Delta\Psi_g - TR \cdot R_{\text{suelo a hoja}}$$

El déficit hídrico puede ser de corta duración (horas) o de larga duración (días). El primer caso suele ocurrir cuando la demanda evaporante es alta, a mediodía o poco después y a veces se produce incluso con humedad del suelo alta (en las épocas de máxima demanda evaporante se recomienda mantener valores superiores de Ψ_m , de ahí que se apliquen los valores más altos del rango recomendado de valores umbrales prerriego Ψ_m).

El déficit hídrico de larga duración está ligado al agotamiento progresivo del agua del suelo. En la figura 1 se presenta esquemáticamente la variación diaria y con los días del potencial de agua en la hoja, la raíz y el suelo a medida que el agua disponible se va agotando.

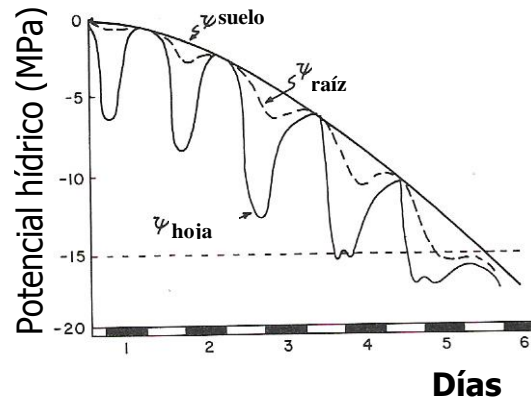


Figura 1. Representación esquemática de los cambios en el potencial hídrico del suelo (Ψ_{suelo}) y planta: raíz ($\Psi_{\text{raíz}}$) y hoja (Ψ_{hoja}), durante un período de 5 días de secado. Durante el día, Ψ_{hoja} disminuye en respuesta a las pérdidas de agua por transpiración, lo que genera un gradiente de potencial ($\Delta\Psi_{\text{suelo-hoja}}$). Al atardecer la transpiración disminuye y Ψ_{hoja} aumenta. Las barras negras indican períodos oscuros y la línea horizontal discontinua cuando se alcanzan humedades correspondientes al punto de marchitez.

5.2.- Respuesta de los distintos procesos o parámetros de la planta al estrés de agua

El déficit hídrico afecta a la mayoría de los aspectos del crecimiento de las plantas. El efecto más general es una disminución en el tamaño, área foliar y cosecha, tanto en producción como en calidad.

Los efectos del estrés hídrico en las plantas son dependientes del momento en el que ocurren, de su intensidad y duración, por lo que pueden ser específicos de la especie vegetal de que se trate y del estado fenológico en el que se encuentre.

No existe una respuesta precisa del nivel de estrés que una planta puede tolerar antes de que sus procesos funcionales, incluyendo la producción, se vean afectados. Además, hay que tener en cuenta que los diferentes procesos muestran un rango amplio con relación a la sensibilidad al estrés hídrico. La tabla 1 resume alguno de estos efectos.

- En general, los procesos respiratorios en las células se ven menos afectados por el estrés hídrico que la fotosíntesis.
- Como respuesta al estrés se produce una acumulación de aminoácidos, en especial, de *prolina* y *betaína*. La acumulación de prolina empieza cuando el déficit es suficiente para impedir el crecimiento y provocar el cierre de los estomas.
- La nutrición mineral de la planta se ve afectada.
 - ✓ Dificultad para el suministro de elementos nutritivos desde el suelo a la raíz.

✓ **Afecta a los mecanismos de absorción de las raíces y a los del transporte al tallo.**

Tabla 1. Resumen de la sensibilidad al estrés hídrico de distintos parámetros o procesos de las plantas. La longitud de las líneas horizontales indica el intervalo del nivel de estrés en el que el proceso empieza a ser afectado. La reducción en Ψ es respecto a los valores de plantas bien regadas y bajo condiciones de demanda evaporativa moderada. Los símbolos (+) y (-) indican que el estrés causa un aumento o una disminución, respectivamente (Adaptado de Hsiao, 1973)

