

Manejo de Agua para Optimizar la Producción de Algodón: Conceptos y Recomendaciones

Juan A. Landivar Bowles
Director de Servicios Técnicos
América del Sur - DeltaPine – Internacional

Introducción

La suma de las pérdidas de agua de la superficie del suelo por evaporación y por el follaje de las plantas por transpiración, se la conoce como evapotranspiración. Las pérdidas de agua por evapotranspiración dependen de la demanda energética del ambiente, tamaño y características del cultivo y de las propiedades físicas y disponibilidad de agua del suelo. La tasa de evapotranspiración regula la temperatura y potencial hídrico de las hojas, las cuales afectan la elongación, desarrollo y productividad de los cultivos. El objetivo de esta presentación es de revisar conceptos que determinan evapotranspiración y sugerir recomendaciones orientadas a optimizar el uso de agua del algodónero.

Evaporación

Evaporación es el proceso por el cual agua líquida es convertida en vapor de agua y removida de la superficie del suelo. La energía requerida para causar el cambio de estado de moléculas de agua del estado líquido al gaseoso proviene principalmente de la radiación solar y la temperatura del suelo. La fuerza para remover las moléculas de agua desde la superficie del suelo es la diferencia de presión del vapor entre la superficie del suelo y la atmósfera alrededores del cultivo. La evaporación es alta en suelos húmedos inmediatamente después de lluvias o irrigaciones y ocurre principalmente en los 10 cm. superiores del perfil del suelo.

Transpiración

Transpiración consiste en la vaporización de agua líquida de la planta hacia la atmósfera a través de las estomas. Este proceso también depende de energía, principalmente proveniente de radiación solar, temperatura y del aire y velocidad del viento. La tasa de transpiración depende de la demanda energética del ambiente. Eventualmente, resistencias causadas por la disponibilidad de agua del suelo limitan el proceso.

Influencias del Suelo

La profundidad, estructura y textura de los suelos definen la capacidad de estos para almacenar y proveer agua a las plantas durante su ciclo de crecimiento. La profundidad del suelo define la zona radicular y el volumen donde el agua puede ser removida por las raíces. La estructura del suelo y su cobertura vegetal son factores determinantes de las tasas de infiltración y rebase de aguas de lluvia e irrigación. La textura de los suelos define la capacidad de estos de retener agua y reducir percolación de agua fuera de la zona radicular. La tabla 1 muestra la capacidad de retención de agua de suelos de diferentes texturas. La capacidad de campo de un suelo es un parámetro que determina la cantidad de agua que un suelo puede retener contra las fuerzas de gravedad, inmediatamente después de una lluvia o irrigación. El punto de marchitamiento permanente es un parámetro definido por la textura de un suelo que determina el nivel mínimo de agua que las plantas pueden extraer del suelo. La diferencia en volumen de agua que un suelo puede retener en capacidad de campo y en marchitamiento permanente determina la cantidad de agua disponible para el cultivo. En la práctica, aproximadamente solo 25 a 30% de esta cantidad de agua es utilizada por la planta sin dificultad. El resto de esta agua

también es utilizada por las plantas, pero estas muestran síntomas de stress hídrico (marchites) especialmente en periodos del día con alta demanda energética.

Tabla 1. Capacidad de suelos de diferentes texturas para retener agua. (mm de agua por cm de profundidad)

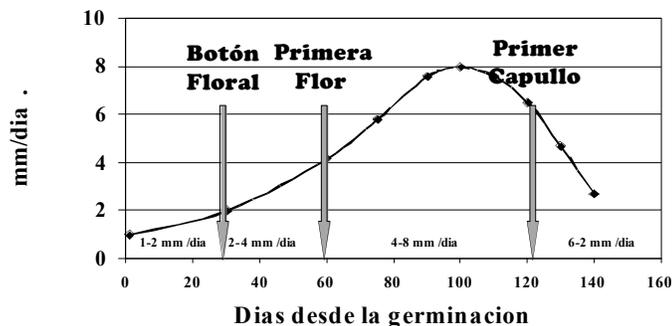
Textura	Franco Arcilloso	Franco	Franco Arenoso	Limo Arenoso
Capacidad de Campo	4.0	3.5	3.0	2.0
Marchitamiento Permanente	2.0	1.8	1.5	1.0
Agua Disponible	2.0	1.75	1.5	1.0
Inicio de Stress	1.1	0.9	0.8	0.7

Fuente: A. Wrona, National cotton Council and D. R. Krieg, Texas Tech Univ. Jan., 2000, Adaptado por Juan A. Landivar, DPL -Internacional

Influencias del Cultivo

Características del cultivo regulan la extracción de agua del suelo en respuesta a demandas energéticas del medio ambiente. Entre estas, el área foliar provee la superficie para captar radiación solar y temperatura del aire. El desarrollo progresivo del área foliar tiene una relación directa con la cantidad de agua removida del suelo por el proceso de evapotranspiración. (Figura 1.) Características aerodinámicas del cultivo (altura, follaje) interaccionan con corrientes de viento creando turbulencias que remueven aire húmedo de la superficie del follaje y lo mezclan con masas de aire mas seco. El viento al remover el aire húmedo de la superficie del follaje permite que las plantas mantengan su tasa de transpiración.

