



Universidad Nacional del Nordeste



Facultad de Ciencias Agrarias

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
Facultad de Ciencias Agrarias
Maestría en Producción Vegetal IV Cohorte

Evaluación del comportamiento del cultivar NuOpal de algodón ante cambios en la configuración espacial frente a restricciones lumínicas en periodos reproductivos en ambientes de secano y riego

Tesista: Ing. Agr. Anabell Alejandra Lozano Coronel

Director: Ing. Agr. M. Sc. Mario Mondino

Año 2020

Dedicado a mi Juana linda y a mi Maruqui,
Dos mujeres llenas de amor.

En uno de los libros más interesantes que leí, dice que el cultivo de algodón no cede fácilmente sus secretos. El editor afirma, que hay dos tipos de personas que han trabajado con algodón. Hay quienes comienzan un programa de investigación y se sienten tan frustrados con el cultivo que nunca volverán a trabajar con él. Luego, están aquellos que se fascinan tanto con las peculiaridades de la planta que nunca trabajarán con nada más. Creo firmemente que soy de las últimas, consciente de lo que me queda por aprender y entender, ansiosa por alcanzar ese conocimiento y con ganas de continuar ensuciándome las botas en el proceso.

Trabajar en el cultivo, en mi provincia, haber viajado y conocido tantas personas gracias a él, incrementa mi entusiasmo y me empuja a seguir.

En el transcurso de la realización de mi tesis de posgrado pasaron muchas cosas, las mejores de mi vida. Y quiero agradecerlo.

A Dios por acompañarme en cada etapa, por haberme bendecido y contenido muchas veces.

A lo más importante que tengo en mi vida, Lorenzo. Por llenar mi vida de dulzura, por acompañarme en mis locuras, por curar mis heridas con una sonrisa y una mirada cómplice, por haberme elegido y ser luz desde su llegada. No me alcanzarían las palabras para expresar el amor que me inspira y lo que significa en mi vida, pero sospecho que lo sabe.

A mi compañero de vida, por entender mis tiempos y apoyar mis decisiones, por los abrazos y el amor que manifiesta en cada momento. Estamos juntos creciendo cada día, aprendiendo con errores y aciertos lo maravilloso de ser padres y amarnos. Amarnos mucho.

A mi mamá. Por su apoyo y comprensión en cada paso que damos. Por seguir estando. Siempre.

A mi familia, mis tíos, abuela y Mariel por entender con paciencia mis tiempos y los cambios. Por esperarnos con amor en cada regreso. A Josefina porque con el tiempo seguramente entenderá mis ausencias y por recibirme en cada encuentro con una sonrisa y despedirme con un “te amo”, gracias Diego por este premio.

A mi hermana y amiga del alma, Luciana. No sólo por su ayuda en el proceso de realización de los ensayos, análisis y escritura. Sino por su amor constante, por estar de pie a mi lado siempre, dispuesta a escucharme y contenerme. Porque estuvo y sigue estando.

A mi hermana Maru y a mi papá, por guiarme en cada paso desde otro lugar, por haber unido a tantos locos en una mesa los domingos. La vida sería distinta si estuvieran conmigo. A los excéntricos Lozano y sus derivados, a quienes amo y necesito.

A mis amigas, las locas, lindas y libres, por estar en cada etapa y llenar de color mis días sin importar donde estemos. Cande, Ceci, Ludmi, Dani, Juli, Anita, Gaby y Guadi (me inspiras en mil cosas).

A mis compañeros que se volvieron familia Javier y Úrsula, por confiar en mí con su más grande amor. Por escucharme y contenerme durante tantos años. Por estar desde el principio jugando en el mismo equipo.

A quienes se volvieron necesarios para mí, en una provincia desconocida, pintando de amistad y familia miles de momentos. A la Peque y Mauro, gracias.

A mis nuevos compañeros y cómplices, por haberme abierto las puertas de su confianza, por cubrirme durante todo este tiempo y hacer más sencillo lo difícil y las distancias: A Luci (una genia bañada en sal, sos el Batman que necesitaba), Nico, Germán y Marce, al Colorado más copado, Mar, Juan y Seba. Gracias!

A los de siempre, los que me bancan el corazón en cada encuentro Olega, Chari, Chaza, Jorge, Fede, Fer y resto de team que me acompaña desde hace tantos años. A Miguel y Pablito por mantener este cariño de hermanos por tantos años.

Al director de mi tesina, de mi tesis, a Mario Mondino. Por estos 11 años de trabajo juntos, por fomentar mi crecimiento y creer en mí desde el primer momento.

Al personal de INTA Santiago del Estero (Rana, Sergio, Marcelo, Claudio, Richard y Gustavo), a mis ex compañeros de INTA Quimilí y Rafaela por el aguante diario, por cubrirme y hacer **suyo este esfuerzo**.

Índice de abreviaturas

%	Porcentaje
°C	Grados Centígrados
m	Metro
m ²	Metro cuadrado
CO ₂	Dióxido de carbono
O ₂	Oxígeno
g	Gramos
has	Hectáreas
CCIA	Comité Consultivo Internacional del Algodón
FFE	Fin de Floración Efectiva
INTA	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
Kg ha ⁻¹	Kilogramos por hectárea
Pn	Fotosíntesis neta
Mol.m ² .s ⁻¹	Mol por metro cuadrado por segundo
RFAi	Radiación Fotosintéticamente Activa Interceptada
DDE	Días después de la emergencia
MJ/m ² /día	Mega Joul por metro cuadrado por segundo
ETO0	Evapotranspiración potencial
QML	Quimilí
SGO	Santiago del Estero
gm ²	Gramos por metro cuadrado
NNAFB	Número de nudos arriba de la flor blanca
mm	Milímetros
EEA	Estación Experimental Agropecuaria
IIA	Ácido Indol Acético

Resumen

Las mermas en el rendimiento del cultivo de algodón pueden atribuirse al desprendimiento natural de cápsulas durante el desarrollo del cultivo, debido a una serie de factores de acción aislada o conjunta. Los desórdenes fisiológicos que provoquen una reducción de la fotosíntesis, han sido mencionados por Kerby (1996) como probables causas del derrame de estructuras reproductivas. En la provincia de Santiago del Estero se han observado frecuentes períodos de disminución de la heliofanía relativa coincidentes con la etapa reproductiva del cultivo. Este estudio analizó las interacciones entre el estrés por sombreado artificial en distintos periodos reproductivos del algodón y el cambio en la distribución espacial de las plantas, en dos sitios con características climáticas distintas como Santiago del Estero (con riego) y Quimilí (secano). Se analizó la incidencia del sombreado sobre el rendimiento, sus componentes y la distribución de los mismos en la arquitectura del cultivo para cada etapa reproductiva. Los tratamientos fueron las interacciones entre los distanciamientos entre surcos y los momentos de reducción de la radiación incidente: pimpollado, aparición de primera flor y plena floración. Cada uno de los períodos de sombreado tuvo una duración de 15 días corridos. Las plantas evaluadas indican que la restricción de la radiación incidente durante la etapa reproductiva, provoca una disminución en el rendimiento del cultivar NuOpal BR. El número de capullo es el componente de rendimiento principalmente afectado. La implementación de sistemas de siembra en surcos estrechos, atenúan el efecto del estrés lumínico en periodos reproductivos. El periodo crítico más importante en el cultivo de algodón es a partir de pico de floración. El momento de ocurrencia y la severidad del estrés son los factores que principalmente influyen en el rendimiento.

Palabras claves: algodón, estrés lumínico, sombreado, distanciamiento, periodo reproductivo.

Abstract

Losses in the yield of the cotton crop can be attributed to the natural shedding of bolls during the development of the crop, due to a series of isolated or joint action factors. The physiological disorders that cause a reduction of photosynthesis, have been mentioned by Kerby (1996) as probable causes of the losses of reproductive structures. In the province of Santiago del Estero, there have been frequent periods of decrease in relative heliophany coinciding with the reproductive stage of the crop. This study analyzed the interactions between the artificial shading stress in different reproductive periods of the cotton and the change in the spatial distribution of the plants, in two sites with different climatic characteristics such as Santiago del Estero (with irrigation) and Quimilí (dry). The incidence of shading on yield, its components and their distribution in the culture architecture for each reproductive stage was analyzed. The treatments were the interactions between the distances between rows and the moments of reduction of the incident radiation: preflowering, appearance of first flower and full flowering. Each of the shading periods lasted 15 days. The evaluated plants indicate that the restriction of the incident radiation during the reproductive stage, causes a decrease in the yield of NuOpal BR cultivar. The number of bolls is the performance component that is mainly affected. The implementation of sowing systems in narrow furrows, attenuate the effect of light stress in reproductive periods. The most important critical period in cotton cultivation is from peak flowering. The moment of occurrence and the severity of stress are the factors that mainly influence performance.

Keywords: cotton, light stress, shading, distance between rows, stages of development.

Introducción

El algodón representa el cultivo productor de fibras naturales por excelencia, alcanzando una superficie mundial cultivada de 29.782.000 de hectáreas y una producción de 22.996.816 toneladas de fibra (CCIA, 2019).

La superficie cultivada en Argentina en los últimos 5 años ha disminuido hasta alcanzar las 319.285 has en la campaña 2017/18 (Secretaría de Agroindustrias, 2019). Esta disminución se debe probablemente al efecto de las condiciones ambientales desfavorables, la ocurrencia de bajos precios internacionales y el impacto negativo de plagas sobre la producción. A pesar de ésta disminución, el rendimiento promedio del cultivo en el país es de 2170 kg/ha, valor que ha presentado cierta estabilidad en el tiempo (Secretaría de Agroindustrias, 2019).

El cultivo de algodón tiene una marcada importancia en Argentina, principalmente en provincias del norte, afectando de manera positiva al sector económico de las zonas de influencia, como factor dinamizador de la economía de la región en el sector primario, en el sector industrial y de servicios relacionados. También posee una importante función social, no solamente por la gran ocupación de mano de obra directa e indirecta, sino también porque constituye una de las pocas producciones que generan ingresos genuinos en los pequeños productores minifundistas (Mondino, et al., 2006).

Santiago del Estero es la provincia con mayor superficie destinada al cultivo de algodón en el país, con 128.230 has en la campaña 2017/18, participando con el 40% de la producción nacional. Los rendimientos promedios son de 3100 kg ha⁻¹, superando a la media nacional y presentando además una importante expansión en el área sembrada durante las últimas campañas (Secretaría de Agroindustrias, 2019).

La mayor parte de la producción algodonera se localiza en la zona oriental de la provincia, bajo condiciones de secano, en los departamentos Copo, Moreno, Juan F. Ibarra, Alberdi y General Taboada. Las explotaciones productivas radicadas en esta zona tuvieron su origen en la expansión de los productores chaqueños principalmente. En la región central de la provincia, en los departamentos Banda, Capital, Robles, Figueroa, Silípica y Avellaneda, se realiza el cultivo bajo riego con mejores rendimientos en relación a la media provincial (Secretaría de Agroindustrias, 2019).