Proceso o parámetro afectado	Sensibilidad al estrés		
	Muy sensible		Poco sensible
	Reducción de Ψ necesaria para afectar al proceso		
	0	1	2 MPa
Crecimiento celular (-)	_____		
Síntesis pared celular (-) [1]	_____		
Síntesis de proteínas (-) [1]	_____		
Formación protoclorofila (-) [2]	_____		
Nivel de nitrato reductasa (-)	_____		
Síntesis de ABA (+)		_____	
Apertura estomática (-)		_____	
a) mesofitos		_____	
b) xerofitos		_____	_____
Asimilación de CO ₂ (-)		_____	
a) mesofitos		_____	
b) xerofitos		_____	_____
Respiración (-)		_____	
Conductancia del xilema (-)		_____	
Acumulación de prolina (+)		_____	
Nivel de azúcares (+).		_____	

[1] tejido en rápido crecimiento

[2] en hojas blanqueadas

•El estrés provoca una reducción moderada en los reguladores del crecimiento tales como el AIA (ác. indolacético), CK (citoquininas) y giberelinas y una acumulación del ABA (ác. abscísico) y etileno.

•La baja disponibilidad de agua en el suelo reduce el crecimiento de las raíces en muchas especies, como el manzano y los cítricos pero esta disminución es menor que la de la parte aérea, resultando un aumento de la relación raíces/parte aérea, lo que asegura un mejor suministro de agua al área foliar existente y hace que la planta sea más tolerante al déficit de humedad en el suelo.

•Probablemente, es el crecimiento celular el proceso más sensible al déficit hídrico, como es sabido para que este tenga lugar se deben de dar 2 condiciones:

1ª.- Que exista el suministro adecuado de las sustancias bioquímicas necesarias para la formación de los distintos componentes celulares (hidratos de carbono, aminoácidos, polipéptidos, bases nitrogenadas, nucleótidos, lipoides, etc.)

2ª.- Que se mantenga en el interior celular la presión de turgencia adecuada. Así que de nada sirve que exista suficiente cantidad de azúcares y de otros compuestos químicos, si no existe la

presión de turgencia necesaria para que estire de forma irreversible la pared celular. De modo que el mantenimiento de la turgencia es de capital importancia para el crecimiento de la planta. Esta depende evidentemente de las tasas relativas de transpiración y absorción de agua.

•El estrés hídrico ligero, correspondiente a pequeñas disminuciones del potencial de presión, pero de larga duración reduce el crecimiento. Sin embargo es necesaria una mayor reducción de la turgencia celular para que se vea afectada la apertura del estoma y por tanto la fotosíntesis. De ahí que se considere a la conducta del estoma menos sensible al estrés hídrico que al crecimiento celular. El valor de Ψ_p que causa el cierre estomático en algunas plantas anuales se corresponde aproximadamente con el inicio de síntomas visibles de marchitez. Sin embargo, en los frutales y viñedos ocurre a menudo en ausencia de síntomas de marchitez.

Puesto que el crecimiento celular se ve afectado mucho antes de que aparezcan síntomas visibles propios de estreses más severos, tales como los asociados a la marchitez, se pueden producir daños en planta, traducibles en mermas productivas, sin ningún tipo de manifestación aparente. Se puede decir, sin lugar a dudas, que el regar de "visu" tiene poco futuro.

A medida que la transpiración aumenta con el avance del día la turgencia celular va disminuyendo (Ψ_p es máximo a la salida del sol y mínimo al mediodía solar o poco después), y es al atardecer con la reducción de la transpiración cuando se produce un aumento gradual de Ψ_p . Durante la noche y al cesar la transpiración las células absorben agua del xilema hasta que Ψ_p contrarresta a Ψ_o , a partir de ese momento la absorción se interrumpe. La disminución de Ψ_p como consecuencia de la transpiración hace que disminuya Ψ , lo que fuerza la absorción radicular del agua del suelo.

5.3.-Balance hídrico de la planta

Disminuciones del Ψ_p que resulten en marchitez pueden afectar al comportamiento del estoma. Así, cuando el Ψ_p de las células guarda se aproxima a cero el estoma empieza a cerrarse, con lo que aumenta la resistencia al transporte del agua limitando la transpiración y la entrada de CO_2 desde la atmósfera y por tanto también la fotosíntesis (de ahí que se diga que la transpiración es un mal necesario).

