

RELACIÓN AGUA SUELO  
PLANTA AMBIENTE  
EN LA CALIDAD DE LA FIBRA  
DEL ALGODONERO

# RELACIÓN AGUA SUELO PLANTA AMBIENTE EN LA CALIDAD DE LA FIBRA DEL ALGODONERO

Fidel Patarroyo M.<sup>1</sup>

## INTRODUCCIÓN

Agricultura SOSTENIBLE, producción INTEGRADA de cosechas... Conceptos que definen una cierta agricultura que es a la vez responsable y rentable; además, son conceptos de uso común en los diferentes foros de la agricultura, tanto a nivel nacional como internacional: Pero como hacer esto en vivencia del ciclo agrícola en nuestra región? La agricultura de precisión es un caso típico: se trata de dar a los agricultores conceptos y soluciones que permitan la mejor expresión del patrimonio genético de las plantas, suministrar a los agricultores instrumentos para tomar decisiones para optimizar el manejo de lotes, modelos de producción y herramientas que permitan al agricultor actuar en el momento adecuado, en el lugar adecuado y con la dosis adecuada; herramientas que garantizarán el seguimiento de los productos agrícolas desde la parcela, tal como lo requiere el consumidor.

La optimización de los recursos invertidos requiere alta eficiencia de manejo para todos y cada uno de los insumos empleados. Se enfatiza: el manejo y no el uso (el empleo por sí solo) de los factores de protección.

El manejo eficiente del recurso hídrico es componente esencial en la producción de un cultivo: el suministro de agua requerida para la pérdida de vapor de agua por la planta (transpiración) causa la mayor variación en el rendimiento. La tecnología busca minimizar la exposición del cultivo a diferencias de agua en el suelo mediante estrategias de manejo como irrigación suplementaria, uso apropiado de fertilizantes, densidad de población y distancia entre surcos y empleo de variedades que hagan uso eficiente del suministro de agua disponible.

## 1. EVAPOTRANSPIRACIÓN Y PRODUCCIÓN DE CULTIVO

Evapotranspiración es el término empleado para describir la pérdida de agua combinada por evaporación y transpiración. La evaporación ocurre cuando la humedad se pierde como vapor a partir de una superficie libre de agua, como el agua presente en un canal de irrigación, en el suelo durante e inmediatamente después de un riego, en una hoja húmeda o en una gota de agua: la evaporación a partir de la superficie de suelo puede continuar por varios días después de la irrigación conforme la humedad del subsuelo llegue a la superficie seca del suelo.

La transpiración se refiere a la pérdida

de agua desde el interior de la planta, pérdida realizada como vapor de agua y no como agua líquida. El vapor de agua se difunde principalmente a través de las estomas (espacios porosos muy pequeños y presente en el tejido verde de la planta). Las estomas representan la mayor ruta de pérdida de agua por la planta, excepto durante o inmediatamente después de la irrigación o durante el estado de plántula cuando la evaporación de la superficie del suelo es la predominante. La mayoría de los cultivos cierran las estomas durante días calientes y secos; sin embargo, el ALGODÓN mantiene abiertos las estomas a menos que las

<sup>1</sup> I.A. Ph.D. Fisiólogo Vegetal

plantas sean expuestas a estrés hídricos severos. Aunque esto resulta en tasa mayores de uso de agua, la habilidad para mantener la transpiración permite al ALGODÓN continuar creciendo bajo condiciones de altas temperaturas y menores contenidos de humedad de suelo, con respeto a otros cultivos.

Con la posible excepción de alfalfa, el ALGODÓN posee el potencial de

usar más agua por día en la producción de producto cosechable que cualquier otro cultivo: el uso diario de agua puede ser de 1.1 o más, en diferentes regiones algodoneras y para diferentes variedades. Suministrar el agua adecuada para suplir los requerimientos del cultivo, en un estado de desarrollo dado, debe ser el objetivo primario para un exitoso programa de riego.