El desafío más importante que presenta la producción del cultivo de algodón, es resolver el problema del estancamiento de los rendimientos a nivel mundial. De acuerdo con el Comité Consultivo Internacional de Algodón (CCIA, 2018), la falta de una mayor adopción de prácticas y tecnologías para mejorar los rendimientos explica que, a pesar del incremento en el precio promedio mundial del algodón de la campaña 2017/18 en comparación con 2016/17, se pronostica una disminución en la superficie y el crecimiento solo de uno de los cinco principales países productores actuales. Las posibilidades de aumentos significativos en el rendimiento mundial a corto plazo serían limitadas, indicándose que solamente podrían esperarse, si se alcanzaran y adoptaran, entre otras estrategias, algunos desarrollos biotecnológicos disponibles en muchos países productores al mismo tiempo, o en más de uno de los principales (CCIA, 2013).

Los gobiernos, las instituciones de investigación y los suministradores de tecnología público y privada, deberían estimular, entre otras estrategias, el desarrollo de cultivares adaptados a las variaciones climáticas, con mayor eficiencia en el uso de recursos y resistentes a la incidencia de insectos y enfermedades (CCIA 2013). El incremento en los rendimientos mediante la adopción de prácticas culturales validadas y la mejoría de ciertas propiedades agronómicas como la madurez temprana y la calidad superior de la fibra deberían ser el objetivo prioritario de los mejoradores e investigadores de algodón de todo el mundo (CCIA,

2007). Los enfoques regionales y las capacidades de los agricultores locales deberían ser considerados para la recomendación de manejo del cultivo, al igual que la reducción de los costos, el impacto sobre el medio ambiente y el incremento de las ganancias por parte de los actores del sector (CCIA, 2004).

Un claro ejemplo de tecnologías apropiables en la producción del algodón para distintas escalas productivas, es el desarrollo del cultivo en surcos estrechos. Esta práctica cultural tiene incidencia directa sobre el crecimiento y desarrollo de un cultivo, contribuye a aumentar los rendimientos hasta en un 30%, acortar el ciclo de cultivo (Mondino, 2000) y disminuir los costos de producción (Mondino y Peterlin, 2008). El sistema de producción del cultivo de algodón fue evolucionando desde los surcos distanciados a 1,04 m y con densidades de 100 a 110.000 pl. ha⁻¹, conocidos como convencionales, a los distanciamientos no convencionales caracterizados por el acortamiento de la distancia entre surcos y el aumento de la densidad (Mondino, 2000). Estos sistemas son conocidos con diferentes denominaciones según la separación y la disposición sobre el terreno. Los surcos estrechos incluyen separaciones a 0,76 m y 140.000 pl ha⁻¹ o a 0,52 m y 200.000 pl. ha⁻¹, mientras que los surcos ultra estrechos son aquellos distanciados a 0,38 m, 0,25 m o 0,17 m y densidades superiores a las 220.000 pl. ha⁻¹ (Mondino, 2000).

La amplia información disponible sobre los efectos de las prácticas culturales y de los diferentes ambientes en el crecimiento del cultivo sobre el rendimiento del algodón (Eaton y Ergle (1954); Constable y Hearn (1981); Oosterhuis y Wullschleger (1988); Kerby y Ruppenicker (1989); Pettigrew (1996); Crozat et al. (1999), permiten concluir que las condiciones ambientales adecuadas en los momentos críticos del cultivo son determinantes del rendimiento. Resulta de suma importancia el conocimiento previo del desarrollo y crecimiento del cultivo, así como una precisa caracterización de estas etapas a fin de aplicar

prácticas de manejo eficientes y que favorezcan las condiciones para el cultivo (Mondino, 2019; en prensa).

El desarrollo del cultivo es la sucesión progresiva de estados diferenciados fisiológica y/o morfológicamente, que involucra la generación gradual y ordenada de estructuras vegetativas o reproductivas, denominada organogénesis. Este proceso, al igual que el crecimiento de la planta, se encuentra bajo el control genético y están modulados por factores ambientales (Kiniry et al., 1983; Andrade y Sadras 2000; Mondino y Peterlin, 2006), siendo la temperatura el factor de mayor importancia para el cultivo de algodón (Oosterhuis, Bourland y Tugwell; 1992).

La combinación de cambios macroscópicos y microscópicos fue utilizada por diversos autores para el establecimiento de etapas de desarrollo de los cultivos de importancia comercial, como soja (Fehr y Caviness, 1981), girasol (Schneiter y Miller, 1981), maíz (Ritchie y Hanway, 1963), sorgo (Vanderlip y Reeves, 1972.), trigo (Haun, 1973) y también algodón (Elsner et al., 1979; Marur y Ruano, 2002; Paytas y Ploschuk, 2013; Mondino, 2019, en prensa).

Las etapas de desarrollo del cultivo de algodón según Mondino (2019, en prensa) son:

- Vegetativa, desde la emergencia hasta la aparición del primer pimpollo;
- Reproductiva, representa la etapa con mayor importancia productiva, ya que se define el rendimiento y se extiende desde la aparición del primer pimpollo hasta el fin de la floración efectiva.
- Maduración, es la etapa de terminación del cultivo y se extiende desde el fin de la floración efectiva hasta la cosecha.

El hábito de crecimiento del algodón es indeterminado, es decir que el crecimiento vegetativo y reproductivo ocurren simultáneamente (Oosterhuis, 2001). Esta característica es poco común en cultivos anuales e implica un manejo agronómico particular (Gardner, 1985; Mondino, 2000). El hábito de crecimiento y la forma de transición al estado reproductivo tienen consecuencias importantes para la adaptación de los cultivos a estreses ambientales (Loomis y Connor, 2002).

El crecimiento del cultivo involucra el aumento irreversible en tamaño de los distintos órganos de la planta (Andrade y Sadras, 2000). Este fenómeno se produce por una secuencia de tres fases sucesivas: división, expansión y diferenciación celular, incrementos que pueden cuantificarse a través de mediciones. El crecimiento vegetativo puede expresarse como altura de la planta en cm, el número de nudos, la biomasa total en kg ha^{-1} , la tasa de crecimiento de cultivo en $\text{g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ y/o calcularse a través de índices como el del área foliar y el largo promedio de los entrenudos del tallo principal; mientras que el crecimiento reproductivo puede cuantificarse a través del número de frutos fijados, el peso promedio en g de las fructificaciones y el rendimiento en kg ha^{-1} (Mondino y Peterlin, 2005).

La tasa de crecimiento del cultivo depende de la radiación solar incidente, de la capacidad del canopy para interceptarla y de la eficiencia con que la radiación interceptada se transforma en biomasa, como resultado de la reducción del CO_2 en hidratos de carbono (Gallagher, 1978; Monteith, 1972; Landivar, 1991). La acumulación de biomasa es la resultante de la integración de la tasa de crecimiento en el tiempo, el cual está regulado tanto por factores ambientales (Andrade, 1992; Sinoquet, Mouliá y Bonhomme 1991; Cirilo, 1995; Lafitte y Edmeades, 1997), como genéticos (Derieux y Bonhomme, 1982b.; Derieux y Bonhomme, 1986; Lafitte y Edmeades, 1997). Por último, el rendimiento depende de la partición de biomasa a los destinos reproductivos (Andrade et al., 1996; Gifford y Evans, 1981).

El índice de área foliar (IAF), medido como la relación entre superficie de hoja por superficie de suelo, es un estimador muy apropiado para medir el grado de desarrollo del cultivo (Gardner et al., 1985). El IAF que posibilita alcanzar las tasas de crecimiento máximo se denomina IAF crítico, el mismo varía para las distintas condiciones ambientales y para los diferentes cultivos (Andrade et al., 1996). Los valores de IAF crítico para el algodón en condiciones de secano, normalmente presentan valores de 3, mientras que para un cultivo completamente irrigado, estos son cercanos a 5 (Ashley et al., 1965; Heilholt, 1994). Cultivos de algodón con surcos distanciados a 0,52 m y densidades de 200.000 pl ha⁻¹, deberían alcanzar el 95% de intercepción luego de haber desarrollado un IAF crítico de 3 entre los estados de primer pimpollo y primera flor, siendo el tamaño de la planta de 50-55 cm de altura, 13 a 14 nudos y un índice de largo de entrenudos de 4,0 (Mondino, 2006). El rápido desarrollo del canopeo en estos sistemas, también se asocia con mayores eficiencias en el uso del agua en el suelo, ya que el cultivo utiliza agua a tasas iguales a la evapotranspiración potencial después de que se alcance el cierre de los entresurcos (IAF = 3) y siempre que el agua permanezca completamente disponible para las raíces (Ritchie y Burnett, 1971). Según Mondino (2000) en sistemas de producción con surcos estrechos y altas densidades de plantas, se alcanza de manera anticipada el IAF crítico, logrando una mayor eficiencia de intercepción de la radiación y en la conversión de la misma en materia seca, sin modificar la partición de asimilados hacia destinos reproductivos.

El rendimiento en bruto del algodón se define por dos componentes principales, el número de cápsulas por área y el peso promedio de las cápsulas (Brevedan, et al., 1978, Oosterhuis y Stewart, 2004). Sin embargo, el rendimiento de la fibra depende del número de semillas producidas por cápsula y del peso de la fibra por semilla (Lewiset al., 2000). Fowler y Ray (1977) demostraron que el peso de la cápsula y el número de semillas por cápsula son los componentes del rendimiento que más contribuyen al rendimiento de los cultivos densos.

Diversos autores (Eaton, 1955; Mc Michael, 1979) discutieron la tendencia, principalmente de cápsulas jóvenes, al derrame cuando la planta está sujeta a condiciones de estrés. La respuesta de una planta de algodón a las condiciones ambientales restrictivas en etapas reproductivas resulta entonces de particular interés debido a la estrecha relación entre la producción de pimpollos y flores con el desarrollo del cultivo de algodón.

Las mermas en el rendimiento del cultivo de algodón pueden atribuirse al derrame o desprendimiento natural de cápsulas durante el desarrollo del cultivo, debido a una serie de factores de acción aislada o conjunta. Los desórdenes fisiológicos como consecuencia de cambios en el estado hormonal, efectos del déficit hídrico, daño causado por insectos y/o enfermedades, bajos niveles de nitrógeno en el suelo, competencia por carbohidratos o los días nublados, que provoquen una reducción de la fotosíntesis, han sido mencionado por Kerby (1996) como probables causas del derrame de estructuras reproductivas.

Eaton y Ergle (1954) establecieron que, bajo condiciones ambientales desfavorables para el óptimo desarrollo del cultivo y en respuesta a la reducción de carbohidratos, se produce la abscisión natural de frutos. Guinn (1982) expone que, en ausencia de otras limitaciones externas, el equilibrio del crecimiento entre las estructuras vegetativas y reproductivas está estrechamente regulado por la relación con la cantidad de carbohidratos y el estado nutricional de la planta.

Las cápsulas en desarrollo son principales destinos de asimilados, por la cual tienen prioridad en el abastecimiento de carbohidratos y nutrientes. Esta competencia es aparentemente un factor importante en el establecimiento de la cantidad definitiva de estructuras reproductivas productivas. La importancia del destino incrementa con la edad de la cápsula y alcanza un máximo a los 20 - 30 días después de la antesis (Rodgers, 1980; Pinkhasov y Tkachenko, 1981).