El estoma se comporta como una válvula de seguridad, reduciendo la transpiración cuando el nivel de agua en la planta disminuye, minimizando de esta forma el desarrollo de estreses hídricos severos que pudieran dañar los tejidos.

La figura 2 muestra la conducta diurna de los estomas de plantas de pistacho adecuadamente regadas (círculos sombreados) y estresadas (círculos vacíos)

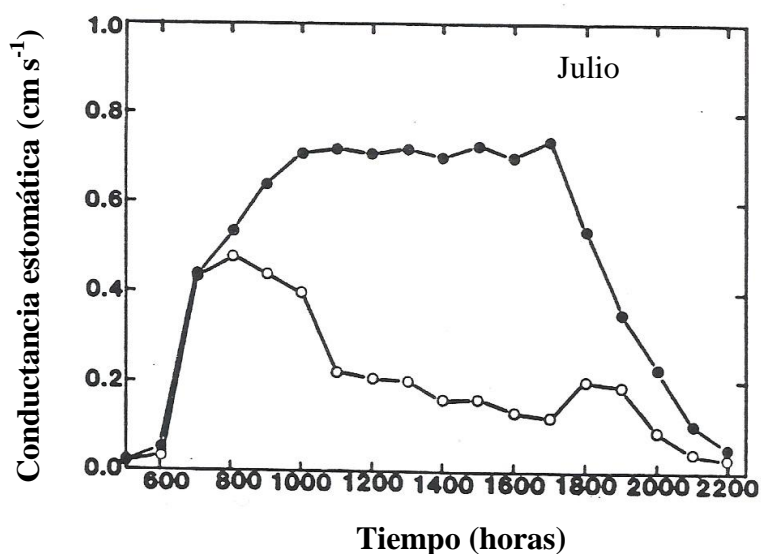


Figura 2. Evolución diurna de la conductancia estomática de pistacheros adecuadamente regados (círculos sombreados) y estresados (círculos abiertos). Cada punto es la media de 2 medidas por árbol en 4 árboles seleccionados (Adaptado de Goldhamer, 1984).

Se observa como bajo condiciones no limitantes de agua en el suelo la conductancia va aumentando desde la salida del sol hasta alcanzar un valor máximo que en el ejemplo tiene lugar a las 10:00 horas y permanece relativamente constante hasta las 17:00. Esto contrasta radicalmente con la de los árboles estresados que muestran su máxima apertura en torno a las 8.00 para disminuir a continuación, excepto con ligeros aumentos alrededor 18.00 – 19.00. De modo que el estoma permanece parcialmente abierto sólo durante un corto período de tiempo coincidiendo con las primeras horas de la mañana cuando la demanda evaporante es menos severa y empieza a cerrarse cuando esta comienza a elevarse.

Este patrón de conducta del estoma permite al árbol asimilar la máxima cantidad de CO₂ mientras que pierde la mínima cantidad de agua.

Si tenemos en cuenta que el crecimiento es un proceso muy sensible al estrés hídrico habrá que evitar la ocurrencia de estreses durante los periodos de rápido crecimiento vegetativo, como son los primeros estadios, tanto en cultivos anuales como leñosos. Todo ello, en pro de un rápido crecimiento del follaje que les permita interceptar la máxima radiación solar. En plantaciones frutales jóvenes cualquier déficit retrasará su desarrollo y por tanto su producción. Como la fase de rápido crecimiento del fruto es un período de expansión rápida durante ella se deberá evitar el desarrollo de cualquier tipo de estrés.

Cuando las partes vegetativas de las plantas son la componente mercadeable (alfalfa, sorgo, etc.) es importante mantener un crecimiento óptimo, por lo tanto habrá que prevenir cualquier tipo de estrés.

5.4.- Períodos críticos

Son aquellos durante los cuales un estrés hídrico causaría pérdidas de producción irreversibles. Dado que en muchos cultivos esto puede ocurrir a lo largo de todo su ciclo de cultivo los períodos críticos se circunscriben a aquellos momentos donde la deficiencia de agua es más perjudicial de cara a la producción. Es necesario considerar con precaución los períodos críticos ya que estos dependerán de la especie vegetal y variedad, y se verán más o menos afectados en función del volumen de suelo explorado por el sistema radicular, velocidad de desarrollo del estrés, demanda ambiental, enfermedades, abonado etc.