Figura 1. Consumo de Agua del Algodonero durante su ciclo de producción



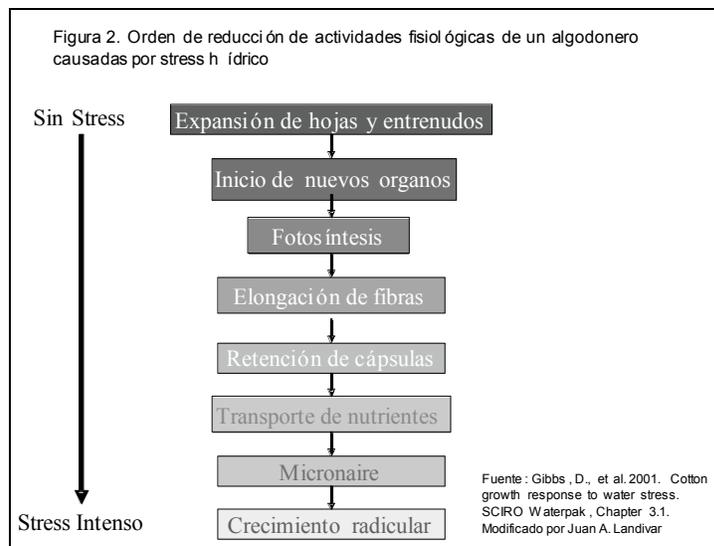
Fuente: Gibbs, D., et al. 2001 Cotton growth response to water stress. SCIRO Waterpak, Chapter 3.1. Modificado por Juan A. Landivar DPL-Internacional

Influencias del Medio Ambiente

El medio ambiente provee la energía para convertir agua líquida de la superficie del suelo y de la planta en vapor de agua. Radiación solar es la principal fuente de energía para en este proceso. En ambientes áridos, temperatura del aire y suelo también son fuentes importantes de energía. El contenido de humedad del aire provee la fuerza para la difusión del vapor de agua desde la superficie de evaporación del suelo o planta al medio ambiente. A medida que el aire alrededor de la planta se satura, las tasas de transpiración son reducidas. La velocidad del viento juega un papel importante en mantener las tasas de transpiración al remover aire húmedo de la superficie del cultivo.

Balance de Energía y Masa

La energía solar recibida por un cultivo y suelo es convertida a calor sensible (temperatura del follaje, aire y suelo) y calor latente de vaporización (Evapotranspiración). El volumen de agua evaporada en respuesta a esta carga energética proviene del suelo. La planta responde a este intercambio de energía y masa de agua regulando su temperatura y su potencial hídrico. Estos ajustes en turgencia y temperatura en la planta afectan fotosíntesis, respiración y elongación de órganos que eventualmente afectan desarrollo vegetativo (área foliar y altura) y finalmente la producción de los cultivos.

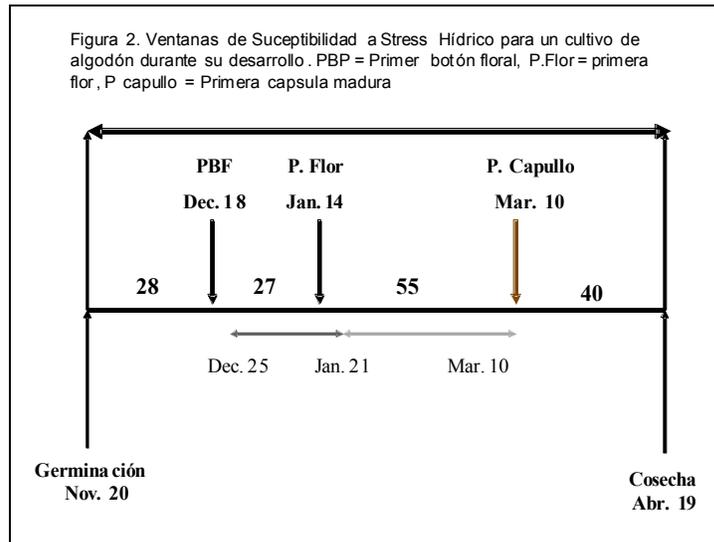


Efectos de Stress Hídrico en la Planta

La figura numero 2 muestra el orden de reducción de actividades fisiológicas causadas por stress hídrico (figura 2). La elongación de hojas y entrenudos son los parámetros más sensitivos a stress hídrico. Reducciones en el intercambio de gases causado por stress hídrico afectan el proceso fotosintético. Reducciones en estos procesos indirectamente reducen el inicio de nuevos órganos, parámetros de calidad de fibra y aborto de frutos. Finalmente, stress hídrico afecta actividades en las raíces como absorción de nutrientes y finalmente el crecimiento radicular.

