

Evaluación de diferentes estrategias de riego y su efecto en los componentes de rendimiento de algodón

Paytas, Marcelo ¹; Mieres, Luciano ¹; Tulio Longhi ¹; Agretti, Santiago ²

¹ INTA EEA Reconquista, Santa Fe.
mpaytas@correo.inta.gob.ar

² FCA UNNE, Corrientes.

Resumen

El Algodón es un cultivo caracterizado por su ancestro perenne y xerofítico, pero cultivado anualmente en la rotación con otros cultivos comerciales. Su cultivo se ha mecanizado completamente desde la siembra hasta la cosecha en estas últimas campañas agrícolas en Argentina. Esto ha generado un nivel de competitividad mayor, a la cual se puede agregar la expansión del sistema de surcos estrechos como modalidad de producción y la implementación, en algunos casos, de sistemas de riego. La disponibilidad hídrica, como en todos los cultivos, es de vital importancia. De acuerdo al momento de ocurrencia del déficit hídrico, el efecto en el rendimiento de algodón y sus componentes suele variar. Así, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el impacto del estrés hídrico durante las etapas de pre-floración, floración y llenado de bochas, y su efecto en los componentes del rendimiento. Se realizaron tratamientos de riego por aspersión, variando momentos y dosis de agua aplicada durante dos campañas agrícolas. Se llevaron a cabo mediciones y muestreos secuenciales, tanto de tejido vegetal como de suelo, mapeos de órganos reproductivos y análisis de componentes de rendimientos. Se observó que la etapa de mayor sensibilidad al déficit hídrico se encuentra durante floración afectando significativamente el porcentaje de retención de pimpollos y flores. Esto coincide con antecedentes que muestran pérdidas similares de fibra por hectárea por cada día que la planta se encuentra en condiciones de estrés hídrico durante dicha etapa fenológica. Cuando el periodo de estrés hídrico ocurrió hacia fines del ciclo del cultivo, durante la maduración y llenado de bochas, se vio afectado el tamaño y peso individual de bochas con efectos negativos en el rendimiento; este efecto se vio acrecentado por las altas temperaturas durante dicho periodo en la presente campaña 2011/12 comparado con la anterior (2010/11).

Introducción

La incorporación de biotecnología para el desarrollo de cultivos transgénicos como algodón ha incrementado considerablemente la productividad y sustentabilidad de los sistemas agrícolas. La introducción de algodón genéticamente modificado (GM) en los sistemas productivos es un gran avance tecnológico que ha mejorado la tolerancia a plagas y enfermedades, como así también un mejor control de malezas (Fitt, 2000; Constable, 2004).

A pesar de estos grandes avances, cuestiones relacionadas con el manejo del agua tanto en condiciones de secano como en sistemas irrigados no han sido aún significativamente

resueltas. El algodón es un cultivo caracterizado por su ancestro perenne y xerofítico (Hearn, 1979), lo cual brinda ciertas ventajas en el uso de agua sobre otros cultivos comerciales. Las variedades de algodón modernas tienden a retener mayor número de cápsulas por unidad de superficie que variedades tradicionales obteniendo mayores rendimientos (Ahuja, 2006; Hoff, 2006; Yeates, 2006; Mills, 2008; Paytas, 2009). Las mismas sufren un cambio en la arquitectura de planta, distribución de frutos y una mayor demanda de asimilados por parte de un mayor número de órganos reproductivos (Bange, 2000). La “interpretación” de la relación fuente-destino de asimilados es esencial a fin de ajustar prácticas de manejo, como por ejemplo fechas de siembra y momentos de irrigación. Mientras algunos autores sostienen que la etapa cercana a floración es crítica al estrés hídrico generando mayores pérdidas de rendimiento (Turner, 1986; Marur, 1991), otros refieren a etapas de pre-floración, en especial en variedades GM.

