

RELACIONES AGUA-PLANTA

En la agricultura de riego, el regante debe decidir cuándo aplicar el agua a sus cultivos. En esta decisión, que parece simple, es preciso tener en cuenta multitud de factores. El momento más oportuno para suministrar el agua y las cantidades a aportar (dosis) dependerá de las condiciones climáticas, del tipo de suelo, de la naturaleza del cultivo y de su estadio de desarrollo, disponibilidad de agua, sistema de riego, etc. Deberemos conocer el comportamiento del agua en el suelo, ya que este último funciona como almacén, regulando entradas y salidas, cómo reaccionan los cultivos ante bajos contenidos de agua en el suelo (estrés hídrico) y sobre todo cómo influye en la producción final. Y todo esto con un único fin: poder rentabilizar al máximo el beneficio neto de la explotación.

ESTADO DEL AGUA EN LA PLANTA

Justificaremos su estudio diciendo que la mayoría de las plantas herbáceas poseen en su composición entre el 80 y el 90% de agua en peso fresco. Definamos sus funciones:

- a) Responsable del mantenimiento de la turgencia en la planta permitiendo que las partes verdes permanezcan sin marchitar.
- b) Es el vehículo del que se valen los solutos celulares para moverse de una parte a otra de la planta, ya que es un excelente disolvente. Además

interviene en reacciones como la fotosíntesis.

- c) Como regulador térmico, interviene en la transpiración frenando el calentamiento excesivo de los órganos vegetales cuando están expuestos a la radiación solar.

Para saber el estado hídrico de las plantas, es decir el grado de marchitez, o bien de turgencia de un tejido vegetal, se recurre al parámetro "C.R.A." contenido relativo del agua referido a la máxima turgencia.

$$\text{CRA (\%)} = \frac{(\text{Peso fresco} - \text{Peso seco})}{(\text{Peso a máx turgencia} - \text{Peso seco})}$$

Para su cálculo se corta una hoja y se pesa inmediatamente, ese valor será su peso fresco. Después se rehidrata sumergiéndola en agua hasta que alcance su máxima turgencia, se pesa y después se introduce en una estufa para desecarla hasta peso constante a 60 ó 70° C.

EL MOVIMIENTO DEL AGUA EN LA PLANTA

1 Continuo suelo-planta-atmósfera (CSPA)

El agua, en su paso del suelo a la atmósfera a través de la planta, forma un continuo en estado líquido; en su último paso planta-atmósfera aparece en forma gaseosa, en la transpiración. La parte inferior la constituye el agua del sistema radicular en contacto con el agua del suelo, sube a través de los conductos vasculares, alcanzando todas las hojas y manteniendo húmedas sus células.

De esta manera, el movimiento del agua en contra de las fuerzas gravitatorias y de las resistencias ofrecidas por la propia planta, se produce en respuesta a la evaporación del agua en los tejidos expuestos: transpiración. La pérdida del agua por transpiración origina una caída del potencial hídrico en la hoja. Esto es la fuerza que hace fluir el agua desde el suelo hasta las hojas.

2 Transpiración

Es el proceso mediante el cual una superficie vegetal pierde agua por evaporación hacia la atmósfera. Para regular estas pérdidas están los estomas, que dependiendo de qué estímulos se abren o se cierran. Sobre este proceso influyen la edad de la hoja, su potencial hídrico, la diferencia de presión de vapor entre el interior de la hoja y el aire externo que le rodea, la temperatura, la radiación..., también la fotosíntesis actúa sobre la apertura estomática.

EFFECTOS DEL DÉFICIT HÍDRICO EN LA PRODUCCIÓN DE LOS CULTIVOS

Una planta sufre déficit cuando el potencial del agua en sus tejidos de-

crece tanto que llega a afectar a los procesos fisiológicos. Las causas que lo originan pueden ser:

- a) Bajo contenido de agua en el suelo.
- b) Elevada demanda evaporativa.
- c) Resistencia elevada al flujo, ya sea por el suelo (baja conductividad hidráulica), o bien en la planta (baja densidad del sistema radicular).