Trabajos en Texas por D. R. Krieg (2001 Cotton Conference, Corpus Christi, Texas) demostraron que la disponibilidad de agua durante el periodo de formación del primer botón floral y la primera flor, tiene mayor correlación con parámetros de producción, retención de cápsulas y producción de fibras. El segundo periodo en importancia es el periodo desde la primera flor hasta el cutout

o ultima semana de floración efectiva (figura 2). La posible explicación al trabajo de Krieg es que la etapa entre primer botón floral e inicio de la floración, es el período de elongación de entrenudos (altura) y desarrollo del área foliar. Stress hídrico en esta etapa entonces, limitaría la formación de un área foliar capaz de cerrar el surco y captar eficientemente radiación solar. También durante esta fase se forman las estructuras reproductivas que contribuirán con más del 90% a la cosecha final.



Modelo de Balance de Agua de un Cultivo

Los conceptos de pérdidas y utilización de agua discutidos arriba fueron usados por el autor del presente artículo para construir un modelo de balance de agua. El modelo puede ser usado para manejar irrigación o para estudiar la respuesta de manejos agronómicos a la eficiencia de utilización de agua.

El modelo calcula evaporación potencial del suelo y transpiración potencial de la planta usando dos métodos separados. Evaporación potencial del suelo es calculado solo en función de radiación solar y déficit de presión de vapor del medio ambiente. El método para calcular transpiración potencial es usando la ecuación propuesta por Penman la cual además de radiación solar, y déficit de vapor de agua, incluye velocidad del viento. Estos dos potenciales son ajustados por un índice de captación de radiación solar por el follaje. Se asume que la fracción de la radiación solar que no es interceptada por el follaje llega al suelo y causa evaporación en estas áreas del suelo sin vegetación.

Evaporación potencial ocurre a una tasa máxima cuando el suelo esta saturado de agua después de lluvias o irrigaciones. Este máximo ocurre hasta que un límite de evaporación acumulada es alcanzado. Este límite es un parámetro regional que depende de las condiciones de la superficie del suelo y varia de 8 a 12 mm. Después de este evento, evaporación continúa a una tasa progresivamente reducida. Este proceso se repite cada vez que la superficie del suelo recibe humedad de lluvias o de irrigaciones.

Transpiración procede a una tasa máxima mientras el contenido de humedad del suelo esté arriba de 30% de su capacidad de campo. Después de este punto, transpiración es reducida gradualmente a medida que el agua del suelo es reducida por evaporación o transpiración. Las cantidades diarias de evaporación y transpiración (cada una ajustada por la fracción que recibe luz solar) son restadas de la cantidad de agua remanente en la zona radicular de suelo. A este valor se le suma la cantidad de lluvia o irrigación para obtener el balance hídrico para cada día.

Como Optimizar el Uso del Agua Disponible

La estrategia sugerida para optimizar el uso del agua disponible es simplemente maximizar la cantidad de agua transpirada por la planta durante el ciclo del cultivo. Mientras agua circule por las plantas, estas mantendrán los estomas abiertos, permitiendo el intercambio de gases y fotosíntesis; mantendrán temperaturas adecuadas para reducir fotorespiración y evitar la degradación de proteínas; además mantendrá su potencial hídrico para continuar con la elongación de entrenudos y hojas. Estas condiciones hídricas permiten un desarrollo vegetativo adecuado para mantener una área foliar productiva y una estructura fuerte para sustentar una alta producción y retención de estructuras reproductivas.

Prácticas para mantener las tasas de transpiración en un cultivo incluyen: Primero, iniciar la siembra con una cantidad máxima de agua en la zona radicular. Para alcanzar este objetivo se debe considerar seleccionar suelos con alta capacidad de retención de agua, evitar cultivos de invierno, manejo adecuado de coberturas verdes. Esta última práctica reduce el rebase y promueve infiltración y almacenamiento de lluvias. Evitar el desarrollo de capas compactas en el suelo también es recomendable para promover infiltración. Esto se logra eficientemente por medio de subsolaciones profundas cada 3 a 5 años. Es muy importante también considerar el uso de prácticas de labranzas reducidas y siembra directa.

La segunda estrategia para maximizar transpiración durante el ciclo del cultivo consiste en reducir evaporación. Prácticas que ayudan a obtener este objetivo incluyen la selección de variedades precoces capaces de cubrir el suelo rápidamente; reducir la distancia entre surcos también es una práctica efectiva para cubrir el suelo rápidamente con vegetación. Mantener cobertura orgánica sobre el suelo (siembra directa) reduce considerablemente la pérdida de agua del suelo por evaporación. La mejor forma de reducir evaporación posiblemente sea la obtención de una siembra y establecimiento de un cultivo uniforme es decir con plantas bien distribuidas y sin fallas en el surco. Esto se obtiene con la selección de semillas de alta calidad en términos de viabilidad y vigor y el uso de sembradoras de precisión, equipadas con implementos adecuados para el tipo de preparación del suelo.