Guinn (1982) investigó las modificaciones en la producción de etileno y su relación con la edad de la cápsula frente a condiciones estresantes; los resultados mostraron que la producción de etileno y la tasa de abscisión fueron menores en las cápsulas de mayor edad. Este autor explica que el equilibrio se logra mediante la sobreproducción de estructuras fructíferas que luego se eliminan en cantidades necesarias, hasta alcanzar la capacidad de carga de la planta en un momento específico. Este trabajo demuestra que la tasa de abscisión de las cápsulas no solo cambia con la edad de las mismas, sino que también existe una relación directa con la cantidad de estructuras reproductivas en la planta. Guinn (1976), correlacionó la reducción o alteración de los niveles de carbohidratos de la planta, con la inducción de la producción de ácido abscísico (ABA) y etileno producidos como respuesta de un estrés o una lesión.

El etileno es una hormona promotora de la abscisión. Morgan y Hall (1962), Hall y Morgan (1964) y Morgan et al. (1968) demostraron que el etileno estimula la actividad de la ácido indolacético (IAA)- oxidasa y la descarboxilación del AIA para la formación de auxinas en algodón. En trabajos de investigación posteriores, demostraron que el etileno frena el transporte de auxinas (Morgan y Gausman, 1966; Morgan et al., 1968; Beyer y Morgan, 1971) y que la inhibición del transporte de auxinas promueve la abscisión (Morgan y Durham, 1975). Debido a que las auxinas previenen o retrasan la abscisión, tanto su destrucción como el transporte lento a la zona de abscisión, regulan el proceso. Por lo tanto, el etileno promueve la abscisión en al menos dos formas: disminuye el contenido de auxinas en la zona de abscisión y estimula la síntesis de enzimas que debilitan la lámina media y la pared celular.

Heilman et al. (1968) y Guinn (1974), proporcionan en sus trabajos de investigación, el argumento más concluyente de que las teorías nutricionales y hormonales causantes de

derrame no son excluyentes entre sí y se presentan de manera combinada en una secuencia de eventos que controlan la fructificación y la senescencia.

Una determinante principal de la síntesis de carbohidratos en el canopeo del cultivo, es la intercepción de la luz solar (Walhood, 1976). La radiación es uno de los factores que controlan la acumulación de materia seca en el algodón y se puede predecir el rendimiento del cultivo a partir de la cantidad de radiación solar interceptada por las plantas durante un período determinado (Hay y Porter, 2006).

Al igual que en otras plantas C3, la Rubisco tiene una alta afinidad tanto con CO₂ como con O₂ (Jensen, 1986), y la foto-respiración en condiciones de luz baja, aumenta. Por lo tanto, la proporción de etileno / azúcar aumenta y la tasa de abscisión de las estructuras reproductivas es mayor (Guinn, 1974), lo que genera una disminución en el rendimiento del algodón y la pérdida de calidad de la fibra (Zhao y Oosterhuis, 2000; Pettigrew, 1994). Por lo tanto, la respuesta fotosintética del canopeo resulta del desempeño de cada hoja, que depende de la edad de la misma, la historia ambiental, la radiación incidente y las interacciones entre estos factores (Echer y Rosolem, 2015; Landivar, Reddy y Hodges, 2010). Por lo que, cualquier restricción en la cantidad de radiación incidente sobre el cultivo afectará de manera directa a los rendimientos (Kerby, 1996).

La disminución de la radiación incidente sobre el canopeo del cultivo, conocido comúnmente con el nombre de sombreado, es uno de los más frecuentes factores limitantes de los rendimientos de los cultivos (Mc Arthur, Hesketh y Baker, 1983, Baker, 1965). Baker (1965) estableció que estos escenarios naturales podrían originarse bajo condiciones de clima caracterizadas por períodos prolongados de nubosidad, o bien por excesivos desarrollos vegetativos de las plantas (Kerby, 1996).

En condiciones óptimas de crecimiento, las plantas a menudo se vuelven demasiado altas y frondosas, lo que resulta en un sombreado excesivo (Eaton, 1955). La estructura planófila de la hoja del algodón puede generar a su vez, un fuerte gradiente de luz dentro del perfil del canopeo, especialmente en las altas poblaciones de plantas (Hearn, 1976, Dauzat et al., 2008). En este caso, poca luz alcanza las hojas del estrato inferior de las plantas (Lv et al., 2013).

La respuesta del cultivo a los días nublados, proporciona evidencia que respaldaría el postulado de la escasez temporal de carbohidratos en la planta, como la causa fundamental del derrame de estructuras reproductivas durante periodos extensos de nubosidad. El trabajo de Zhao y Oosterhuis (1998) en el cual reducen el 63% de la radiación incidente durante 8 días, en el cultivo de algodón en etapas reproductivas, lo confirma. Estos autores informaron que la reducción de la luz disminuía significativamente la fotosíntesis y las concentraciones de carbohidratos en las hojas y cápsulas, lo que daba como resultado un incremento en la abscisión de estructuras reproductivas y la disminución consecuente del rendimiento y calidad de fibra. Este fenómeno también se abordó en la investigación de Pettigrew (1994) en la que redujo un 30% la intensidad lumínica sobre el cultivo a los 75 días después de la siembra durante un periodo de 40 días consecutivos. Los resultados de esta investigación arrojaron un 20% más de rendimiento de fibra para los tratamientos testigos y el autor concluye que la producción de carbohidratos como resultado de la conversión de la radiación, es el determinante principal de la productividad.

Eaton y Ergle (1954) trabajando en cultivos cubiertos con una reducción del 32% de la radiación incidente a partir del período de floración, observaron que dicho tratamiento provocó un descenso de un 47% en el rendimiento del algodón en bruto con respecto al testigo. Sorour y Rassoul (1974) reportaron que una merma del 50% en la captación de la luz durante las tres semanas posteriores a la primera flor, provocaba una disminución

significativa en el número de flores y un incremento en la abscisión de las cápsulas. Rodgers (1980) informó resultados similares, excepto que encontró tasas máximas de derramamiento a los 5 y 10 días después de la antesis.

Ha sido ampliamente estudiado que la abscisión de pimpollos y de cápsulas jóvenes es un fenómeno que tiene ocurrencia natural en el algodón, con reportes de caídas de hasta el 60% de estructuras reproductivas (Oosterhuis, 1999). La información expuesta por Mc Michael y Guinn (1982) y Grimes et al. (1970) sugieren que la sensibilidad de un pimpollo al estímulo de estrés, es mayor durante la primera semana después de su visibilidad. Los números de flores reportados durante las semanas posteriores al cese de un estrés, indicaron que la abscisión de las estructuras reproductivas fue mayor en los pimpollos más jóvenes, con una tasa que disminuyó linealmente hasta alcanzar valores cercanos a cero al inicio del estadio de floración. Es decir, no se presentaron reportes de abscisión de flores.

La abscisión de pimpollos es la principal respuesta de la planta a situaciones de estrés nutricional causado por el sombreado, periodos prolongados de nubosidad o la excesiva carga de cápsulas por planta (Eaton y Rigler, 1945; Eaton y Ergle, 1954; Eaton, 1955; Ehlig y LeMert, 1973). Guinn (1974) informó que plantas de algodón expuestas durante 4 días a bajas intensidades lumínicas, manifestaron un incremento en la abscisión de pimpollos y cápsulas jóvenes, como consecuencia de una reducción en la tasa neta de fotosíntesis.

Oosterhuis y Zhao (2000) reportaron que el sombreado en pimpollado y en primera flor no producían diferencias significativas con el testigo en el número de cápsulas totales, pero sí en su distribución ya que la disminución de los frutos fijados en las posiciones inferiores de la planta era compensada por una mayor fijación en las posiciones superiores. Por el contrario, el sombreado en los estados fenológicos de pico de floración y de desarrollo de cápsulas no afectó el porcentaje de distribución, pero sí el número total de frutos. Crozat, Judais y Kasemsap (1997) trabajando con períodos de 4 y 8 días y un 60% de reducción

en la intensidad, establecen que la sensibilidad de las formas fructíferas al estímulo de la abscisión, depende principalmente de la edad de la cápsula y en menor grado a la posición de la misma.

Dunlap (1943) informó que una reducción del 75% en el número de cápsulas maduras, era asociada a una baja radiación incidente en el canopeo del cultivo, ocurriendo la mayor parte del derrame cuando las cápsulas se encontraban en el tercer y cuarto día del período de sombreo. Opuesto a lo obtenido por Da Silveira (1977) que trabajando con porcentajes de sombreo del 50%, no encontró efectos significativos en la abscisión prematura de las formas fructíferas avanzadas.

El índice de aborto de estructuras reproductivas, depende por todo lo expuesto, de las condiciones ambientales, principalmente la radiación incidente y del momento el cultivo en el que éstas se presenten restrictivas. Cuanto menor es la incidencia de la luz y, consecuentemente mayor el sombreado, mayor es el índice de aborto (Kittock et al., 1986). La distribución espacial que las plantas tengan es un factor que determina también el ingreso de la radiación en el perfil del cultivo.

En la provincia de Santiago del Estero se han observado frecuentes períodos de disminución de heliofanía relativa coincidentes con la etapa reproductiva del cultivo (febrero-marzo), debido a la ocurrencia de condiciones de nubosidad prolongadas, superiores al promedio histórico (Acuña, 1999). Estas condiciones fueron asociadas por los productores de algodón con mermas en el rendimiento.

Este trabajo pretende analizar las interacciones entre el estrés por sombreo artificial y el cambio en la distribución espacial de las plantas para diferentes etapas fenológicas del cultivo y cómo el efecto de esa reducción de la radiación incide sobre el rendimiento, sus componentes y la distribución de los mismos en la arquitectura del cultivo para cada etapa

reproductiva. Estas interacciones probablemente limiten el rendimiento y la calidad de la fibra, pero resulta interesante además observar el efecto del sombreado en cada una de las etapas reproductivas del algodón.

Hipótesis

1. Periodos prolongados de restricción de la radiación incidente en los diferentes estadios reproductivos del cultivar de algodón NuOpal RR, provocan la disminución en el rendimiento y sus componentes.
2. Mayores reducciones del rendimiento se producen cuando el estrés lumínico se genera en etapas fenológicas avanzadas.
3. La restricción lumínica produce alteraciones en la distribución vertical y horizontal de los componentes de rendimiento.
4. La implementación de sistemas de siembra en surcos estrechos, atenúan el efecto del estrés lumínico en periodos reproductivos.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la reducción de la radiación incidente en diferentes estadios reproductivos, sobre la distribución del rendimiento y sus componentes, parámetros de crecimiento y ecofisiológicos en el cultivar NuOpal RR, en distintos sistemas de siembra y ambientes productivos de riego y seco.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Evaluar las diferencias generadas en variables de crecimiento y ecofisiológicas frente a la reducción de la radiación incidente en los distintos periodos reproductivos.
- Evaluar el efecto en variables de crecimiento y ecofisiológicas del cultivo como consecuencia de la restricción lumínica en distintos momentos del ciclo del cultivo en surcos con distinta distribución espacial.