En la tabla 2 se muestran los períodos críticos para cultivos habitualmente regados.

Una idea frecuente y errónea es la de programar el riego en períodos críticos sin tener en cuenta el estado del agua en el suelo. Es necesario conocer el nivel de agua en el suelo durante estos períodos tanto para prevenir el desarrollo de estreses como para que las aplicaciones no resulten en derroche de agua.

5.5.- Adaptación de las plantas a la sequía

Con relación a la sequía las plantas pueden presentar 2 tipos de adaptación:

a. Evitación. Ciclos muy cortos que concluyen antes de llegar el verano

b. Tolerancia

b.1 Posponen el déficit hídrico. Sistemas radiculares más profundos y densos, marchitamientos y enrollamientos de hojas, estomas muy sensibles a las condiciones que favorecen la transpiración y cutículas gruesas, etc.

b.2 Aumentan la tolerancia a ellos. Capacidad de las células de algunas plantas para tolerar potenciales hídricos muy bajos.

b.2.1. ajuste osmótico

b.2.2. ajuste elástico

El **ajuste osmótico** consiste en un aumento de la concentración de solutos en la vacuola inducido por el estrés hídrico y es mayor que el debido al cambio en volumen celular como consecuencia de la

deshidratación parcial. El siguiente ejemplo ilustra estos conceptos. Si el Ψ_o previo a la deshidratación parcial, consecuencia de la aplicación de un tratamiento de riego deficitario, es de $-1,0$ MPa y el volumen de la vacuola se reduce en un 10% como consecuencia de la pérdida de agua, entonces el Ψ_o resultante por el simple hecho de concentración de solutos será de $-1,11$ MPa, y por tanto valores iguales o superiores a éste indican que no se da ajuste osmótico; pero bajo el supuesto de que hubiese sido $-1,3$ ó $-1,5$ MPa, diríamos que se ha realizado ajuste osmótico, ya que supone un aumento de la concentración del jugo vacuolar que va más allá de la pérdida de agua, la ocurrencia de este mecanismo permitiría mantener la turgencia celular a un potencial hídrico más bajo.

El ajuste osmótico suele darse en plantas en las que el déficit hídrico se alcanza lentamente, aunque algunas veces se haya observado ajuste osmótico en las horas centrales del día.

La figura 3 muestra un esquema sobre la variación del potencial total y osmótico de la vacuola durante un período de desecamiento del suelo, en el caso de plantas con y sin ajuste osmótico. La figura 3 no presenta directamente el Ψ_p , pero éste viene dado por la distancia vertical entre Ψ_{hoja} y Ψ_o ($\Psi_{\pi hoja}$). Se puede observar como la turgencia se hace cero en el caso de las plantas sin ajuste osmótico alrededor del 5º día, mientras que cuando se da ajuste osmótico la turgencia nula se alcanza un par de días después.

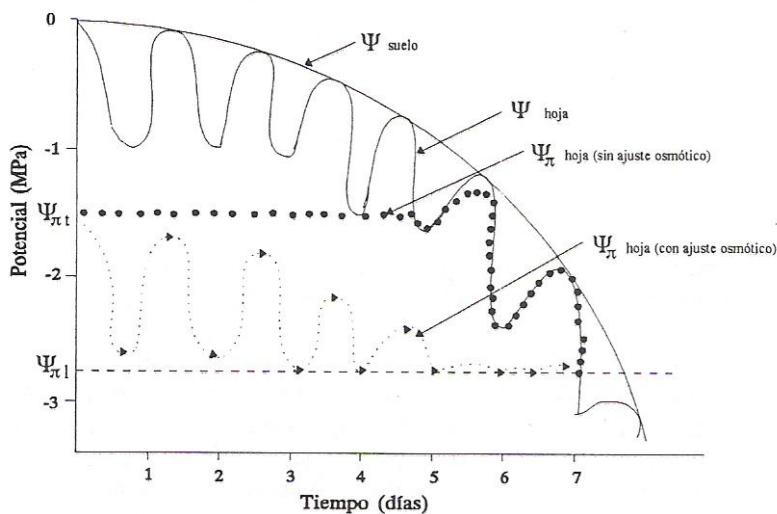


Figura 3.- Respuesta probable del potencial osmótico de las vacuolas en una hoja a lo largo de un período de desecación progresiva del suelo, en el caso de existir ajuste osmótico (línea de trazos) y sin ajuste osmótico (línea de puntos).