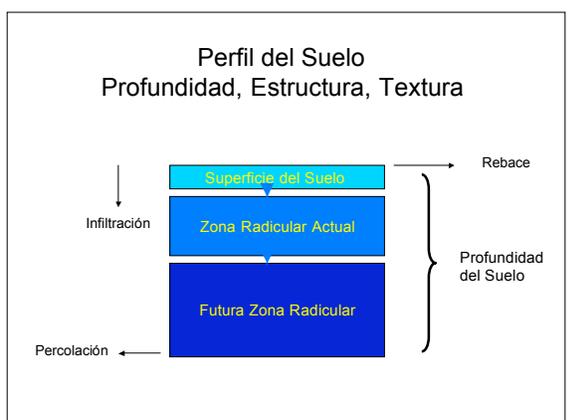
La tercera estrategia para maximizar la cantidad de agua transpirada por la planta durante el ciclo del cultivo consiste en optimizar la eficiencia del uso del agua. Prácticas de manejo como corregir la fertilidad de los suelos, controlar malezas, enfermedades, insectos y nematodos son efectivos para alcanzar este objetivo. El algodón es un cultivo perenne con hábitos de crecimiento indeterminado con tendencia a producir un crecimiento vegetativo excesivo en condiciones de alta fertilidad y disponibilidad de agua. El uso de reguladores de crecimiento es muy recomendado para controlar este exceso de crecimiento.

Conclusiones

Análisis de estas estrategias con el modelo de simulación descrito en esta presentación demuestra que (1) iniciar la siembra con el perfil del suelo lleno de agua, (2) el uso siembras directas y manejo de coberturas vegetales y (3) el establecimiento de cultivos uniformes, vigorosos, libre de malezas, insectos y enfermedades son prácticas efectivas para reducir la evaporación del suelo e incrementar la cantidad de agua transpirada por las plantas durante el ciclo del cultivo. Sistemas de producción que incluyan estas prácticas llevarán a incrementos en rendimiento y calidad de fibra de cultivos de algodón.

Manejo de Agua para Optimizar la Producción de Algodón: Conceptos y Recomendaciones

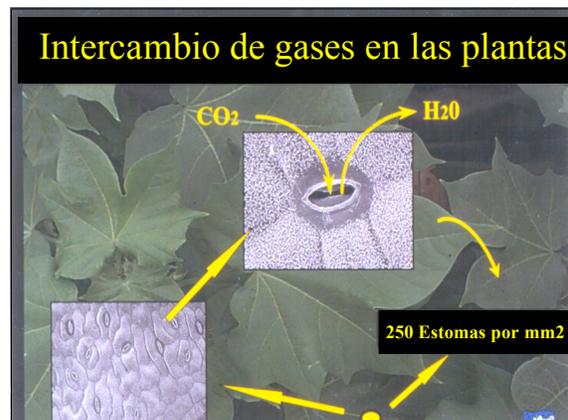
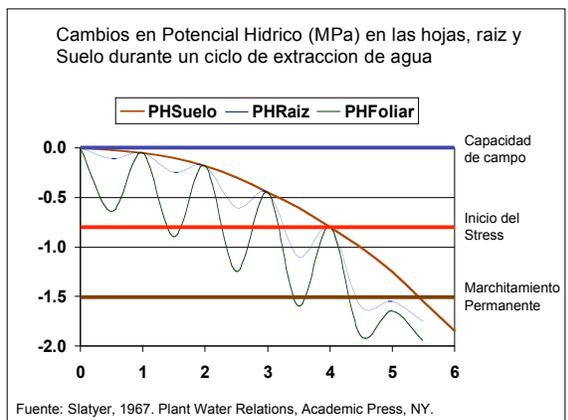
Juan A. Landivar Bowles
 Director de Servicios Técnicos
 America del Sur-DeltaPine - Internacional



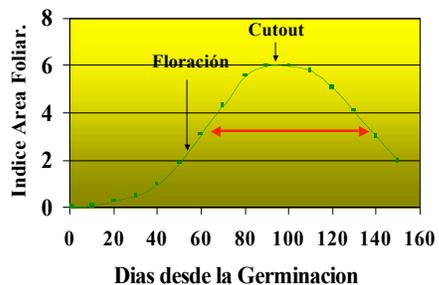
Capacidad de suelos de diferentes texturas para retener agua. (mm de agua por cm de profundidad)

Textura	Franco Arcilloso	Franco	Franco Arenoso	Limo Arenoso
Capacidad de Campo	4.0	3.5	3.0	2.0
Marchitamiento Permanente	2.0	1.8	1.5	1.0
Agua Disponible	2.0	1.75	1.5	1.0
Inicio de Stress	1.1	0.9	0.8	0.7