Durante el periodo vegetativo del cultivo, la producción de asimilados se incrementa a través del proceso de fotosíntesis. A medida que la planta continúa creciendo la demanda de asimilados por parte de los diferentes órganos de la planta también se incrementa. De esta manera, se genera un balance entre la oferta y demanda de asimilados. El tiempo a madurez se encuentra determinado por la capacidad de la planta de algodón de continuar la producción de nuevos órganos vegetativos en relación a la demanda por parte de nuevos órganos reproductivos (Hearn, 1994). El número de cápsulas producidas se encuentra directamente afectado por el balance de oferta y demanda de asimilados durante el ciclo del cultivo (Bange, 2000). Esta afirmación es explicada por la hipótesis nutricional en conjunción con la hipótesis de balance hormonal dentro de la planta.

La retención y distribución de cápsulas dentro de una planta, es importante en la determinación del rendimiento final, y está asociado con la ubicación de los asimilados producidos durante el crecimiento vegetativo de la planta. Si la disponibilidad de asimilados es adecuado para mantener las cápsulas en crecimiento, dichas cápsulas serán fijadas en la planta (Constable, 1991; Jenkins, 1990). Sin embargo, cuando la demanda de los destinos en activo crecimiento (cápsulas) excede la oferta de asimilados, la fijación de las mismas será reducida (Guinn, 1998; Mason, 1922). El incremento en la captura de luz antes del pico de floración y la etapa de llenado de bochas es de vital importancia. Una canopia significativamente mayor capaz de proveer más asimilados a los órganos reproductivos, resulta en incrementos de los rendimientos (Heitholt, 1992). Aquellos cultivos que crecen en ambientes con mayor radiación solar disponible tienen mayor capacidad fotosintética y carbono asimilable, comparado con aquellos que crecen con baja radiación solar disponible (Patterson, 1977). Ambientes con baja radiación solar (días nublados sucesivos) pueden afectar directamente la producción de asimilados, con reducciones tanto en rendimiento como en calidad de fibra (Pettigrew, 1994).

Ajustar las prácticas de manejo agronómico son esenciales a fin de lograr rendimientos óptimos y cercanos al potencial para la región en cuestión. Una práctica de configuración de cultivo que se ha expandido exitosamente en los últimos años en Argentina, es lo que comúnmente se llama surcos estrechos y altas densidades de cosecha mecanizada. Algunos trabajos realizados mostraron incrementos en el rendimiento, precocidad y calidad de fibra con el aumento del número de plantas por hectárea (Roche, 2006; Guinn, 1981). Sin embargo, estos sistemas son complejos y dinámicos, lo cual genera la necesidad de diseñar planes de investigación para obtener conocimiento, que permitan comprender su funcionamiento en relación al ambiente y plantear ajustes en la utilización de la tecnología.

En la combinación de ambos factores, tanto el recurso agua como la configuración espacial (altamente expandido en sistemas algodoneros argentinos), es interesante conocer la respuesta que se obtiene en algodones genéticamente modificados (Ej: Bt, RR, BG) a fin de ajustar y actualizar las prácticas de manejo agronómico diseñadas antiguamente para algodones tradicionales, con el objetivo de incrementar el rendimiento y calidad de fibra como así también mantener una producción constante durante los sucesivos años en condiciones del norte de Santa Fe. Así el objetivo del presente trabajo fue evaluar el impacto del estrés hídrico durante las etapas de pre-floración, floración y llenado de bochas, y su efecto en los componentes del rendimiento.

Materiales y Métodos

Los ensayos de campo se llevaron a cabo durante la campaña 2010-11 y 2011-12 en la Estación Experimental del INTA Reconquista y en La Vertiente, Avellaneda, ambos sitios ubicados en el norte de Santa Fe, Argentina. La variedad Bt NuOpal fue sembrada en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. El espaciamiento entre hileras fue 0,52 m y la densidad de población 200.000 plantas.ha⁻¹.

El tipo de suelo en ambas áreas de estudio es Argiudol Acuertico. La precipitación media anual es de 1260 mm, principalmente concentradas durante el verano. Las condiciones meteorológicas fueron registradas durante la campaña en el observatorio meteorológico situado en la EEA INTA Reconquista. El contenido de agua en suelo fue registrado por medio de la sonda de neutrones (Troxler 4302) y mediciones gravimétricas a la siembra.