- Determinar la distribución del rendimiento y sus componentes ante la disminución de la radiación incidente en cada uno de los momentos reproductivos.
- Analizar el efecto del sombreado en distintos estados del desarrollo reproductivo sobre la distribución horizontal y vertical del rendimiento y sus componentes al momento de la cosecha.
- Evaluar si el sombreado en distintos momentos afecta la calidad tecnológica de la fibra.

2. Materiales y métodos

2.1. Descripción de los sitios experimentales

Se realizó un experimento durante la campaña agrícola 2016/17 en dos sitios contrastantes: riego y seco de la Provincia de Santiago del Estero, Argentina (Figura 1). Bajo condiciones de riego, en el Campo Experimental “Francisco Cantos” perteneciente a la EEA INTA Santiago del Estero (28°01'25" LS; 64°14'16" LO; 173 m.s.n.m.), departamento Silípica (SGO) y en condiciones de secano, la experiencia se realizó en el campo experimental de la EEA INTA Quimilí (27° 32'50" LS; 62° 21'02" LO; 146 m.s.n.m.), departamento Moreno (QML).



Figura 1. Ubicación de los sitios en donde se realizaron los ensayos de restricciones lumínicas durante la campaña 2016/17: Campo Experimental de INTA Santiago del Estero (riego) y Quimilí (secano).

La región correspondiente al estudio, se ubica en una amplia faja de ecotonía entre los distritos fitogeográficos Chaqueño Oriental y Chaqueño Occidental pertenecientes a la provincia fitogeográfica Chaqueña (Cabrera, 1994). Su vegetación característica es el bosque xerófilo decíduo.

El clima es continental cálido subtropical semiárido, con estación seca invernal y concentración estival de las precipitaciones (Morello y Rodríguez, 2009). La región presenta una elevada variabilidad interanual de las precipitaciones (Torres Bruchmann, 1981) con un gradiente pluviométrico que oscila entre los 750 mm anuales en el este hasta los 550 mm anuales en el oeste (Angueira et al., 2007). Debido a que la evapotranspiración potencial anual en la región es elevada (>1140 mm), el desbalance entre precipitaciones y evapotranspiración potencial en la zona presenta un elevado déficit hídrico que oscila entre 750 y 850 mm anuales, la mayor parte del cual (64%) se produce en otoño-invierno, entre los meses de abril y octubre (Angueira et al., 2007). Las temperaturas medias diarias son de 26,9 °C para el mes más cálido (enero) y de 12,4 °C para el mes más frío (julio). Las temperaturas extremas oscilan entre 42 y 45 °C en verano y -7,0 a -8,0 °C en invierno (Boletta et al., 2006).

El suelo del lote en el sitio SGO (EEA Santiago del Estero) corresponde a un Haplustol torriorthentico, serie La María, de textura franco limosa, estructura en bloques subangulares, 1,4 % de materia orgánica, con buenas condiciones de aireación y drenaje (Galizzi et al., 2002). El suelo del ensayo del sitio QML (EEA Quimilí) es un Haplustol éntico en fase erosionada, de textura franco limosa, con un contenido promedio de materia orgánica de 2,2% en el horizonte superficial y buenas condiciones de aireación y drenaje (Datos obtenidos por la Facultad de Agronomía y Agroindustria de la Universidad Nacional de Santiago del Estero y INTA Quimilí, no publicados).

2.2. Descripción del ensayo

Los ensayos fueron sembrados dentro de la fecha óptima para cada zona, 2 de noviembre en SGO y 2 de diciembre en QML. La misma se realizó en con una sembradora experimental mecánica a placa con surcos distanciados a 0,52 m. Para lograr el distanciamiento a 1,04 m se realizó la eliminación mecánica de un surco de por medio al momento de la emergencia. En todos los casos se sembró a una densidad de 20 semillas por metro de surco, realizando el raleo en forma manual en cuarta hoja verdadera, con el fin de obtener 240000 y 120000 pl ha⁻¹ para los tratamientos distanciados a 0,52 m y 1,04 m respectivamente.

Los ensayos se condujeron sin limitaciones de nutrientes. El ensayo implantado en el sitio SGO recibió un riego de pre-siembra y dos riegos por manto en planta hasta 1.00 m de profundidad, para minimizar la ocurrencia de deficiencias hídricas. Las plagas fueron controladas adecuadamente a través de la aplicación oportuna de productos fitosanitarios.

Para la realización del ensayo se empleó el cultivar NuOpal RR, de Genética Génsus. La variedad utilizada posee un ciclo largo, de porte alto, con buena adaptación de surco estrecho, con tamaño medio de capullo, es tolerante a enfermedad azul y a mancha angular. Este material posee eventos biotecnológicos de primera generación (BG/RR), estos le confieren resistencia a “Oruga de la Hoja” (*Alabama argillacea*), “Oruga del capullo” (Complejo *Heliothis virescens* – *Helicoverpa gelotopon*) y “Lagarta rosada” (*Pectinophora gossypiella*), pero no controla otros insectos plagas como pulgones, trips, chinches, mosca blancas, gusano cortador y otras especies de lepidópteros como las del género *Spodoptera* sp. Tampoco daña a otros insectos y parasitoides benéficos. La madurez es intermedia a larga, tipo de hoja lisa, posee vigor muy alto en plántula y alto en planta, con desmote manual promedio de 39%, peso de capullo promedio de 5.1 g, 4,1 de micronaire, muy buena longitud y resistencia alta (Genética Gensus, 2019).

Para generar el sombreado, se construyeron estructuras de hierro de 2,20 m de frente, 2,40 m de lado y 2 m de altura. Por encima de las mismas, se colocó una malla tipo “media sombra” al 60% de intercepción, la cual fue tensada con alambre de enfardar (Figura 2 y 3). Para evitar la influencia de la radiación directa, las estructuras fueron enterradas acompañando al crecimiento del cultivo. Las estructuras fueron trasladadas y ubicadas en las unidades experimentales de acuerdo al orden que presentaron los tratamientos. Las unidades experimentales de sombreado fueron de 4 surcos a 0,52 m y 2 surcos a 1,04 m.



Figura 2. Vista general del ensayo en el sitio SGO, campaña 2016/17, en la fase inicio de pimpollado. Distanciamiento entre surcos de 1,04 m.



Figura 3. Vista general del ensayo ubicado en el sitio SGO, campaña 2016/17, en la fase inicio de pimpollado. Distanciamiento a 0,52 m.

El diseño utilizado fue un arreglo factorial en bloques completos al azar con tres repeticiones, donde los tratamientos fueron las combinaciones de dos distanciamientos entre surcos: convencional a 1,04 m (D1) y surco estrecho a 0,52 m (D2) y cuatro momentos de reducción de la radiación incidente (sombreo): Tratamiento 1: pimpollado (día 40-42 a 57-59); Tratamiento 2: aparición de primera flor (día 59-60 a 73-75); Tratamiento 3: plena floración (día 73-75 a 88-90) y Tratamiento 4: testigo no sombreado. El primer tratamiento comenzó a los 7 días de aparición del primer pimpollo y cada uno de los períodos de sombreado tuvo una duración de 15 días corridos, al cabo de los cuales y previo al retiro de las estructuras se marcaron los cuatro extremos de la estructura con cañas.

2.3. Mediciones y determinaciones

2.3.1. Registros climáticos

Los valores diarios de radiación global incidente, heliofanía, precipitaciones y temperatura media del aire, fueron obtenidos de las estaciones meteorológicas ubicadas en cada uno de los sitios experimentales.

2.3.2. Determinaciones fenológicas

Para cada distanciamiento se determinó las siguientes fases fenológicas: Emergencia, Primer Pimpollo, Primera Flor, Fin de Floración Efectiva (FFE) y Primer Capullo. Y caracterizándolos en días desde la emergencia (DDE). Las determinaciones se realizaron sobre 10 plantas dentro de cada distanciamiento, debido a que el estrechamiento de la distancia entre surcos tiende a acortar el ciclo del cultivo (Mondino et. al., 2006; Peterlin, Hellman, Álvarez y Acuña, 2005). Las plantas evaluadas presentaban el tallo principal erecto y sin daños visibles (descartándose las plantas en “candelabro”). Los conteos comenzaron a partir del primer nudo que lleva una hoja verdadera, que se encuentra por encima del doble nudo cotiledonear (considerado como nudo 0). A partir de allí, los nudos superiores se enumeran correlativamente hacia arriba (Mondino, 2019; en prensa).

- Pimpollado: considerado un primordio floral, es la primera manifestación visible de la futura flor. Se toma en cuenta para la determinación del estado, al pimpollo ubicado en primera posición sobre una rama fructífera que se inserta en cualquier nudo del tallo principal por arriba de los cotiledones (Mondino, 2000).

- Primera Flor: se considera como tal a aquel primer pimpollo que ha completado su desarrollo y que posee todas las estructuras reproductivas completas y visibles. Es identificable por la corola de color blanco o crema de la especie *Gossypium hirsutum*. Se toma en cuenta la flor ubicada en primera posición sobre una rama fructífera que se inserta

en cualquier nudo del tallo principal, por arriba del nudo que corresponde a los cotiledones (Mondino, 2000).

- Fin de Floración Efectiva (FFE): queda definida por la diferencia entre el nudo que lleva una rama fructífera con una flor blanca en primera posición y el nudo terminal que lleva una hoja completamente expandida y es también conocida con la terminología cut-out (Mondino, 2000). Se alcanza dicho estado cuando la diferencia es de 5 nudos para cultivos distanciados a 0,76 m o mayores; y de 4 nudos para distanciamientos menores o iguales a 0,52 m (Mondino, 2006). En la práctica para la toma de decisiones, significa que es la última flor que se transformará en capullo. Esta diferencia es identificada también con las siglas NNAFB (número de nudos arriba de la flor blanca) (Bernhardt et al., 1986; Oosterhuis et al., 1992, Mondino, 2000). Normalmente esta diferencia en el número de nudos cuando aparece la primera flor sobre la planta es de 9 nudos y se va reduciendo a medida que avanza el proceso de floración.

- Primer Capullo: Es aquel primer fruto (cápsula) abierto en el cual los carpelos una vez que alcanzan la madurez, se separan entre sí, se secan y se contraen, permitiendo exponer la fibra de algodón (Oosterhuis et al., 1992), conocido en Argentina con el nombre de capullo (Mondino, 2000). Para Oosterhuis, Bourland y Tugwell (1994), la primera manifestación visible del comienzo de este estado están dados por la ruptura y separación de la sutura carpelar en toda su extensión, aunque los carpelos están todavía verdes y lo denominan también "cápsula" rajada" o "partida".

2.3.3. Radiación Fotosintéticamente Activa interceptada (RFAi)

Esta variable fue determinada dentro de cada tratamiento, mediante el empleo del radiómetro LI-COR 191 SB (LI-COR, Inc., Lincoln, NE, USA) adaptando la superficie del sensor de un metro de longitud, a la distancia entre surcos (Gallo y Doughtry, 1966). Las

mediciones fueron realizadas en los cuatro estados fenológicos señalados y expresadas como porcentaje de intercepción (%).