## 2. SUMINISTRO DE AGUA EN PRESIEMBRA

El suministro de agua antes de la siembra juega un papel importante en la producción de ALGODÓN, no solo por las características de crecimiento de la plántula de ALGODÓN sino también por el comportamiento de precipitación en la zona de cultivo de sales en la zona de la semilla (la planta de ALGODÓN es sensible a la salinidad) sino porque posee la humedad necesaria para la germinación de la semilla, la emergencia de la plántula y el crecimiento inicial de la planta.

La semilla de ALGODÓN posee alto contenido de aceite comparada con leguminosas (soya, frijol) que son ricas en proteínas y cereales (arroz, maíz, sorgo) que son ricos en carbohidratos. El aceite almacenado, las proteínas o los

carbohidratos proveen la energía y los compuestos necesarios para el crecimiento de la plántula hasta cuando los cotiledones hayan emergido. Como forma de energía almacenada, el aceite posee alguna ventaja sobre las proteínas y los carbohidratos: contiene más energía por gramo. Esto representa un problema potencial porque se requiere altas cantidades de oxígeno para que la plántula de ALGODÓN pueda emplear esa energía almacenada más que la de las proteínas o de los carbohidratos. Es decir, el ALGODÓN es muy sensible a pobre oxigenación de suelo más que otros cultivos: esto concierne en compactación de suelo, anegamiento, alto contenido de arcilla (especialmente cuando se siembra en lodo).

## 3. SUMINISTRO DE AGUA POSTSIEMBRA

La irrigación del cultivo de ALGODÓN inmediatamente después de la siembra no es aconsejable debido al daño potencial en el proceso de germinación de malezas y formación de costras duras en la superficie del suelo. Las costras de suelo determinan la fuerza con la cual la plántula debe empujar los cotiledones para emerger (asomarse sobre la superficie del suelo). Aunque alguna resistencia de suelo es benéfica para el desprendimiento de la cáscara de la semilla que viene pegada (adherida) a los cotiledones, resistencias severas (como las asociadas con costras alcalinas) pueden disminuir la capacidad de las plántulas para emerger: en este

caso, las reservas de energía de las plántulas son disminuidas por respiración normal de la plántula.

Una apropiada profundidad de siembra es compromiso entre mantener humedad de suelo apropiada cerca de la semilla (hasta cuando las raíces comiencen a explorar mayor profundidad de suelo) y el tiempo necesario para la emergencia de la plántula: el número de días requerido para la emergencia y la severidad de las enfermedades de plántula son influenciadas por la profundidad de siembra.

Hoy en día, el estrés hídrico en los estados iniciales del cultivo no es una práctica válida en la producción de ALGODÓN: emplear el estrés hídrico en los estados iniciales de crecimiento de la planta es generalmente innecesaria, a menos que ocurra pérdida precoz de estructuras como consecuencia de crecimiento vegetativo excesivo.

El grado de estrés hídrico que experimenta el ALGODÓN antes de la primera irrigación determina la altura final de la planta, la ubicación de fructificación sobre la planta y la capacidad de la planta para sacar total ventaja de las condiciones ambientales del período de cultivo: el estrés hídrico limita en alto grado el crecimiento expansivo tanto de las hojas como de los tallos. La máxima elongación del tallo principal (2.5 centímetros por día) ocurre inmediatamente después de una irrigación (-11 bares de tensión) y esencialmente cesa cuando el estrés alcanza un grado de 24 bares.

Una ligera reducción en el crecimiento de la hoja y del tallo es deseable antes de la floración, ya que plantas excesivamente grandes padecen poca retención de cápsulas, consecuencia del sombreamiento de las cápsulas bajas; sin embargo, una reducción excesiva en el crecimiento de la hoja y del tallo limitará la relación (superficie área foliar: cápsulas). Cuando esto ocurre la planta no puede sostener una alta retención de cápsulas por más de 4 a 5 semanas y esto causará un prematuro corte de capacidad de suministro de carbohidratos a las cápsulas cosechables.