Los ensayos que se llevaron a cabo con el fin de lograr mejorar la relación temprana fuente-destino en surcos estrechos a fin de mejorar rendimiento, son los siguientes: Ensayos 1 (2010/11) y 2 (2011/12: dos niveles de disponibilidad de agua en pre-floración (T1: condiciones de riego teniendo en cuenta las necesidades del cultivo, T2: condiciones de secano dependiendo solamente de la precipitaciones). Ensayo 3 (2011/12): tres niveles de disponibilidad hídrica (T1: riego continuo, T2: estrés hídrico en pimpollado y floración y T3: estrés hídrico en llenado de bochas).

Con la evapotranspiración potencial estimada según Penman-Monteith (Allen, 2006), precipitaciones registradas, contenidos hídricos a la siembra y coeficientes de cultivo se elaboraron balances hídricos diarios simplificados del agotamiento del perfil superficial de suelo (50 cm). El sistema de riego utilizado fue por aspersión. Los riegos se realizaron cuando se produjo el agotamiento del 50 % del agua útil de los primeros 50 cm del suelo, reponiendo con láminas de 30 mm. El periodo de estrés hídrico se logró cubriendo el entresurco con plásticos para evitar el ingreso de posibles precipitaciones durante el periodo en cuestión, y al finalizar dichos periodos los plásticos fueron removidos. Ni bien se retiraron los plásticos todos los tratamientos continuaron siendo regados. Se asume como periodo de estrés hídrico para algodón cuando se alcanza el 50% de agua disponible en el suelo.

Las cosechas de biomasa total y partición de asimilados, índice de área foliar (Li-Cor 2000), intercepción de la radiación (radiómetro) y rendimiento de algodón, así como el mapeo de los órganos fructíferos, niveles de retención, abortos y distribución de los mismos, se realizaron

en diferentes etapas de desarrollo durante toda la campaña. Análisis de la varianza y LSD se realizaron a los datos obtenidos.

Resultados y discusión

Campaña 2010/11

Los datos meteorológicos de la campaña 2010-11 se observan en Tabla 1. En términos generales, se registró una buena cantidad de precipitaciones (650 mm) distribuidas de manera uniforme a través de las etapas fenológicas del cultivo de mayor requerimiento hídrico. Sin embargo, según el balance hídrico calculado se encontraron déficits hídricos (70 mm), que en el caso de los ensayos irrigados, fueron revertidos con el agregado de agua con riego por aspersión. Las temperaturas registradas fueron similares a las medias de los últimos 40 años para la zona.

Tabla 1: Precipitaciones y temperaturas medias de la campaña algodonera 2010-11

	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
Precipitaciones (mm)	7	92	221	138	158	34
Temperaturas Max medias (°C)	25.4	29.0	30.8	31.8	29.0	28.8
Temperaturas Min medias (°C)	11.6	14.6	18.3	21.2	20.6	17.7

En el Ensayo 1, la disponibilidad de agua afectó el tiempo necesario para llegar a diferentes etapas fenológicas del cultivo (DDS). Cut-out y madurez fisiológica (60% cápsulas abiertas) ocurrieron más temprano en tratamientos de secano, mientras que en algodones bajo riego se retrasaron considerablemente (17 días). La cantidad de agua (lluvia más riego) que se agregó en el tratamiento de riego fue suficiente para mantener encima del 60% de agua de suelo disponible para la planta durante toda la campaña, evitando que el cultivo sufriera algún período de estrés hídrico.

Tabla 2: Variables vegetativas y reproductivas en secano y riego 2010/11 (Ensayo 1).

Variables vegetativas	T1. Algodón en secano	T2. Algodón bajo riego
MS Total (g m-2)	888,05b	1230,42a
MS foliar (g m-2)	89,13b	151,11a
Variables reproductivas		
MS fruto (g m-2) 110 DDS	579,42b	741,92a
Retención fructífera 110 DDS (%)	67b	73a
Rendimiento de algodón (Kg ha-1)	2.945 b	3.498 a

*: Letras diferentes indican diferencias significativas (P 0.05)

La producción de materia seca vegetativa fue mayor en las primeras etapas del cultivo bajo condiciones de riego, alcanzando antes el 95% de intercepción de la radiación solar. Un período más largo hacia madurez fisiológica asociado con el algodón bajo riego se traduce en un mayor número de cápsulas y alta tasa de retención de las mismas. Esto puede explicarse por medio del balance en la oferta de asimilados disponibles para satisfacer una mayor demanda de cápsulas en crecimiento. El algodón bajo riego generó un mayor número de nudos y sitios de fructificación, pero además mayor número de abortos en la parte inferior de la planta, y ha sido posiblemente afectado por el menor flujo de radiación solar interceptada en la parte inferior de la canopia en comparación con el algodón de secano. El tratamiento de riego mostró un aumento (17%) del rendimiento final de algodón en comparación con el tratamiento de secano (Tabla 2), en consonancia con Pettigrew (2004).