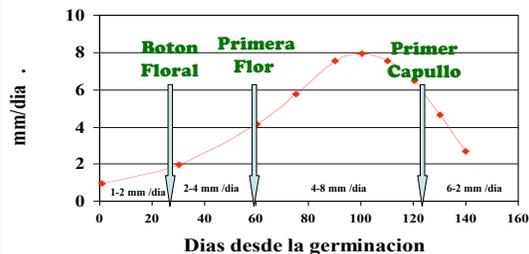
Fuente: A. Wrona, National cotton Council and D. R. Krieg, Texas Tech Univ. Jan., 2000, Adaptado por Juan A. Landivar, DPL-Internacional



Indice de Area Foliar

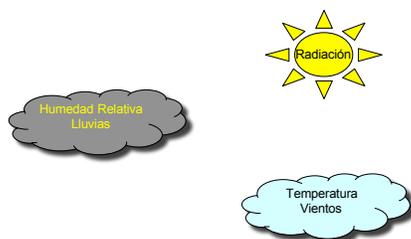


Consumo de Agua del Algodonero



Fuente: Gibbs, D., et al. 2001 Cotton growth response to water stress. SCIRO Waterpak, Chapter 3.1. Modificado por Juan A. Landivar

Ambiente



Balance energetico de un cultivo

$$R_n - H_c - LE = 0$$

R_n = Radiación neta

H_c = Temperatura del follage, $f(TI-Ta,ra)$

LE = Calor latente de vaporizacion, ET
 $f(PHF,r_l,TI,Ea,ra)$

Balance de masa de agua de un cultivo

$$\Delta\theta_s = ET$$

$\Delta\theta_s$ = Cambio en el contenido de agua del Suelo (extracción de agua del suelo)

$ET = f(PHF,r_l,TI,Ea,ra)$ donde

PHF = Potencial hidrico foliar

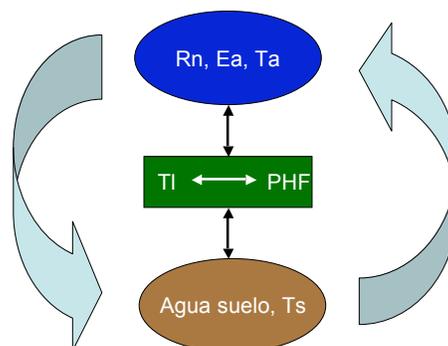
r_l = Resistencia foliar

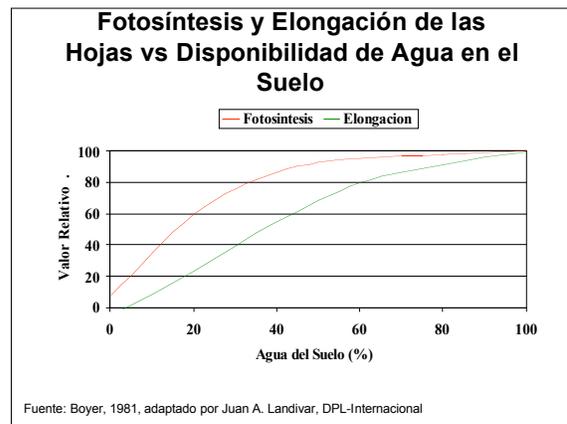
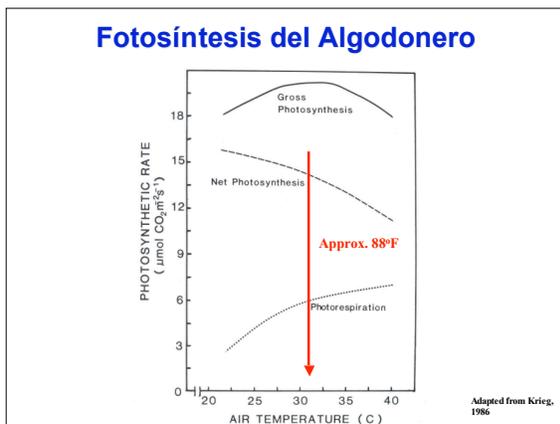
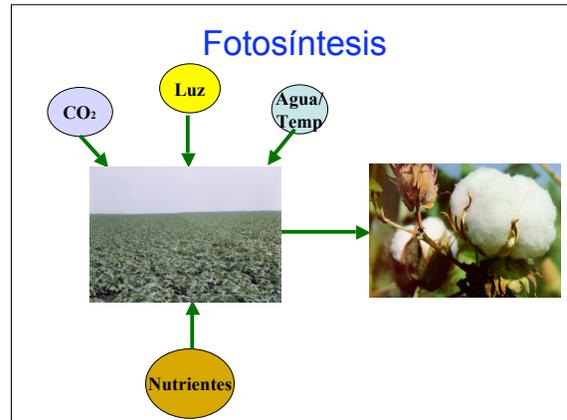
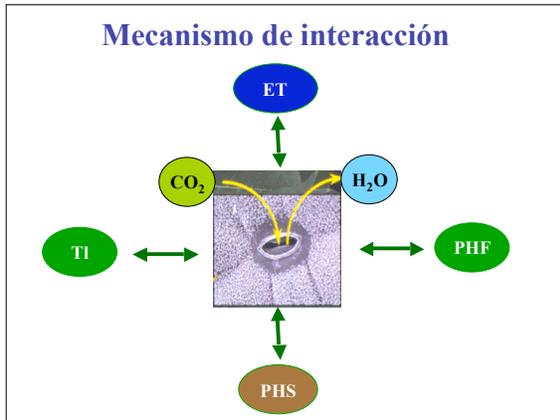
TI = Temperaturar foliar