2.3.4. Acumulación de Materia Seca

Las muestras se obtuvieron en los momentos fenológicos antes mencionados y estuvieron compuestas por 5 plantas ubicadas dentro de los tratamientos, que luego de cosechadas y particionadas, fueron secadas en estufa con circulación forzada de aire a 60 °C, hasta peso constante. Se pesó cada muestra y al peso resultante se lo multiplico por los factores 0,96 y 1,92 para los distanciamientos de 1,04 m y 0,52 m respectivamente, para obtener los valores en g m⁻².

2.3.5. Variables de Crecimiento

Se registró altura (cm), número de nudos sobre el tallo principal y el largo de entrenudos, siguiendo la técnica propuesta por Mondino et al. (1999).

2.3.6. Rendimiento de Algodón y sus componentes

Previo a la cosecha general y con el fin de determinar las componentes de rendimiento, se procedió al monitoreo de 3 metros de plantas al azar de dos surcos consecutivos que estuvieran sometidos a tratamientos de sombreado (surcos 1 y 2 para 1,04 m y, surcos 2 y 3 para 0,52 m), mientras que los testigos fueron dos surcos apareados al azar para cada distanciamiento. Se determinó en cada tratamiento: 1) número de capullos por m² empleando los coeficientes de conversión de 0,96 y 1,92 para equiparar los distanciamientos de 1,04 y 0,52 m y, 2) el peso promedio de capullo (g) (Mondino, 2000).

También se extrajeron muestras de 50 capullos por cada repetición, ubicados en diferentes nudos que fueron pesados. Se procedió a realizar el desmote mediante una micro desmotadora eléctrica y se determinó el peso de fibra (g) y el peso de semillas (g). Relacionando el peso de fibra en g con el peso total de la muestra en g, se determinó el rendimiento de fibra (%). El rendimiento en kg ha^{-1} de fibra de algodón se calculó mediante la relación: rendimiento de algodón en bruto por ha por el rendimiento de fibra en %. De la muestra de semillas generada en el desmote, se tomaron cinco muestras de 100 semillas cada una para determinar el peso promedio de las mismas, expresándolo en g, también conocido como índice semilla.

Finalmente, para determinar el rendimiento en kg ha^{-1} de algodón en bruto (fibra + semilla) se procedió a la cosecha de las plantas restantes en los surcos mencionados anteriormente y se pesaron. A ello se le agregó el peso de los capullos del mapeo de fructificaciones a cosecha más el peso de los capullos de los tres metros cosechados para determinar las componentes de rendimiento y el peso de los 50 capullos. Con el peso total cosechado de los dos surcos en gramos, se transformaron los resultados empleando los coeficientes de conversión de 0,96 y 1,92 para equiparar los distanciamientos de 1,04 y 0,52 m y poder expresar los resultados en kg ha^{-1} .

2.3.7. Mapeo horizontal y vertical de Fructificaciones a Cosecha

Para cada tratamiento se extrajo en el 100% de apertura, 6 plantas enteras al azar para determinar la producción total (g) y el número de capullos de algodón por tercios: inferior (nudos 6 a 9), medio (10 a 13) y superior (nudos 14 a 17); y la producción total (g) y el número de capullos por posición (primera, segunda y tercera + otros, sobre cada una de las ramas fructíferas) mediante el empleo de la caja de distribución.

2.4. Análisis Estadístico

Se realizó el análisis de las variables de interés mediante modelos lineales generalizados mixtos, comparando las medias de tratamientos a través de la prueba de diferencias mínimas significativas (LDS) con el Test de Fisher a un nivel de significación del 0,05 utilizando el programa InfoStat versión 2018 desarrollado por la cátedra de Estadística y Biometría, Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba.

3. Resultados y Discusión

3.1. Registros climáticos

Para el sitio SGO, los valores de las variables tanto de la campaña 2016-17 como de la serie histórica 1989- 2014, provienen de los registros de la Estación Agrometeorológica de la Estación Experimental Agropecuaria – INTA Santiago del Estero. Para el ensayo implantado en QML, los datos fueron conformados de diferentes fuentes como la Sociedad Rural serie 1994-2016; Estación Agrometeorológica de la EEA - INTA Quimilí y el sitio oficial de World Weather de la NASA (2019).

En la Tabla 1 se presentan los valores de las temperaturas medias históricas y de la campaña 2016-17 para los dos sitios en donde fueron implantados los ensayos.

Tabla 1. Registro de temperaturas medias mensuales durante los meses que comprende el ensayo en los dos sitios experimentales: SGO y QML para la campaña 2016-17 y la serie histórica respectiva.

Mes	Temperatura media (°C)			
	SGO		QML	
	Histórica (1989-2014)	Campaña (2016-17)	Histórica (1994-2019)	Campaña (2016-17)
Septiembre	17,9	17,7	17,8	19,7
Octubre	22,1	21,2	21,7	22,1
Noviembre	24,3	23,5	23,9	24,9
Diciembre	26,1	26,3	26,2	27,1
Enero	26,4	28,5	27,4	29,1
Febrero	25,3	26,6	25,9	26,6
Marzo	23,5	24,3	23,9	24,3
Abril	19,8	19,9	19,9	19,9
Mayo	16,0	16,9	16,5	17,8
Junio	13,0	14,4	13,7	16,1
Julio	12,0	14,6	13,3	16,7

En líneas generales, puede observarse, que las temperaturas medias durante los meses en los que el cultivo estuvo implantado durante la campaña en la que se desarrolló la experiencia, fueron en la mayoría de los casos, más elevadas que las históricas en ambos sitios, principalmente durante los meses de diciembre, enero, febrero y marzo. Se destaca

el mes de enero como el mes más cálido, ya que su temperatura media superó en promedio los 2°C a las medias históricas de cada localidad.

También se puede observar que las áreas bajo estudio cumplen con la condición primaria para la producción de algodón, que establece que la temperatura media del mes más cálido del año (enero en el Hemisferio Sur) debe superar los 25°C.

En las Figuras 4 y 5, se presentan las precipitaciones en mm durante la campaña 2016-17 y su correspondiente media histórica. Asimismo, se presentan los valores de balance hídrico, como resultado de la diferencia entre la evapotranspiración potencial (ET_o) y las precipitaciones en el año en cuestión, pero solo para la campaña en cuestión. Cabe aclarar, que para la obtención de los valores de balance hídrico, se calculó previamente la ET_o mediante la fórmula de Penman Monteith, y no se tomaron en cuenta los otros parámetros de pérdida de agua (escorrentía + infiltración) porque las características de los suelos en donde se realizaron los ensayos, indicaría que las mismas serían despreciables.

Con respecto a las precipitaciones se observa que, en la localidad SGO (Figura 4) durante los meses previos al inicio de campaña, los valores se encuentran por debajo de la media histórica (7,19%), por lo que las necesidades hídricas para asegurar una adecuada implantación y recarga de perfil, debieron ser cubiertas mediante un riego de presiembra realizado hacia fines del mes de octubre. Para el resto de los meses de la campaña, solo en los meses de noviembre y febrero, las precipitaciones estuvieron por encima de los registros históricos, lo que obligó a realizar dos riegos en planta en los meses de diciembre y enero.

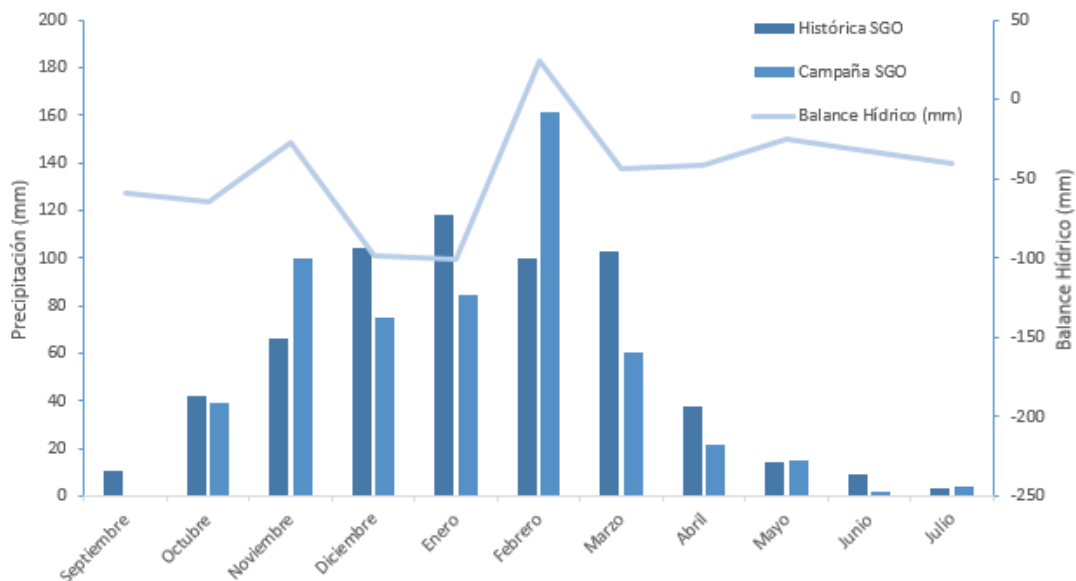


Figura 4. Registro mensual acumulado e histórico de precipitaciones (mm) y balance hídrico (mm) del sitio SGO durante los meses de cultivo del ensayo.

Para el sitio QML (Figura 5), las precipitaciones previas a la siembra fueron hasta 20% superiores en comparación con la media histórica, esta diferencia a favor de la campaña fue similar en la mayoría de los meses en los que se realizó la experiencia con un 13,74% más de precipitaciones que la media histórica.

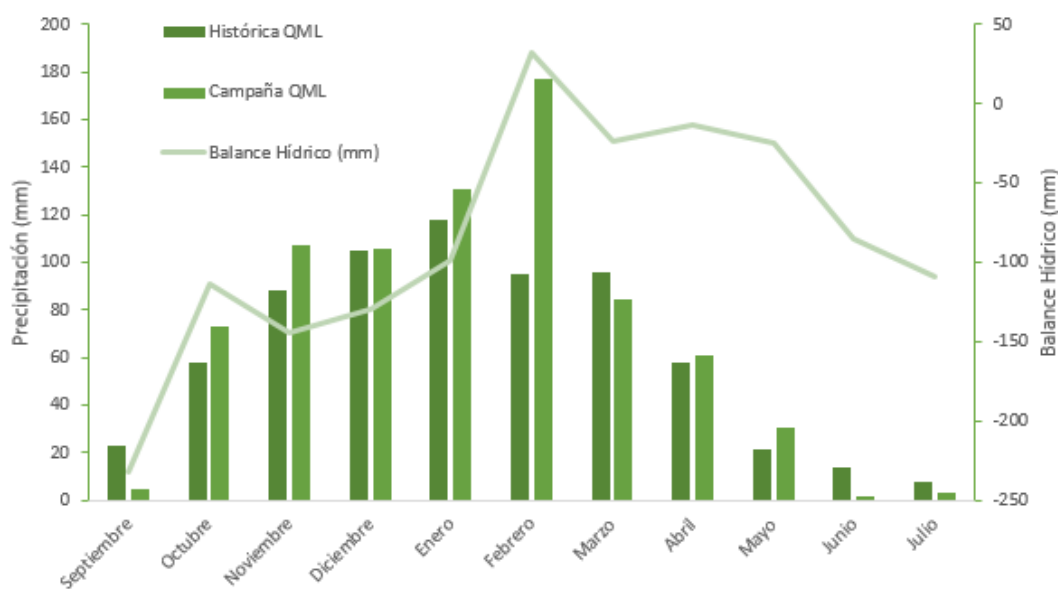


Figura 5. Registro mensual acumulado e histórico de precipitaciones (mm) y balance hídrico (mm) de QML para los meses en los que se llevó a cabo el ensayo.