Campaña 2011/12

Los datos meteorológicos de la campaña 2011/12 se observan en el cuadro 3. En términos generales, se registró menor cantidad de precipitaciones con respecto a la campaña anterior. La distribución de la misma no ocurrió de manera uniforme. En Diciembre y Enero ocurrieron marcados déficits hídricos, coincidiendo con las etapas fenológicas del cultivo de mayor requerimiento hídrico (desde pimpollado hasta fin de floración efectiva aproximadamente). Esto fue revertido con el agregado de agua por aspersión en los tratamientos correspondientes (160 mm). Las temperaturas máximas y mínimas registradas estuvieron por encima de las medias históricas durante el periodo de llenado de cápsulas y maduración.

Cuadro 3. Precipitaciones y temperaturas máximas y mínimas medias del aire de la campaña algodonera 2011/12

	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril
Precipitaciones (mm)	139	23	37	111	154	84
Temperaturas Max medias (°C)	29.6	31.1	34.6	34.6	29.9	29.0
Temperaturas Min medias (°C)	17.1	17.8	19.2	22.2	18.3	16.2

En el ensayo 2, La disponibilidad de agua afectó el tiempo necesario para llegar a diferentes etapas fenológicas del cultivo (DDE). Madurez fisiológica (60 % cápsulas abiertas) ocurrió más temprano en tratamientos de estrés hídrico, mientras que en algodones bajo riego se retrasó considerablemente (8 días). La cantidad de agua (precipitaciones más riego) que se agregó en T1 fue suficiente para mantener encima del 50 % de agua de suelo disponible para la planta durante toda la campaña, evitando que el cultivo sufra algún período de estrés hídrico.

La producción de materia seca vegetativa fue mayor en la etapa floración bajo condiciones de riego, alcanzando antes el 95 % de intercepción de la radiación solar. Mayor tasa de producción de sitios fructíferos, tanto en el tallo principal como en las ramas laterales, se observó bajo riego, lo cual puede explicarse por medio del balance en la oferta de asimilados disponibles para satisfacer una mayor demanda de cápsulas en crecimiento (Bange, 2000; Hearn, 1994).

El algodón bajo riego generó un mayor número de nudos y sitios de fructificación, pero además mayor número de abortos en la parte inferior de la planta, y ha sido posiblemente afectado por el menor flujo de radiación solar interceptada en la parte inferior de la canopia en comparación con el algodón con estrés hídrico. El tratamiento de riego mostró un aumento (12 %) del rendimiento final de algodón en comparación con el tratamiento de estrés hídrico, de manera similar a Pettigrew (2004) y Paytas (2012).

Cuadro 4. Evolución del porcentaje de retención de órganos fructíferos y total de sitios fructíferos por planta según mapeo de arquitectura de canopia. Ensayo 2.

Tratamientos	Evolución de retención fructífera (%)			Total sitios fructíferos/pl**
	61 DDE	82 DDE	122 DDE	122 DDE
T1.	85 a*	63 a	26 a	19 a
T2.	83 a	62 a	28 a	15 b

* Letras diferentes en la misma columna (a,b,c) indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

**Total sitios fructíferos/pl tiene en cuenta todas las posiciones generadas en la planta tanto abortada como retenida. De este total se calcula el % de órganos retenidos en la planta (% retención fructífera).