La programación de la primera irrigación demasiado temprano o muy tardía, consistentemente disminuye el rendimiento: en alguna variedad la disminución, en promedio fue 5 kg/ha por cada día que el algodón fue irrigado prematuramente, o 13.5 kg/ha por cada día que la primera irrigación se postergó (se realizó después de) del día determina-

do óptimo para la primera irrigación. Es decir, la aplicación prematura de la primera irrigación retrasará el desarrollo del cultivo, promovería crecimiento uniforme y tornará más susceptible el cultivo al Verticillium. Retardar la aplicación de la primera irrigación, se reducirá al crecimiento de la planta y resultará en terminación temprana de la floración y de la formación de cápsulas.

Para algunas variedades, el máximo rendimiento se obtiene si la primera irrigación post-siembra se realiza cuando el potencial de agua foliar es igual a 15 bares: cuando la primera aplicación de riego fue prematura o posterior, los rendimientos se redujeron en 91 kh/ha a 223 kg/ha, respectivamente.

Además de determinar el umbral de potencial de agua foliar recomendado para la primera irrigación, es necesario conocer el incremento por día en el potencial de agua foliar: en general, suelos franco-arenosos o francos presentan plantas con aumento de (-0.35) a (-0.45) bares conforme ellos se acercan al nivel de estrés de (-15); en suelo a franco arcillosos ocurre un incremento de (-20) a (-0.25) bares por día a medida que las plantas se acercan al umbral de estrés de (-15) bares. Esta tasa constante de cambio es verdadera solamente en la fase inicial de crecimiento del cultivo mientras las raíces de la planta de ALGODÓN se están expandiendo.

La variabilidad de las condiciones ambientales puede causar dramáticas fluctuaciones en el potencial de agua foliar días tras día. Cuando la demanda evaporativa de la planta disminuye, el potencial de agua también disminuye; sin embargo, conforme aumenta la temperatura y aumenta la demanda evaporativa de la planta, también ocurre un correspondiente aumento en el potencial de agua foliar, justo lo que sucede cuando el suelo comienza a secarse.

Entre los diferentes métodos para determinar la necesidad de agua por parte de la planta está la determinación y empleo del uso consuntivo, o método de balance hídrico: el contenido de humedad de suelo (balance o reserva en la cuenta bancaria); el contenido de humedad de suelo puede disminuir como consecuencia de la evapotranspiración del cultivo (retiros) o aumentar por irrigación o lluvias (depósitos). La cantidad de agua requerida

se determina sumando, semanal o diariamente, los valores de evapotranspiración del cultivo de ALGODÓN, iniciando desde la emergencia del cultivo. Este método es muy útil durante el período de floración cuando ocurre la máxima expresión de la parte aérea de la planta y la profundidad del sistema de raíces es estable, aspectos que permiten una determinación más precisa de la disponibilidad del suelo.

#### 4. SUMINISTRO DE AGUA DURANTE LA FLORACIÓN

El suministro de agua durante la floración cumple dos objetivos: Primero, mantener una temperatura de la planta y una tasa de crecimiento que permitan la máxima retención de cápsulas. El agua transpirada por las hojas, enfría la planta, manteniendo así, diariamente, las temperaturas de los tejidos de la planta muy cerca de la temperatura óptima (30°C) para el crecimiento de la planta. Una planta de algodón que no sea capaz de autoenfriarse adecuadamente padecerá disminución en la fotosíntesis neta y aumento en la respiración, limitando así la cantidad de carbohidratos disponibles y necesarios para la retención de cápsulas.

El segundo objetivo de la irrigación durante el período de floración es promover y mantener hojas jóvenes (turgentes o activas) y sanas que suministren carbohidratos a las cápsulas en desarrollo. Puesto que la vida útil de la hoja es limitada (especialmente cuando está sujeta a estrés hídrico), nuevas hojas deben desarrollar continuamente en concierto con el cuajamiento para la formación de nuevas cápsulas. Si la disponibilidad de agua es insuficiente para contrarrestar la demanda evaporativa de la planta de ALGODÓN durante el período de floración, la temperatura de los tejidos de la hoja aumentarán más allá del óptimo requerido para la fotosíntesis y exportación de carbohidratos. El Estrés hídrico también acelera el envejecimiento foliar y disminuye la tasa de crecimiento

de hoja nueva y, así disminuye la fotosíntesis. Bajo estas condiciones la retención de cápsulas es menor (disminuye).