Cuando se analiza el progreso del balance hídrico puede observarse que fue negativo en 10 de los 11 meses presentados como periodo considerado, con valores positivos sólo para el mes de febrero (5 y 13% superior a las precipitaciones de SGO y QML, respectivamente), ya que las precipitaciones fueron ampliamente superiores en comparación a la media histórica en ambos sitios de experimentación.

Comparando ambas localidades, la ETo fue un 60% mayor para el sitio de QML para la campaña en cuestión, presentado las mayores diferencias en cantidad de mm evapotranspirados para los meses de septiembre, octubre y noviembre del 2016 con 176, 82 y 125 mm respectivamente. Y, durante los meses de junio y julio del 2017, se registraron 52,19 y 67,33 mm respectivamente más para QML. La mayor ETo de QML determinó que las diferencias mensuales entre ETo y precipitaciones sean más elevadas en esta localidad que en SGO, principalmente entre los meses de septiembre y enero, junio y julio.

En la Tabla 2 se presentan los valores promedios de radiación global ($\text{MJ}/\text{m}^2/\text{día}$) y heliofanía relativa (%) para los meses en los que estuvieron implantados los ensayos. Los valores registrados para la variable radiación global son similares al promedio histórico para el sitio de SGO mientras que para la localidad de QML se presentaron valores superiores a la media histórica durante los meses de noviembre, diciembre y enero, mientras que a partir del mes de febrero, los valores fueron inferiores a la media histórica. Se destaca que esta reducción coincide con el periodo de inicio de formación de estructuras reproductivas y la mayor parte del desarrollo del cultivo.

La variable heliofanía relativa, tiene un comportamiento similar al de radiación global. Para la localidad de SGO, generalmente, presenta valores similares a la media histórica presentando valores superiores solo en el mes de enero. Sin embargo, en la localidad de QML, esta variable presentó valores superiores a la histórica desde septiembre hasta el mes de enero. A partir del mes de febrero se registró una progresiva disminución de los valores al avanzar la estación de crecimiento del cultivo, con disminuciones de 15,5% para

el mes de febrero y superiores al 30% para los meses de marzo y abril, en comparación con enero en donde se presentó el mayor registro de brillo solar.

Tabla 2. Registro del promedio mensual de Radiación Global (Mj/m²/día) y Heliofanía Relativa (%) histórico y de la campaña 2016-17 para los sitios SGO y QML.

Mes	Radiación global (Mj/m ² /día)				Heliofanía Relativa (%)			
	Radiación global	Campaña	Radiación global	Campaña	Heliofanía relativa	Heliofanía relativa	Heliofanía relativa	Heliofanía relativa
	Histórica SGO	SGO	Histórica QML	Quimili	histórica SGO	Campaña SGO	histórica QML	Campaña QML
Septiembre	16,7	16,5	17,7	20,0	61,7	62,4	62,3	78,6
Octubre	19,9	19,7	21,0	20,4	59,3	53,8	62,1	65,5
Noviembre	22,6	22,6	23,0	24,8	63,1	56,1	62,3	67,1
Diciembre	23,7	23,6	24,3	25,4	63,7	62,8	60,8	71,8
Enero	23,3	23,2	23,7	23,8	63,2	68,6	61,7	72,3
Febrero	21,5	21,4	21,9	20,2	61,1	62,1	62,5	61,0
Marzo	17,0	16,9	17,8	12,7	54,2	47,7	56,6	48,6
Abril	12,7	12,7	13,8	9,8	48,9	49,0	55,5	44,3
Mayo	10,2	10,0	11,4	6,0	49,2	36,2	45,0	29,2
Junio	8,5	8,6	9,9	7,3	43,1	49,9	54,8	38,4
Julio	10,7	16,6	12,0	11,0	56,9	44,7	63,1	59,3

3.2. Determinaciones fenológicas

En la Tabla 3, se presenta la cantidad de días necesarios para alcanzar cada etapa fenológica contados a partir de la emergencia (DDE) del cultivo en los sitios de estudio. Ambas localidades presentan la misma cantidad de días para alcanzar la fase de pimpollado y comienzo de floración (aunque en meses diferentes). A partir de allí, se puede observar que las diferencias entre los valores de duración del periodo de pimpollado a fin de floración efectiva fueron de 66 y 77 días para SGO y QML, respectivamente. En QML se observa un incremento en la duración en días de las etapas reproductivas.

De acuerdo a la longitud de ciclo, cada sitio permitió que se explorara la estación de crecimiento de manera diferente. Para SGO sembrado en noviembre, hasta el inicio de pimpollado en el mes de diciembre y para QML, sembrado un mes después, a inicios del mes de enero. Las distintas duraciones de las etapas observadas en los dos sitios, ubicó el

desarrollo de las etapas reproductivas en el rango de fechas comprendido entre el 19 de diciembre y el 16 de febrero para SGO y el 31 de enero y 27 de marzo para QML (Tabla 3). No se presentaron variaciones en la longitud de las diferentes etapas fenológicas que ocurrieron en tiempos posteriores a la culminación de los tratamientos de sombreado para cada distanciamiento.

Los valores obtenidos pueden considerarse como normales para la variedad empleada en las experiencias.

Tabla 3. Duración en DDE de las etapas fenológicas, desde siembra hasta la aparición del primer capullo, para la campaña 2016/17 del ensayo en SGO y QML.

Etapas fenológicas	SGO	QML
Siembra a emergencia	5 días	4 días
DDE a pimpollado	35 días	34 días
DDE a primera flor	57 días	56 días
DDE a Fin de floración efectiva	101 días	111 días
DDE a primer capullo	137 días	143 días

El fin de la floración efectiva, se produce incluso en ausencia de estrés ambiental y forma parte del desarrollo de la planta. Sin embargo, los antecedentes genéticos, el estrés ambiental (temperaturas excesivamente altas o bajas, reducción de la radiación incidente, presencia en cantidades elevadas de contaminantes nocivos en el aire) y una restricción de agua o nutrientes, influyen en la magnitud de procesos como la apertura de las flores, la formación de nuevas hojas y ramas y además, aceleran el fin de la floración efectiva y la senescencia de la planta. El alivio de la carga de la cápsula al producirse el derramamiento o la disminución en el efecto del estrés, normalmente estimulan la continuidad en los procesos de crecimiento y desarrollo. El impacto del estrés ambiental se acentúa si las plantas se encuentran con buena carga reproductiva (Christiansen y Thomas, 1969).

El período de tiempo entre la siembra y el desarrollo de la primera flor, también depende del nudo en el que aparece el primer pimpollo en la primera rama fructífera. Este tiempo se

encuentra determinado genéticamente, sin embargo diversos estudios lo relacionan con la temperatura (Mauney, 1966; Moraghan et al., 1968; Hesketh et al., 1972). Debido a la compleja interacción de la tasa de crecimiento y el primer nudo reproductivo, el tiempo desde la emergencia hasta la primera cápsula puede variar entre cultivares e inclusive entre plantas, pero gran parte de la variación es debida al ambiente entre campañas y diferentes sitios experimentales (interacción genotipo-ambiente).

3.3. Variables ecofisiológicas

3.3.1. Radiación Fotosintéticamente Activa Interceptada (RFAi)

Para el análisis de esta variable, se tuvieron en cuenta sólo las mediciones para el sitio de SGO. En QML no pudieron obtenerse por desperfectos técnicos con la barra de radiación.

La eficiencia de intercepción de la radiación para SGO, no presentó diferencias estadísticas significativas ($p \geq 0,078$), debido probablemente a la poca cantidad de datos que representa un sitio. Estos resultados no coinciden con los obtenidos por Mondino y Lozano (2015), quienes trabajando con distanciamientos similares obtuvieron el 95% de la intercepción de la radiación en estadios previos a la floración para surcos estrechos y en los distanciamientos evaluados, se exhibió el valor máximo de la variable en el estadio de FFE. En relación al IAF crítico, entendido como el 95% de intercepción efectiva de la radiación (Andrade et al., 1996) solamente los tratamientos con surco estrecho lo alcanzaron en el estadio de fin de floración efectiva (Figura 6). Wells y Edmisten (2009) indicaron que en cultivos distanciados a 1,04 m entre surcos, puede que no se logre el cierre de la canopia y que la intercepción de luz sea menor que la máxima si las condiciones de crecimiento no son favorables. Es para destacar que los distanciamientos a 1,04 m no alcanzaron durante todo el ciclo del cultivo el nivel crítico de intercepción del 95% de la radiación incidente.

Estos resultados coinciden con los presentados por Paytas (1996 y 2004) en trabajos donde compara diversas densidades y distanciamientos entre surcos. Walhood y Johnson (1976) en un trabajo previo, correlacionaron el rendimiento de plantaciones con diferente distribución espacial con el grado de intercepción de la luz solar y encontraron que, la menor distancia entre surcos incrementaba la intercepción de la radiación por parte del cultivo, presentado un 42% más de rendimiento que los surcos más distanciados.

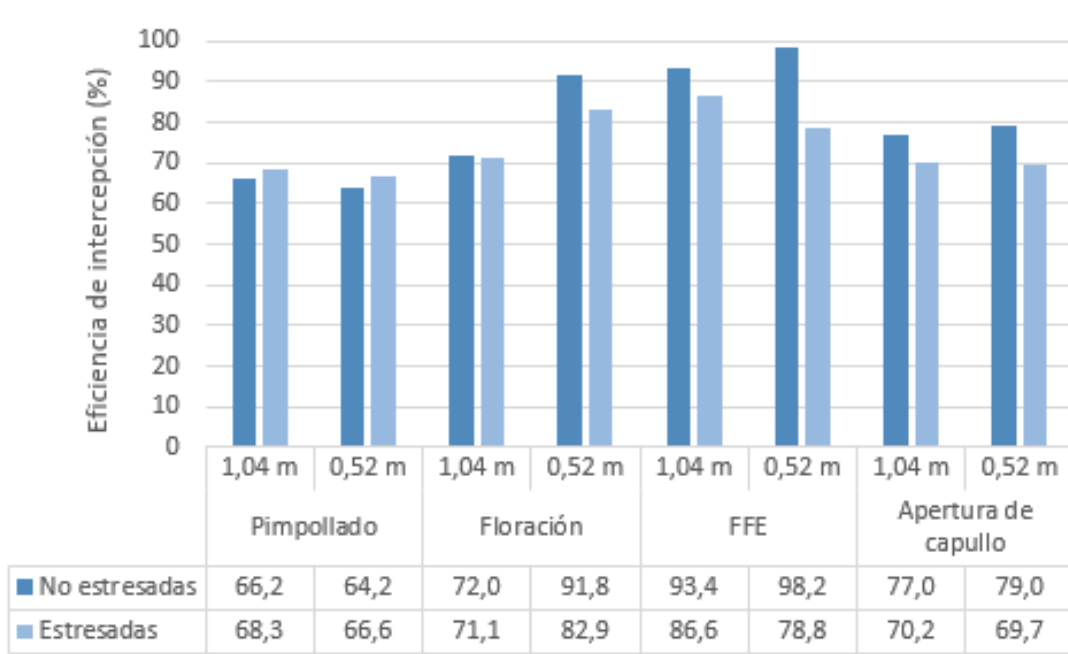


Figura 6. Eficiencia de la intercepción de la radiación fotosintéticamente activa (%) medida en diferentes estados fenológicos del cultivo de algodón, en plantas sometidas a condiciones de estrés y testigos no estresados para SGO.