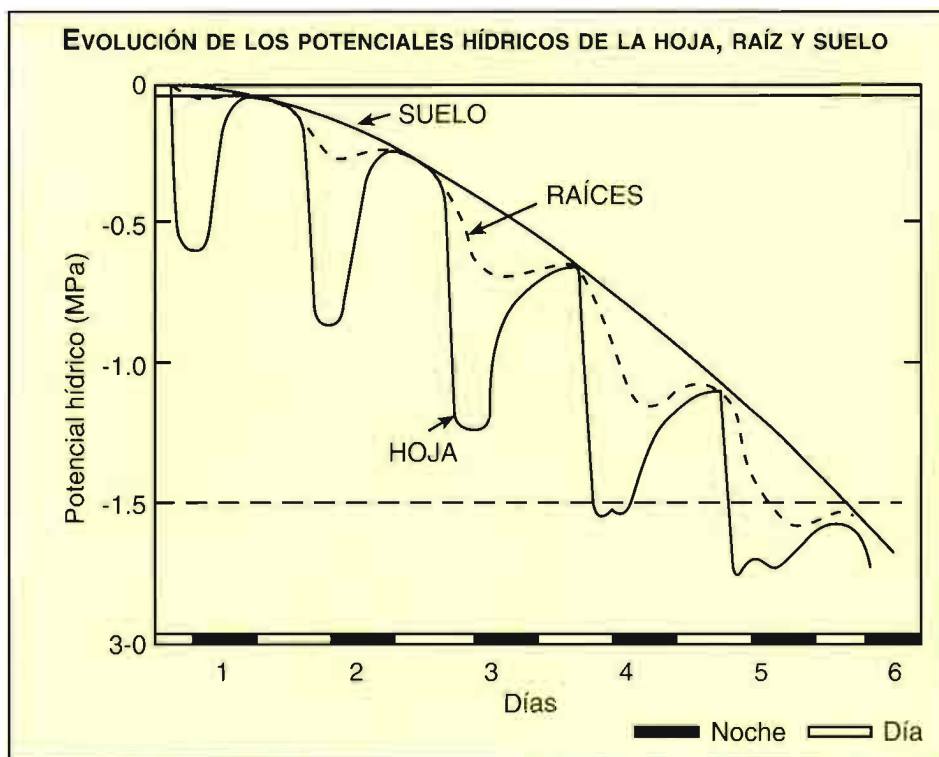
Estas circunstancias pueden presentarse también simultáneamente. Una caída en el contenido de agua en el suelo provoca un aumento en la resistencia de transporte del agua hacia la raíz. Cuando la demanda evaporativa es alta, toda planta al transpirar experimenta un cierto nivel de déficit hídrico. Estos déficits diarios de corta duración (horas) que se producen por el proceso de transpiración, hay que separarlos de aquellos que actúan por más largo plazo y producen alteraciones en el crecimiento de la planta y reducen también su producción. Los primeros se producen incluso con la humedad del suelo alta y los segundos van ligados al agotamiento progresivo del suelo.

nución del tamaño de la planta, del área foliar y de la producción. Bajo condiciones de estrés las hojas que se forman tienden a ser de menor tamaño y mayor grosor. Durante la fase de diferenciación floral los déficits hídricos tienden a producir abortos florales. Alteran también la relación raíz-parte aérea, favoreciendo el crecimiento de la raíz en relación con el tallo. De esta manera se puede mejorar la relación entre suministro de agua (raíces) y el consumo (hojas).

La fotosíntesis también se ve disminuida bajo estrés ya que disminuye el área foliar, por el cierre parcial de los estomas, por efectos negativos sobre el mecanismo de asimilación del CO₂, ya que la actividad de algunas enzimas de la fotosíntesis se reduce por el déficit.

Los procesos respiratorios se ven menos afectados que la fotosíntesis por el estrés.

Se altera el reparto de asimilados entre los diferentes órganos de la planta como tallo, raíces y frutos. Afecta a la nutrición mineral ya sea dificultando el suministro del suelo a las raíces (debido a la disminución de la absorción radicular) o bien afectando los mecanismos de absorción de las raíces y de transporte del tallo.



El déficit hídrico afecta a los procesos morfológicos y fisiológicos. Generalmente se produce una dismi-

También se piensa que el estrés aumenta la susceptibilidad de las plantas a los ataques de agentes patógenos.

Los déficits también alteran bastante los niveles de los reguladores de crecimiento (hormonas). Provoca una reducción moderada de niveles de ácido indolacético, cuya falta en zonas de abscisión de las hojas favorece a veces su caída. Al durar menos el área foliar hace que la fábrica de material fotosintetizado permanezca menos tiempo funcionando. Otro regulador de crecimiento cuyo nivel aumenta debido al estrés hídrico es el etileno. La síntesis de etileno favorece la senescencia foliar, la degradación de la clorofila y la abscisión.