Cuadro 5. Rendimiento de algodón y peso de capullo para cada tratamiento. Ensayo 2

Tratamientos	Rendimientos de algodón (kg ha ⁻¹)	Peso de capullo (gm ⁻²)	Retención floral total a Madurez fisiológica (%)
T1.	3.495 a*	4,03 a	26 a
T2.	3.058 c	3.97 a	28 a

* Letras diferentes en la misma columna (a, b, c) indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Cuadro 6. Variables vegetativas analizadas en cada tratamiento. Ensayo 2

Variables vegetativas	T1	T2
MS Total (g m-2)122 DDE	1230.42 a*	852.10 b
MS foliar (g m-2)	139.11	87.10 b
Índice área foliar (IAF)	2.3 a	1.8 b
Altura (cm)	67 a	52 b
Número Nudos totales	17 a	13 b

* Letras diferentes en la misma columna (a,b,c) indican diferencias significativas ($p < 0.05$)

En el ensayo 3, en el tratamiento con déficit hídrico prolongado (T2) se observó un menor crecimiento con baja producción de materia seca; afectando posteriormente la relación fuente – destino. Este desbalance provocó una caída en % de retención de órganos en la planta, y menor rendimiento en kg de algodón en bruto por hectárea.

El déficit hídrico provocado en la etapa de llenado de bochas no afectó el crecimiento vegetativo de la planta, ya que éste ocurrió luego de que el cultivo haya finalizado dicho crecimiento. El área foliar total se vio disminuido por senescencia prematura de hojas, esto llevó a una disminución en la re movilización de fotoasimilados, dando como resultado un menor peso de frutos; lo cual conlleva a una disminución del rendimiento.

Con un riego continuo (T1), evitando que las plantas sufrieran estrés hídrico prolongado, se pudo observar un crecimiento vegetativo con mucha producción de materia seca, y mayor IAF que los tratamientos anteriores. La retención fructífera fue mayor y teniendo en cuenta el peso por fruto obtenido, se observó una relación fuente – destino adecuada generando una mayor producción por ha de kg de algodón en bruto.

Altas temperaturas máximas en la presente campaña aceleraron el proceso de madurez (desarrollo) pero no lograron acumular la cantidad de materia seca (crecimiento) necesaria para incrementar su tamaño. Similar situación ocurrió en estadios posteriores, es decir, apertura y madurez de bochas, quedando las mismas semiabiertas en algunos casos, dificultando la cosecha. Sin dudas, la calidad de la fibra se ve afectada en numerosos de sus parámetros físico-químicos.

La interacción de altas temperaturas y déficit hídrico logran incrementar el número de abortos de formaciones reproductivas en la planta y así disminuir el rendimiento. Los dos momentos claves en la fijación de dichos órganos son: floración y fructificación. En los primeros estadios previos a la aparición de la flor, es decir, cuando observamos el pimpollo, es de crucial importancia. También radica importancia el primer estadio de formación de fruto cuando el mismo tiene un diámetro similar al de un lápiz.

Cuadro 7. Variables vegetativas y reproductivas. 2011/12. Ensayo 3

	T1. Riego continuo	T2. Déficit hídrico prolongado en pimpollado y floración	T3. Déficit hídrico en llenado de bochas
Variables vegetativas			
MS Total (g m-2)	1215a	852c	1035b
MS foliar (g m-2)	141a	81c	122b
Variables reproductivas			
MS fruto (g m-2)122 DDS	949a	581c	725b
Retención fructífera 110 DDS (%)	32a	21c	25b
Rendimiento (Kg ha-1)	3361a	1500c	2976b

Conclusión

Se observó que la etapa de mayor sensibilidad al déficit hídrico se encuentra durante floración afectando significativamente el porcentaje de retención de pimpollos y flores (Ensayos 1 y 2). Esto coincide con antecedentes que muestran pérdidas similares de fibra por hectárea por cada día que la planta se encuentra en condiciones de estrés hídrico durante dicha etapa fenológica. Cuando el periodo de estrés hídrico ocurrió hacia fines del ciclo del cultivo, durante la maduración y llenado de bochas (Ensayo 3), se vio afectado el tamaño y peso individual de bochas con efectos negativos en el rendimiento; este efecto se vio acrecentado por las altas temperaturas durante dicho periodo en la presente campaña 2011/12 comparado con la anterior (2010/11). Si bien estas conclusiones son de carácter preliminar aportarían elementos para comprender el efecto del estrés hídrico en momentos críticos del algodón de surcos estrechos en ambientes subtropicales.