3.4 Acumulación de materia seca

La materia seca de algodón presentaron diferencias significativas para el distanciamiento, tratamiento y para la interacción de los mismos ($p \leq 0.0001$), no así para el sitio ($p > 0.0826$). Los mayores valores fueron para los surcos distanciados a 1,04 m en el tratamiento testigo ($305,4 \text{ g m}^{-2}$), que no se diferenció del valor de materia seca total tomada en floración. Los tratamientos en donde se impuso el sombreado a partir de pico de floración en surcos estrechos, presentaron los menores valores (228 g m^{-2}). Este resultado se encuentra

sustentado en el conocimiento de que las plantas distribuidas en sistemas convencionales (surcos distanciados a 1,04 m), son de mayor porte, con numerosas ramificaciones (Paytas y Ploschuk, 2013) y con ramas fructíferas más largas (Mondino y Lozano, 2015).

Con respecto al momento de imposición del sombreado, durante pimpollado y floración, los valores de materia seca total disminuyeron un 16 y 32% respectivamente. Estos resultados son similares a lo reportado por Ergle (1936, 1938); Eaton y Ergle (1948); Jordania (1970); Marin y Da Silva (1972); Marani y Levi (1973), quienes encontraron disminuciones en el crecimiento de las plantas sometidas a condiciones de estrés en periodos reproductivos.

La acumulación de peso seco total se explica exclusivamente por el incremento del tamaño y peso de los órganos vegetativos (98,5%) hasta que las plantas de algodón del experimento alcanzaron el estadio de inicio de la floración. A partir de floración y hasta madurez de las cápsulas, el peso seco total se atribuye principalmente al crecimiento de las estructuras reproductivas, en detrimento del crecimiento vegetativo (en 17 y 62% respectivamente). Esta diferencia se vuelve más evidente cuando se compara el peso seco de los diferentes órganos vegetativos ($p \leq 0,0024$) y reproductivos ($p < 0,0013$) entre las plantas testigo y con estrés lumínico (Figura 7 y 8).

El porcentaje de peso seco de tallo, presentó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos ($p < 0,0024$), con el mayor valor para las plantas no sometidas a condiciones de estrés lumínico (plantas estresadas reportan un 14% menos de peso seco de tallo). No se presentaron diferencias estadísticamente significativas para los distanciamientos, el estadio en el que se realizó la medición, ni para sus interacciones ($p \geq 0,1249$). El peso seco de hojas, se diferenció significativamente en los estadios ($p < 0,0001$), con los valores más altos para los estadios de pimpollado y floración, sin diferencias entre ellos y los menores valores para el estadio de madurez de cápsula (14% del peso seco). El peso seco promedio de los frutos se diferenció estadísticamente para el tratamiento y el estadio ($p \leq 0,0013$). Los

mayores valores se presentaron para las plantas testigo en comparación con plantas sometidas a condiciones de estrés lumínico (59 y 32% del peso seco total respectivamente) y en los estadios analizados, el peso seco de los frutos fue mayor en madurez de cápsula, incrementando un 43 y 16% del peso seco con respecto al estadio de cápsula. El análisis de las interacciones no fue significativo ($p \geq 0,11$). Estos resultados son coincidentes con los obtenidos por Grimes et al. (1970) quienes estudiaron el efecto del estrés de una duración de dos semanas a partir de la aparición del primer pimpollo y observaron que, como consecuencia de un estrés, se redujo principalmente el crecimiento vegetativo.

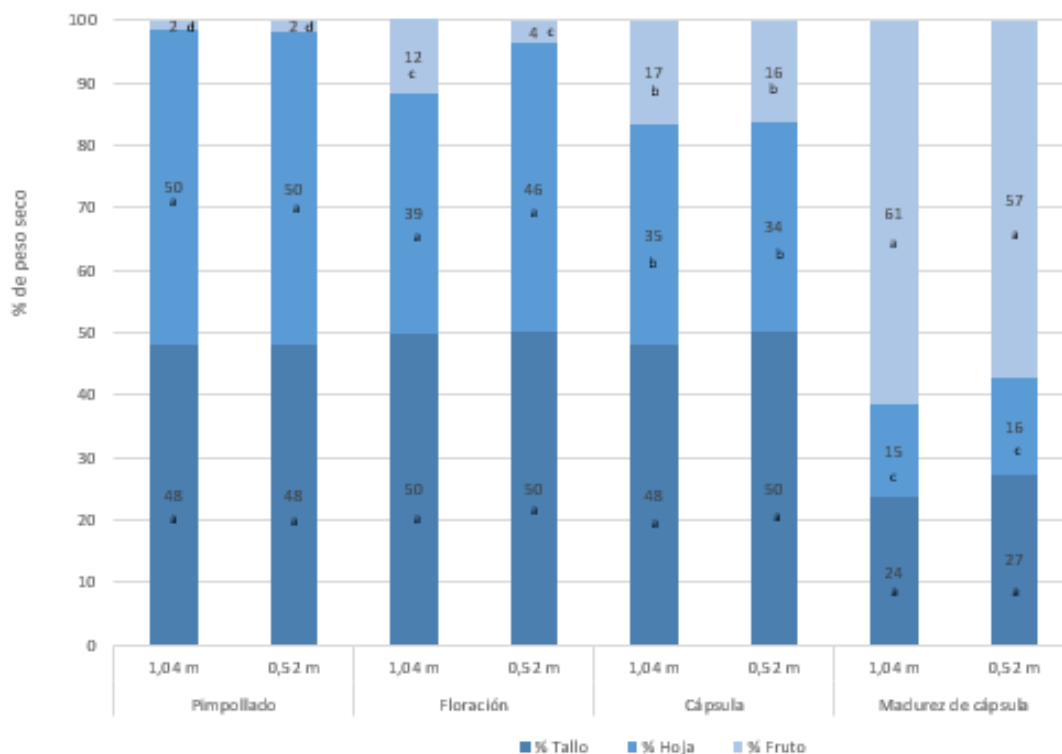


Figura 7. Distribución del peso seco (%) de tallos, hojas y estructuras reproductivas en los estadios: pimpollado, floración, cápsula y madurez de cápsulas, en plantas sin estrés lumínico distanciadas a 1,04 m y 0,52 m. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas para estadios fenológicos y distanciamiento ($p < 0,05$).

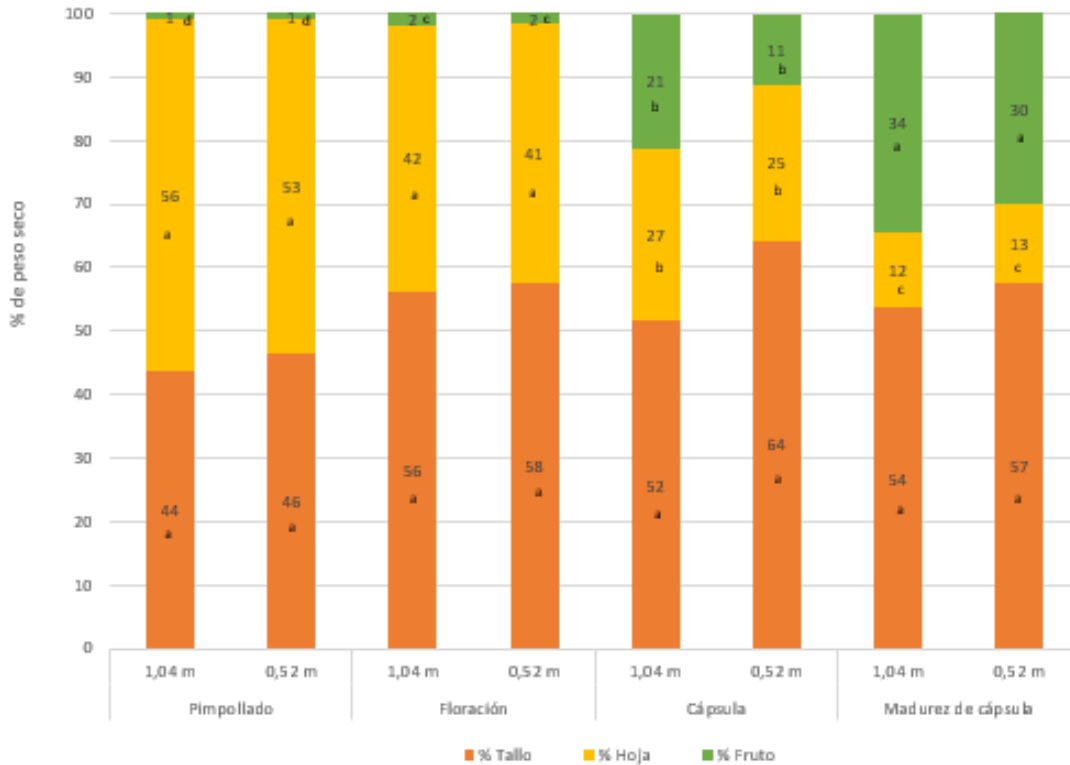


Figura 8. Distribución del peso seco (%) de tallos, hojas y estructuras reproductivas los estadios: pimpollado, floración, cápsula y madurez de cápsula, en plantas sometidas a condiciones de estrés lumínico distanciadas a 1,04 m y 0,52 m entre surcos. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas para estadios fenológicos y distanciamiento ($p < 0.05$).

El estrés lumínico impuesto a las parcelas de algodón después del inicio de la floración dio como resultado un aborto significativo (15,3 y 43,3 % para surcos distanciados a 1,04 y 0,52 m respectivamente) de frutos pequeños de hasta 5 días de desarrollo. Con respecto a las cápsulas producidas, no hubo diferencias significativas ($p \geq 0,081$) en el peso seco entre las plantas no estresadas y estresadas en este experimento. Los datos indicarían que la carga de fruta se regula para que la cantidad reducida de asimilados disponible se pueda utilizar de manera más eficiente.