Todo ello se traduce en una disminución de rendimientos aunque a



veces un déficit moderado puede mejorar la calidad de algunas cosechas.

ADAPTACIÓN DE LAS PLANTAS A LA SEQUÍA

Algunas especies han desarrollado mecanismos para adaptarse a la escasez de agua. Existen dos grupos de adaptaciones:

- a) Aquellas que permiten a la planta evitar la sequía, escapando de la misma.
- b) Las que le confieren un mayor o menor grado de tolerancia a la sequía.

En el caso de las primeras existen algunas plantas con un ciclo de vida muy corto, que pueden completarlo antes de que llegue la estación seca en la que el suministro de agua no es suficiente para atender la demanda evaporativa.

En cuanto a los adaptaciones de las segundas se clasifican en dos tipos:

- 1 Las que dotan a la planta de mecanismos que le permiten posponer en el tiempo su déficit hídrico como un sistema radicular más profundo y denso, el marchitamiento y enrollamiento de las hojas, caída de hojas, sensibilización de los estomas a las condiciones que favorecen la transpiración, cutícula engrosada.
- 2 Las que conducen a un aumento de la propia tolerancia: capacidad de las células de algunas plantas para

SENSIBILIDAD DE VARIOS PROCESOS Y PARÁMETROS A LOS DÉFICITS HÍDRICOS EN LAS PLANTAS	
Proceso o parámetro afectado	Sensibilidad al estrés
	Muy sensible Poco sensible
	Reducción del potencial requerido para efectuar el proceso (MPa)
	0 1 2
Crecimiento celular (-)	[Barra horizontal desde 0 hasta ~0.25]
Síntesis pared celular (1) (-)	[Barra horizontal desde 0 hasta ~0.2]
Síntesis de proteínas (1) (-)	[Barra horizontal desde 0 hasta ~0.15]
Formación de protoclorofila (2) (-)	[Barra horizontal desde ~0.1 hasta ~0.25]
Nivel de nitrato reductasa (-)	[Barra horizontal desde ~0.15 hasta ~0.3]
Síntesis de ácido abscísico (+)	[Barra horizontal desde ~0.2 hasta ~0.4]
Apertura estomática (-)	[Barra horizontal desde ~0.3 hasta ~0.5]
- en mesofitas	[Barra horizontal desde ~0.35 hasta ~0.55]
- en xerofitas	[Barra horizontal desde ~0.5 hasta ~0.8]
Asimilación de CO ₂	[Barra horizontal desde ~0.4 hasta ~0.6]
- en mesofitas	[Barra horizontal desde ~0.45 hasta ~0.65]
- en xerofitas	[Barra horizontal desde ~0.6 hasta ~0.9]
Respiración (-)	[Barra horizontal desde ~0.45 hasta ~0.7]
Conductancia del xilema (-)	[Barra horizontal desde ~0.5 hasta ~0.8]
Acumulación de prolina (+)	[Barra horizontal desde ~0.6 hasta ~0.85]
Nivel de azúcares (+)	[Barra horizontal desde ~0.7 hasta ~0.9]

Las líneas horizontales indican los intervalos de potencial en que los procesos correspondientes comienzan a ser afectados. Las reducciones de potencial son en comparación con los de plantas bien regadas y en condiciones de demanda evaporativa moderada. Los símbolos (+) y (-) indican aumento y disminución respectivamente.



tolerar potenciales hídricos muy bajos y el 'ajuste osmótico'. Este es un mecanismo que permite mantener unos niveles de actividad razonables en situaciones de relativo déficit. El grado de déficit hídrico que las plantas pueden tolerar varía mucho de unas especies a otras. Mientras el girasol tolera entre valores de -2.5 y -3 Mpa, algunas xerofitas pueden llegar hasta -10 Mpa y muchas especies de algas, líquenes y musgos pueden desecarse completamente al aire y recuperarse de nuevo. Esto nos interesa saberlo para buscar plantas tolerantes y que además produzcan.