Tanto el cuajamiento de las cápsulas como el rendimiento dependen de cuando ocurre (se presenta) el estrés hídrico, con respecto al período de floración. El ALGODÓN es más sensible al estrés hídrico durante el pico de floración, donde se ha constatado disminuciones en rendimiento hasta de un 32% cuando el estrés hídrico ocurre bien sea antes o después del período de floración, las disminuciones en rendimiento, en general, se han reportado de un 22%.

La primera irrigación después de la siembra se aconsejó cuando el potencial de agua foliar se presentara en (-115) bares, las irrigaciones a través del período de cuajamiento para formación de cápsulas se recomienda cuando el ALGODÓN alcance un nivel de potencial de agua foliar de (-18) bares. Durante el período de floración, el nivel de estrés hídrico de algodón cultivado en suelos de textura fina (arcilloso y franco arcilloso) se espera aumente, aproximadamente, en (-0.4) bares por día; sobre suelos de textura gruesa (franco arenosos), la tasa de incremento típica es, aproximadamente (-0.9) bares por día. Sin embargo, la tasa de cambio por día de los niveles de estrés hídricos se espera fluctúe durante el período de condiciones ambientales externas.

## 5. SUMINISTRO DE AGUA DURANTE EL FINAL DEL PERÍODO DE CULTIVO

El objetivo primario del suministro de agua al final del período de cultivo es proveer agua suficiente para completar el desarrollo de las cápsulas formadas al final. Si se aplica agua en exceso, la apertura de la cápsula se retardará, se impedirá la defoliación y ocurrirá rebrote excesivo. Períodos de estrés hídrico suficientes para dismi-

nuir la transpiración son deseables al final del período de maduración, con el fin de acelerar la maduración de cápsulas y disminuir el nuevo crecimiento expansivo subsiguiente a la defoliación. Si se aplica agua insuficiente, las cápsulas tardías formadas no madurarán totalmente y las cápsulas pequeñas sufrirán «derrame».

## 6. SUSCEPTIBILIDAD DEL ALGODÓN A LAS CONDICIONES DE SALINIDAD

El algodón es muy sensible a sodio y a sales durante los estados de germinación y plántula. La salinidad de suelo retardará la emergencia, aumentando así la vulnerabilidad de las plantas germinadas a las enfermedades en estado de plántula. Las plántulas de ALGODÓN son especialmente sensibles a sales cuando el Calcio es bajo en la solución de suelo, tanto como en suelo sódico (alcalino). La inhibición del crecimiento de la raíz de la plántula es parcialmente bloqueada por las concentraciones de calcio soluble bloqueando el efecto dañino de la salinidad sobre la germinación y estabilizar la superficie del suelo mejorando la agregación y la permeabilidad.

A pesar de la susceptibilidad de las plántulas de ALGODÓN a las sales, las

plantas establecidas aumentan la tolerancia a la salinidad lo cual permite que el ALGODÓN se puede producir económicamente en suelos salinos. Una vez que la población de plantas se establece, el ALGODÓN puede crecer sin disminución en rendimiento a menos que la salinidad de suelo exceda 7.7 dS/m que se aumente la salinidad de suelo, por encima de 7.7 dS/m, los rendimientos de ALGODÓN disminuyen en 5.2% aproximadamente. Las plantas que sobrevivan el estado de plántula en un ambiente salino serán cortas, compactas con hojas pequeñas color oscuro. Por esta razón, la producción de ALGODÓN bajo condiciones salinas se puede adelantar empleando menor distancia entre surcos.

## 7. ESCASEZ EN SUMINISTRO HÍDRICO Y FERTILIZACIÓN CON NITRÓGENO

La fertilización con nitrógeno puede tener un mayor impacto sobre el rendimiento de ALGODÓN cuando el estrés hídrico limita la producción. Las investigaciones han demostrado que cuando el algodón está con estrés hídrico, el rendimiento disminuye. La fertilización nitrogenada puede reducir parcialmente las consecuencias de la carencia de suministro de agua.