Ea = Humedad ambiental

ra = Resistencia aereodinamica

Intercambio de masa y energia

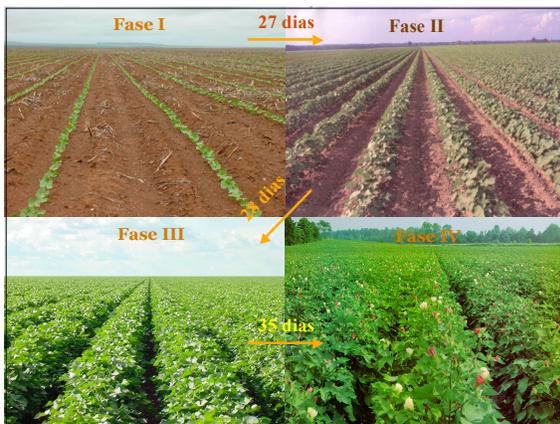
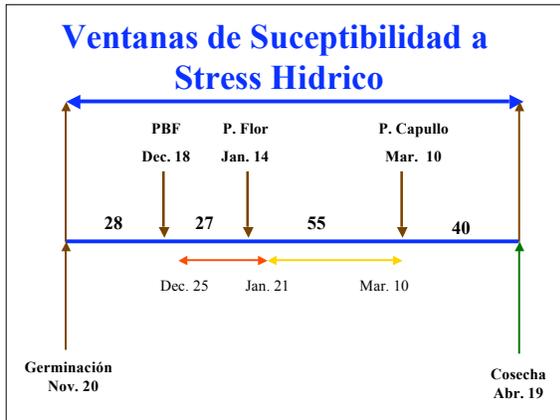




Coefficientes de correlación (r) para componentes de rendimiento versus disponibilidad de agua en varios estados de desarrollo de un cultivo de algodón

	Producción m ²	Capsulas m ²	Capsulas planta ⁻¹	Fibra capsula ⁻¹	Fibra planta ⁻¹
Disponib. Total de agua	0.34	0.35	0.37	0.12	0.36
AD S - IBF	-0.32	-0.18	-0.08	-0.24	-0.22
AD IBF - IF	0.73	0.58	0.54	0.65	0.68
AD IF - CO	0.32	0.55	0.23	0.04	0.13
AD CO - Madurez	-0.43	-0.45	-0.23	-0.56	-0.27

AD - Agua Disponible S - Siembra IBF - Inicio Boton Floral IF - Primera Flor CO - Cutout
Fuente: D.R. Krieg, 2001, Texas Tech University



Evapotranspiración Potencial (Referencia, ET_o)

$$ET_o = f(Rn, TI)$$

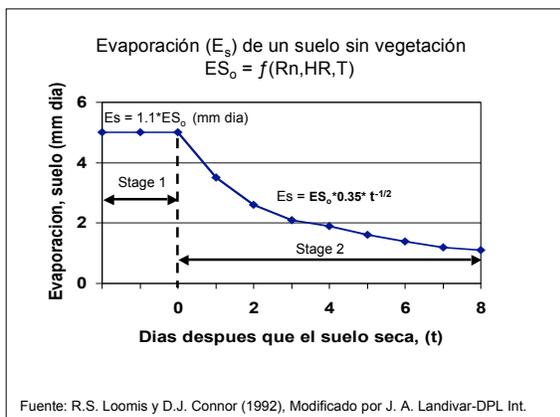
Priesley y Taylor (1972)

$$ET_o = f(Rn, TI, HR, V)$$

Penman (1948)

$$ET_o = f(Rn, TI, HR, ra, rc)$$

Monteih (1964)