Bibliografía

1. Ahuja S.L. (2006) Evaluation for the retention of reproductive structures by Bt and non-Bt intra hirsutum cotton hybrids in different sowing dates and spacings. *African Journal of Biotechnology* 5:862-865.
2. Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M, (2006). *Evapotranspiración del Cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio para Riego y Drenaje 56*, FAO, Roma.
3. Bange M.P., and Milroy S.P. (2000). Timing of crop maturity in cotton: Impact of dry matter production and partitioning. *Field Crops Research* 68: 143-155.
4. Constable G.A. (1991). Mapping the Production and Survival of Fruit on Field-Grown Cotton. *Agronomy Journal* 83: 374-378.
5. Constable G. (2004) Research's contribution to the evolution of the Australian cotton industry. *Proceedings of the 4th International Crop Science Congress, Brisbane, Australia.*

6. Fitt G.P., Wilson L.J. (2000) Genetic engineering in IPM: Bt cotton, Emerging technologies for integrated pest management: concepts, research, and implementation. Proceedings of a Conference, Raleigh, North Carolina, USA, 8-10 March, 1999., American Phytopathological Society (APS Press), St. Paul USA. pp. 108-125.
7. Guinn G. (1986) Hormonal relations during reproduction, in: J. R. M. a. J. M. Stewart (Ed.), Cotton physiology Cotton Foundation, Memphis, TN pp. 113-136.
8. Guinn G. (1998). Causes of square and boll shedding. *In*: Beltwide Cotton Conferences. pp. 1355-1364.
9. Hearn A.B. (1979) Water Relationships in Cotton. *Outlook on Agriculture* 10:159-166.
10. Hearn A.B. (1994). The principles of cotton water relations and their application in management. *In*: World Cotton Research Conference. pp. 66-92.
11. Heitholt J.J., Pettigrew W.T., and Meredith W.R. (1992). Light interception and lint yield of narrow-row cotton. *Crop Science* 32:728-733.
12. Hofs J.L., Hau B., Marais D. (2006) Boll distribution patterns in Bt and non-Bt cotton cultivars I. Study on commercial irrigated farming systems in South Africa. *Field Crops Research* 98:203-209.
13. Jenkins J.N., McCarty J.C., and Parrott W.L. (1990). Effectiveness of fruiting sites in cotton - yield. *Crop Science* 30: 365-369.
14. Mason T.G. (1922) Growth and abscission in Sea Island cotton. *Annals of Botany* 36: 457-484.
15. Marur C.J. (1991) Comparison of net photosynthetic rate, stomatal resistance and yield of two cotton cultivars under water stress. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 26:153-161.
16. Mills C.I., Bednarz C.W., Ritchie G.L., Whitaker J.R. (2008) Yield, quality, and fruit distribution in Bollgard/Roundup Ready and Bollgard II/Roundup Ready Flex Cottons. *Agron J* 100:35-41.
17. Patterson D.T., Bunce J.A., Alberte R.S., and Vanvolkenburgh E. (1977) Photosynthesis in relation to leaf characteristics of cotton from controlled and field environments. *Plant Physiology* 59: 384-387.
18. Paytas, M. (2009). Early water stress on growth, development and yield of high retention cotton. PhD thesis. The University of Queensland, Australia.
19. Paytas, M., Mieres, L., Regonat, A., Gregoret, O. (2012) Algodón en surcos estrechos: ¿podemos aumentar el rendimiento mediante la mejora en la oferta de asimilados? *Revista de Ciencia y Tecnología de los Cultivos Industriales* N°2. INTA. Argentina.
20. Pettigrew W.T. (1994). Source-to-sink manipulation effects on cotton lint yield and yield components. *Agronomy Journal* 86: 731-735.
21. Turner N.C., Hearn A.B., Begg J.E., Constable G.A. (1986) Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) ; physiological and morphological responses to water deficits and their relationship to yield. *Field Crops Research* 14:153-170.
22. Yeates S., Richards D., Roberts J., Gregory R. (2006) Progress in evaluating the moisture stress response of Bollgard II compared with conventional cotton. Australian Cotton Conference. Gold Coast.