Ajuste elástico: La elasticidad de las paredes celulares depende de las interacciones químicas entre los distintos componentes de la pared celular. Una elevada elasticidad de las paredes celulares se corresponde con un módulo de elasticidad bajo, ε (MPa)

$$\varepsilon \text{ (MPa)} = (\Delta P / \Delta V) V \text{ ó } \varepsilon \text{ (MPa)} = (\Delta P / \Delta CRA) CRA$$

Se habla de ajuste elástico cuando se producen cambios en las propiedades de las paredes celulares, inducidas por el déficit hídrico, que se traducen en una disminución significativa de ϵ (MPa) respecto al de idénticas plantas bajo condiciones de suministro hídrico adecuado.

Tabla 2. Períodos críticos con respecto a la tensión de humedad del suelo en el caso de diferentes cultivos

Alfalfa	Justo después de la siega en el caso de la alfalfa para heno y al principio de la floración en el de la destinada a la producción de semillas
Albaricoques	Período de floración y desarrollo de las yemas
Cebada	Fase inicial de formación de las vainas > fase de consistencia blanda del grano > iniciación de la fase de ahijamiento o maduración
Frijoles	Fase de floración y aparición de las vainas > antes > período de maduración. Sin embargo, el período de maduración > antes si no hay una tensión de humedad previa
Brécoles	Durante la formación y desarrollo de las cabezas
Coles	Durante la formación y desarrollo de las cabezas
Ricino	Requieren un nivel de humedad del suelo relativamente alto durante todo el período de crecimiento
Coliflor	Requiere riegos frecuentes desde la plantación hasta la recolección
Cerezas	Período de rápido crecimiento de la fruta antes de la maduración
Cítricos	Fases de floración y de fructificación; se puede suscitar una fuerte floración suspendiendo el riego justo antes de la fase de floración (limón); se puede controlar la "caída de junio" de los frutos más débiles mediante una gran humedad del suelo
Algodón	Floración y formación de las cápsulas > fases iniciales de crecimiento > después de la formación de las cápsulas
Maíz (cacahuete)	Fases de floración y desarrollo de las semillas > entre la germinación y la floración y el final del período vegetativo
Lechuga	Necesita unos suelos húmedos especialmente antes de la recolección
Maíz	Período de polinización desde la inflorescencia hasta la fructificación > antes de la inflorescencia > períodos de desarrollo del grano; período de polinización muy crítico si no hay una tensión de humedad previa
Avena	Desde la aparición de los flosculos hasta la formación de las cabezuelas posiblemente
Olivo	Justo antes de la floración y durante el crecimiento del fruto
Melocotón(durazno)	Período de rápido crecimiento del fruto hasta la maduración
Guisantes(arvejas)	A principios de la floración y cuando se llenan las vainas
Patata	Niveles altos de humedad; después de la formación de los tubérculos, de la floración a la recolección
Rábanos	Durante el período de ensanchamiento de las raíces
Girasol	Posiblemente durante la siembra y la floración; fase de germinación de las semillas
Cereales secundarios	Desde la formación de las vainas hasta la aparición de las cabezuelas
Sorgo	Aparición de las raíces secundarias y ahijamiento hasta la fase de formación de las vainas > formación de las cabezuelas, floración y formación del grano > período de desarrollo del grano
Soja	Fase de floración y fructificación, y posiblemente período de crecimiento vegetativo máximo
Fresa	Desde el desarrollo del fruto hasta la maduración

Bibliografía

LOOMIS, R.S.; CONNOR, D.J. 1992. *Crop ecology. Productivity and management in agricultural systems*. Ed. Cambridge University Press. 538 pp.

MARTÍN DE SANTA OLALLA, F.; DE JUAN J.A. 1993. *Agronomía del riego*. Ed. Mundi-Prensa. 732 pp

REIGOSA, M.J., PEDROL, N., SÁNCHEZ MOREIRAS, A. 2004. *La ecofisiología vegetal. Una ciencia de síntesis*. Thomson Editores. Madrid. 1193 pp