Es importante, como mínimo, mantener y, si es posible, aumentar la cantidad de nitrógeno aplicando cuando el rendimiento es limitado por el estrés hídrico. Es preferible fertilizar con nitrógeno en la etapa inicial del cultivo. Si el suministro inicial de agua retarda, el nitrógeno debería ser aplicado antes de la siembra con el fin de asegurar su disponibilidad antes de que el estrés ocurra.

## 8. TRANSPIRACIÓN, EVAPORACIÓN DE SUELO Y HUMEDAD DE LA SUPERFICIE DEL SUELO.

La transpiración puede ser influenciada por fuentes de calor latente provenientes de superficies no evaporantes como el suelo seco que rodea a las plantas en transpiración cuando el aire caliente y seco presente entre surcos para a través de las plantas en los surcos aumenta la transpiración; es decir, bajo estas condiciones el mayor componente de la evapotranspiración será la transpiración.

En ALGODÓN se ha encontrado que la influencia parcial de la cobertura sobre la evapotranspiración está relacionada más con la relación (transpiración como fracción de la evapotranspiración máxima =  $T/TE$ ; (Et md) que con la cobertura de suelo o el peso seco de la planta. Cuando la superficie de suelo entre surcos está seca, esta relación tiene poca incidencia para índices menores de área foliar; se ha encontrado que para índices de área foliar altas como valor 5, el 15% de la evapotranspiración se debe a la evaporación. Sin embargo, el ALGODÓN si es influenciado por la evaporación proveniente del área de suelo seco presente entre los surcos.

La dependencia de la relación (transpiración / evaporación máxima) requiere

que para una condición dada la producción de biomasa, para radiación y temperatura dadas sobre la arquitectura de la planta, es similar tanto por superficie, suelo como húmedo, la eficiencia en la transpiración variará para índices de área foliar menos que un (1), dependiente del grado de humedad de la superficie del suelo. Si aumenta la transpiración y la evaporación disminuye como consecuencia de la pérdida de humedad del suelo, la evapotranspiración será igual a la evapotranspiración máxima tanto en superficies de suelo húmedas o secas, cuando la estructura de área foliar por unidad del área de suelo (índice de área foliar) sea de 2 a 2.5

En ALGODÓN se ha encontrado que el período para diferentes valores de índice de área foliar es: 45 días (IAF menor de 0.5) 25 días (IAF entre 0.5 a 2.0) y 70 días (IAF mayor que 20). Es decir el cultivo para a través de dos fases: a) Evaporación y duración de la humedad de la superficie de suelo casi totalmente denominada por la evapotranspiración (IAF menor que 1.0) y b) evapotranspiración es prácticamente independiente de la humedad de la superficie de suelo (IAF >1.0)

## 9. SUMINISTRO DE AGUA Y REGADORES DEL CRECIMIENTO

Los reguladores de crecimiento de la planta están involucrados en cada una de las fases de su crecimiento y desarrollo. Por ello, no es extraño que el estrés hídrico altere notoriamente los niveles de hormonas de la planta.

El ácido indolacético (AIA o IAA), comúnmente conocido como auxinas, está relacionado con el crecimiento. El estrés hídrico puede causar reducción en el AIA; existe evidencia que el transporte

basípido (hacia la base de la planta) de la auxina se inhibe con estrés hídrico cuyo potencial de agua sea (-10) bases. La reducción en el contenido o transporte del AIA, como consecuencia del estrés hídrico, afectará la producción a través de la abscisión y reducción del área foliar más que por inhibición del crecimiento.