MEDIDA DE LOS DÉFICITS HÍDRICOS

En trabajos de investigación, en el campo se pueden estimar medidas del potencial de agua en las hojas. Pero un agricultor normalmente no dispone

de métodos tan sofisticados para realizar estas mediciones. Éstos se basan en los síntomas visuales (marchitez, enrollamiento de las hojas...) para saber cuándo las plantas sufren de estrés y entonces regar, que es al final el motivo por el que estamos utilizando estos conceptos. Normalmente

no se dispone de estas medidas pero sí sabemos los efectos que produce y cuándo regar mediante una adecuada 'Programación de riegos'. Esto es su-

“ El riego trata de maximizar el beneficio económico de la explotación ”

ministrar agua a los cultivos de acuerdo a sus necesidades, con el fin de maximizar el beneficio económico de la explotación.

Para decidir cuándo regar y cuánta dosis aplicar en cada riego, hay que

considerar una serie de factores, además de los de carácter económico, que estarán muy ligados al método y sistema de riego empleados, como son la mano de obra o la disponibilidad de agua. Es necesario también considerar factores dependientes del tipo de cultivo, como la especie, la variedad, profundidad de enraizamiento, resistencia a la sequía, factores climáticos... etc, y tampoco pueden faltar los ligados con el tipo de suelo.

EL SUELO COMO ALMACÉN DE AGUA

El suelo, además de constituir el soporte físico de las plantas y colaborar en la nutrición de éstos, es fundamentalmente un medio conductor y almacén de agua.

El sistema de riego sitúa generalmente el agua en superficie, y su penetración a través del suelo va a depender de su textura y estructura. Esta infiltración del agua es rápida en un principio y se atenúa después (depende del tipo de suelo...), al cabo de esto todos sus poros están ocupados por agua, es decir, el suelo está saturado. El agua tiende a bajar por gravedad hacia capas más profundas, y en dos o tres días deja de drenar y permanece estable. A este contenido en agua se le llama Capacidad de campo (CC). Poco a poco el contenido en agua va disminuyendo (bien por evaporación o por el consumo de las plantas) y la fuerza de retención del suelo va aumentando, resultando más complicado el suministro a la planta. De esta manera la planta va obteniendo del suelo menos agua de la que necesita consumir provocando su marchitez, lo que define el Punto de Marchitez Permanente (PMP). A efectos prácticos se define el Intervalo de Humedad Disponible (IHD) como la diferencia entre estos dos límites:

$$\text{IHD} = \text{CC} - \text{PMP}$$

Se expresa en % de agua referido a peso de suelo seco. La capacidad de este depósito de agua se calcula multiplicando por la profundidad de enraizamiento en metros.

Pero conforme va disminuyendo



el agua almacenada en el suelo antes de llegar al PMP comenzará a observarse una disminución en la evapotranspiración (ET), lo que se traducirá en menos materia seca y a veces en un descenso en los rendimientos. Esto dependerá de en qué estadio de desarrollo se encuentre el cultivo en el momento en que se imponga el estrés (si tiene lugar en los periodos críticos, el rendimiento disminuye). Las reducciones en ET tampoco suelen incrementar en general la eficiencia en el uso del agua. Por todo ello, el regante debe regar antes de que el contenido en agua de la zona radicular baje hasta el nivel umbral a partir del cual comenzaría a disminuir la ET: es decir al 'Nivel de Agotamiento Permisible' (NAP). Se suele expresar en porcentaje sobre el IHD. El NAP depende de diversos factores:

- factores del cultivo: estado de desarrollo y densidad radicular
- factores de suelo: IHD y profundidad de suelo
- factores de clima: demanda evaporativa del aire.

Con todo esto es imposible dar un valor único de agotamiento para cualquier situación. A nivel orientativo, para cultivos perennes profundamente enraizados en suelos de textura fina y clima suave, puede estimarse en el 80% del IHD. En situaciones de alta demanda evaporativa y cultivos de baja densidad radicular se puede usar el 40%.



Todo esto para calcular la dosis teórica de agua de riego (m^3/ha), que hallaremos con estos valores de NAP (% de agua referido a suelo seco) multiplicándolo por densidad aparente del suelo (kg/dm^3) y por profundidad de suelo a humedecer (m). Esto es una dosis teórica, la dosis práctica de riego dependerá de la eficiencia del tipo de riego que vayamos a utilizar.

Siempre será el regante el que decida la dosis de agua a aplicar y el calendario de riegos, basándose en las condiciones climáticas, en el tipo de suelo, en su explotación (disponibilidad de agua, mano de obra, tipo de riego), de cultivo (estado de desarrollo, resistencia a la sequía)... El objetivo primordial de la programación de riegos será el de obtener el máximo beneficio neto de su explotación. ♠