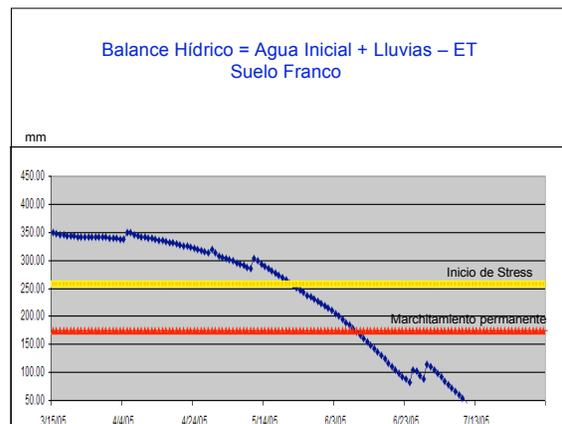
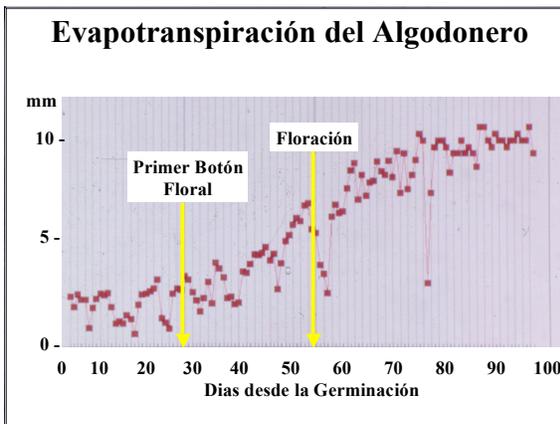
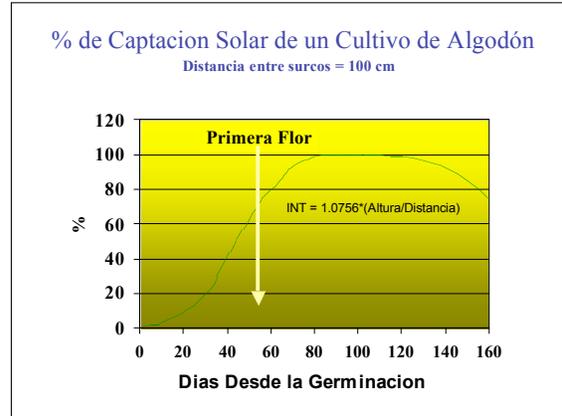
$$Es = (ES_o \cdot (1-INT))$$

$$Ep = (ET_o \cdot INT) \cdot K_c$$

$$ET = Es + Ep$$

Donde:

Es = Evaporación actual del suelo sin cobertura
 Ep = Transpiración actual del área con plantas
 ET = evaporación actual de agua del sistema Suelo-Planta
 INT = Fracción de Rn captada por la planta
 (1-INT) = fracción de Rn que llega al suelo
 ES_o = evaporación actual del un suelo sin vegetación
 ET_o = evapotranspiración referencia
 K_c = Coeficiente basado en resistencias del sistema suelo-planta que afectan ET_o

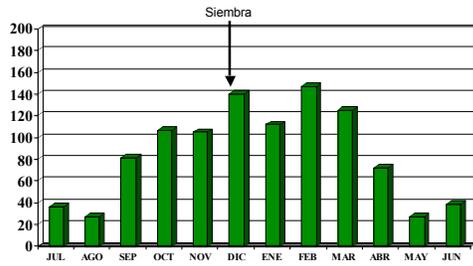


Que hacer para optimizar el uso del agua disponible

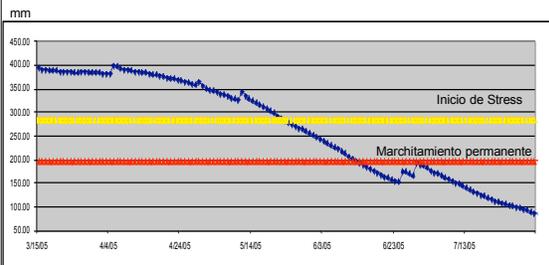
Maximizar la cantidad de agua transpirada por las plantas (Ep) durante el ciclo del cultivo.

- Prácticas para incrementar Transpiración**
- Iniciar la siembra con el perfil lleno**
 - Seleccionar suelos con alta capacidad de retención de agua
 - Evitar cultivos de Invierno
 - Manejo adecuado de coberturas verdes
 - Promover la infiltración
 - Subsolar cada 3 a 5 años
 - Considerar siembra directa y labranza reducida
 - Determinar la fecha de siembra