El ácido abscísico (ABA) presenta papel preponderante en el control de la apertura de las estomas (permiten la salida del

vapor de agua proveniente de la planta y permiten la entrada del gas carbónico, CO<sub>2</sub>, indispensable para producir los carbohidratos necesarios para la producción y crecimiento de los diferentes órganos de la planta, mediante el proceso de fotosíntesis); sin embargo, ABA está involucrado en el crecimiento continuo de las raíces para explorar mayores volúmenes de suelo y la reducción del crecimiento de la parte aérea para limitar el área transpirante: ambas son adaptaciones importantes a sequía. Además, ABA reduce el transporte de iones desde la raíz del tallo (por tanto se acumulan en las raíces) y parece influir la permeabilidad de las raíces al agua y a los iones (el estrés hídrico puede alterar la permeabilidad celular al agua).

La citoquininas (CK) son sintetizadas principalmente en las raíces y transportadas a la parte aérea donde contribuyen a prevenir la senescencia foliar; también son importantes para el metabolismo del nitrógeno. Bajo condiciones de estrés hídrico los niveles de citoquininas a menudo resultan en estímulo de la apertura estomatal y de la transpiración. Se indica que la relación ABA/CK, es la dominante en la respuesta hormonal de la planta al estrés hídrico: relaciones altas resultan en cierre de estomas y aumento de la permeabilidad de las raíces; relaciones bajas promueven la apertura de las estomas y re-

duce la permeabilidad de las raíces.

El aumento en la producción de etileno, conforme disminuye el potencial de agua, se presenta entre (-7 y 8) bases, mientras que el aumento en producción de ABA se presenta entre (-8 y 9) bases. Es decir, la síntesis de etileno por parte de la planta es más sensible al desarrollo paulatino del estrés hídrico, comparado en ABA Sin embargo, si el área foliar se estresan a (-12) bases y permanecen marchitas, ABA se acumula más rápidamente que etileno. En ALGODÓN, la producción de etileno juega papel importante en inducir abscisión de órganos (foliares, principalmente). Los mayores efectos de la síntesis de etileno, inducida por estrés hídrico, en la productividad de la planta son resultado de la senescencia foliar, degradación de la clorofila y abscisión de órganos (foliares). Etileno y ABA son inhibidores de crecimiento.

La actividad del ácido giberélico (AG3 y GA3) disminuye en hojas con estrés hídrico y aumenta durante el período de recuperación. La pérdida del AG3 precede el aumento de ABA en un mismo tejido. Tratamiento en AG3 si bien no inducen apertura en estomas, si retardan su cierre.

Promotores de crecimiento: AIA, CK Y AG3  
Inhibidores de crecimiento: ABA y Etileno

## 10. SUMINISTRO DE AGUA Y NUTRIMENTOS

El manejo de la fertilización en ALGODÓN requiere comprender la agronomía del cultivo y la química del suelo, así como el manejo de análisis de suelo y de tejidos de la planta.

A medida que las superficies foliares transpiran (es decir, eliminan el agua de la planta en forma de vapor), el agua y los nutrientes son halados (subidos o «jalados») desde las raíces a través del tejido de conducción llamado xilema

(ocurre movimiento aerópeto, es decir, hacia el ápice de la planta o del órgano). Conforme el suelo pierde humedad se requiere mayor halón (o tensión) a través del xilema con el fin de mantener un flujo adecuado de agua y de solución de suelo dentro de la planta.

Hoy en día, los nutrimentos más empleados son nitrógeno, fósforo y potasio: en ALGODÓN, las dosis empleadas van desde (50-300 para N), (0-50 para P) y

(0-550 para K) kg/ha, en diferentes regiones del mundo. Sin embargo, se ha encontrado que el ALGODÓN remueve cantidades limitadas de azufre, calcio, magnesio y cantidades limitadas de azufre, calcio, magnesio y cantidades mínimas de boro, cloro, cobre, hierro, manganeso, molibdeno y zinc. Cuando el suelo no suministra los nutrientes lo suficientemente rápido para aportar los re-

querimientos de la planta, los nutrientes se deben suministrar con el fin de mantener la fertilidad del suelo; esto especialmente para nitrógeno, potasio y zinc.

Algunos investigadores determinaron la proporción de elementos para la producción de algodón-semilla como sigue (N=1) nitrógeno = 1

PARA OTROS

N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
1	0.5	0.5	0.1	0.1
104	3.8	9.7	13.2	4.3

kg/ha