Precipitación Histórica (mm) Pailón-Santa Cruz, 1994-2005



Balance Hídrico = Agua Inicial + Lluvias – ET
Suelo Franco Arcilloso

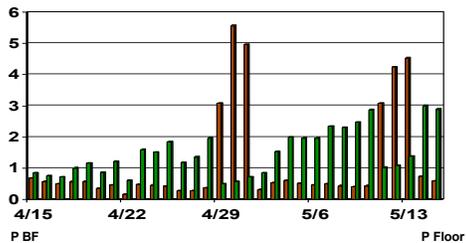


Prácticas para incrementar Transpiración

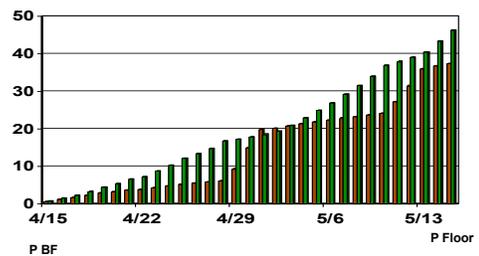
2. Reducir evaporación del Suelo

- Seleccionar variedades precoces
- Reducir la distancia entre surcos
- Mantener cobertura orgánica
- Uniformidad
 - Usar una buena sembradora
 - Usar semilla de alta calidad

Evaporación y Transpiración (mm / day)
en Surcos de 100 cm



Evaporación y Transpiración Acumulada (mm)
en Surcos de 100 cm



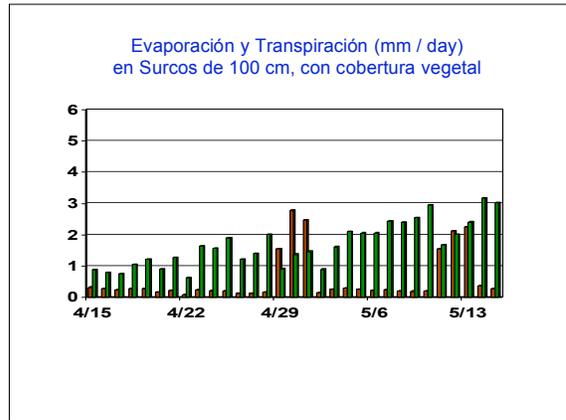
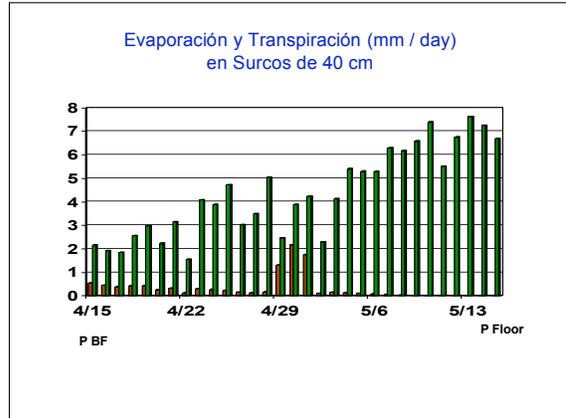


USA

Distancia entre surcos: 38 cm.
Cierre del Surco:
40 días despues de Germinar



Convencional: 100 cm.
Cierre del Surco:
70 días despues de Germinar

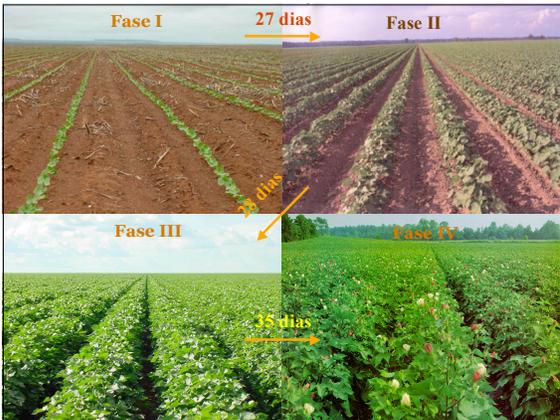
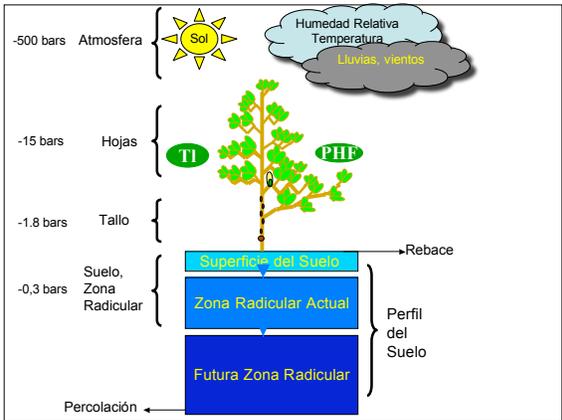




Prácticas para incrementar Transpiración

3. Mejorar la eficiencia de uso del agua

- Corregir la fertilidad de los suelos
- Controlar malezas
- Controlar enfermedades
- Controlar insectos
- Evitar campos infestados con nematodos
- Evitar crecimiento excesivo de las plantas usando reguladores de crecimiento



Que hacer para optimizar el uso del agua disponible

Maximizar la cantidad de agua transpirada por las plantas (E_p)

1. Iniciar la siembra con el perfil lleno
2. Minimizar evaporación del suelo (E_s)
3. Optimizar la eficiencia del uso del agua (Eficiencia de la transpiración)