Los mecanismos de partición que determinan la fracción de peso seco asignado al crecimiento vegetativo y reproductivo son complejos. Las características genéticas del cultivo para la longitud del entrenudo, el tamaño y la forma de la hoja y el número de flores por rama fructífera, forman una base para la partición. El estado hídrico y nutricional del

cultivo y los parámetros ambientales como la temperatura, la luz solar y la humedad relativa cambian la capacidad del cultivo para utilizar carbohidratos. La proximidad de las fuentes de origen de carbohidratos a los órganos destinos en crecimiento activo, desempeña un papel importante en la determinación del destino de los carbohidratos de esa fuente.

Los resultados de este experimento sugirieron que el efecto primario del estrés lumínico residiría en la reducción de la actividad fotosintética debida a la reducción del área foliar (en valores promedios del 23,8%), lo que confirma el trabajo previo de Ackerson, Krieg, Miller y Zartman (1977). También es probable que exista cierta reasignación de los asimilados exportados de varias hojas de cercanas al tallo ya que, a pesar de los tratamientos se presente cierta resistencia al derrame de estructuras y variación en el peso de las mismas. El mayor efecto fue en la actividad de la fuente, no en la actividad de destino.

La respuesta fotosintética del cultivo resulta del desempeño de cada hoja, que depende de la edad de la misma, la historia ambiental, la radiación incidente y las interacciones entre estos factores (Echer et al. 2014; Landivar et al., 2010). La producción de un cultivo creciendo en buenas condiciones ambientales y con una apropiada cantidad de frutos, estará limitada por el tamaño de la fuente, representado por la sumatoria de la actividad fotosintética de cada hoja (área foliar).

La planta de algodón es perenne de hojas caducas con un mecanismo natural para arrojar sus hojas maduras. Durante la temporada de crecimiento, una vez que la hoja alcanza su máximo tamaño, alrededor de los 20 días de formación, la tasa de eficiencia fotosintética también alcanza su máximo y se mantiene durante 20 días, a partir del cual disminuye rápidamente (Constable y Rawson, 1980; Krieg, 1988). Las hojas funcionan para suministrar fotosintatos a las estructuras en desarrollo y se desprenden solo cuando la hoja o la planta atraviesan un estrés. La abscisión de la hoja de algodón es un proceso fisiológico que implica una separación activa de tejido vivo de la planta. Este tema fue objeto de varios

artículos y revisiones (Addicott, 1970; Addicott y Wiatr, 1977; Carns, 1966; Guinn, 1979; Rubinstein y Leopold, 1964; Walhood y Addicott, 1968). Sin embargo, el estado de madurez o senescencia del desarrollo no siempre está relacionado con la edad en días o meses, sino que es más a menudo un reflejo de las condiciones en las que se desarrolla la planta. Las hojas pueden volverse senescentes y desprenderse de la planta a través de la influencia de varias situaciones de estrés. Tales tensiones pueden considerarse lesiones o alteraciones desfavorables de procesos vitales de la planta. Una vez que todo el cultivo está maduro, las hojas no tienen un propósito útil, y su eliminación puede ser beneficiosa para el proceso de cosecha del cultivo y para mantener elevados los valores de calidad de fibra. Este trabajo presenta datos opuestos a los de Mc Michael et al. (1973) y Osborne (1974) quienes informaron que, durante los tratamientos de experimentos con estrés hídrico, las hojas no se cayeron, pero la abscisión se produjo fácilmente después de que el déficit se alivió con el riego. Ambas observaciones apoyan la sugerencia de Addicott y Lynch (1955) de que la separación real o caída de las hojas es un proceso que requiere turgencia. Aunque la abscisión foliar resulta de la disolución enzimática de las células en la zona de abscisión, este proceso está influenciado por los niveles hormonales dentro de la lámina foliar y los factores ambientales externos.

3.5 Variables de crecimiento

3.5.1. Altura de la planta

La altura del cultivo presentó diferencias significativas ($p < 0.0001$) para los tratamientos, distanciamientos y para la interacción entre los mismos. Sin embargo, no se presentaron diferencias para el sitio ni para las interacciones. El mayor valor fue para surcos distanciados a 1,04 m y el tratamiento testigo (105,3 cm), y el menor para el tratamiento con sombreado a partir de pimpollado en surcos estrechos (80,1 cm). Estas diferencias

coinciden con los resultados expuestos por Kasperbauer (1994) quien informó diferencias de 10 a 13% en esta variable cuando utilizó coberturas en cultivos de algodón.

En la Tabla 4, se presentan los valores de altura para las variables distanciamiento por tratamiento. Lo observado en este trabajo es consistente con el estudio de Siebert y Stewart (2006), quienes informaron que el aumento en la altura de la planta, debido a un incremento en el número de plantas por superficie, condujo a un mayor sombreado mutuo en las plantas y, por lo tanto, una reducción de la eficiencia de la utilización de la luz a la que se le atribuye la disminución del rendimiento. Los sistemas de cultivo de baja densidad, con distancia entre surcos de 0,9 a 1,04 m normalmente presentan plantas de mayor porte, con numerosas ramificaciones y ciclos más largos (Paytas y Ploschuk, 2013).

La estructura de la canopia de algodón, la intercepción de la luz y la formación de frutos se ven afectados por la configuración espacial del cultivo (Gwathmey y Clement, 2010; Mondino y Lozano, 2015). Los experimentos sobre el espaciamiento de las plantas han demostrado que altera la variable de altura de la planta, la arquitectura, la eficiencia fotosintética de las hojas y el tamaño de la cápsula (Hussain et al., 2000; Siebert y Stewart, 2006).

Tabla 4. Valores de altura (cm) de las plantas de algodón sembradas en surcos convencionales (D1) y estrechos (D2) tomadas 14 días después de finalizar la imposición de los tratamientos de estrés lumínico durante 15 días en estadios de pimpollado (T2), aparición de primera flor (T3), plena floración (T4) y plantas no sombreadas (T4).

Distanciamiento	Tratamiento	Media (cm)
D1: 1,04 m	T1	94,3 d
	T2	101,8 b
	T3	99,0 c
	T4	105,3 a
D2: 0,52 m	T1	80,1 f
	T2	83,0 e
	T3	82,7 e
	T4	82,6 e

*Letras distintas dentro de cada columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

4 Rendimiento y componentes

4.1 Rendimiento por superficie

El rendimiento de los cultivos en kg ha^{-1} presentó diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.0001$) para los tratamientos, distanciamientos, sitios y para sus interacciones (Figura 9). Los mayores valores de rendimiento los exhibieron los tratamientos testigos en surcos convencionales para el sitio de QML ($4190,32 \text{ kg ha}^{-1}$), sin diferenciarse significativamente del testigo en surcos convencionales en SGO ($4085,88 \text{ kg ha}^{-1}$). Zhao y Oosterhuis (2000) informaron que si se aplica el sombreado durante 8 días durante la floración, ocasiona que las estructuras reproductivas aumenten, pero el rendimiento del algodón y la calidad de la fibra disminuyen. Echer (2017) en investigaciones de sombreado impuesto a diferentes cultivares de algodón, concluye que el estrés lumínico, disminuye significativamente el rendimiento de fibra del cultivo.

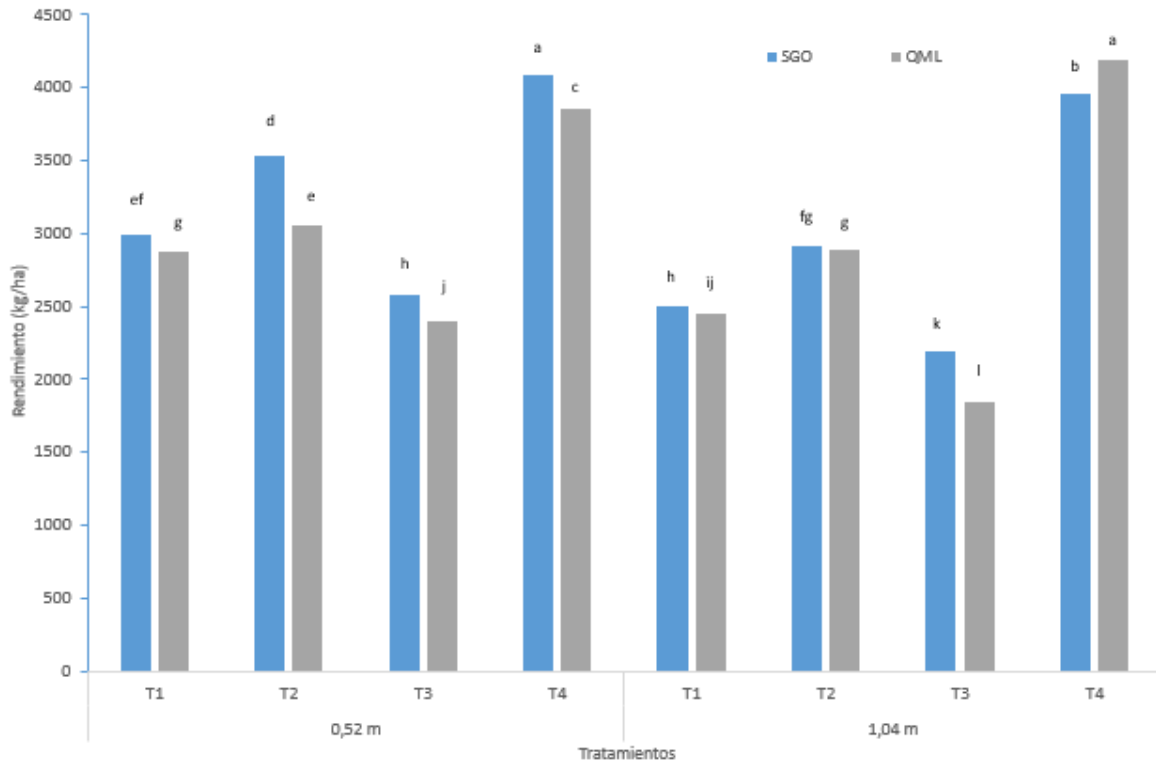
El menor valor de rendimiento lo presentó el tratamiento con sombreado a partir del estadio de pico de floración en sistemas convencionales de surcos distanciados a 1,04 m en QML ($1843,73 \text{ kg ha}^{-1}$). Estos resultados coinciden con los de Guinn y Mauney (1981) quienes a partir de trabajos con imposición de estrés hídrico, informaron que la principal causa de la reducción en el rendimiento fue el desprendimiento de las flores tres semanas después del estrés, lo que afectaba de manera negativa el crecimiento vegetativo y, principalmente, el reproductivo. El estrés impuesto durante el periodo de pico de floración redujo el rendimiento en mayor proporción que si el déficit de radiación incidente hubiese ocurrido antes o después de la floración, de la misma manera que lo informado por Grimes et al. (1970).

En SGO, la reducción del rendimiento en sistemas de surco estrecho cuando el sombreado se produjo en pimpollado fue de 26%, mientras que el estrés en floración y en pico máximo de floración fue de 13,5 y 36,9% respectivamente. En el mismo sitio, cuando los surcos

estaban distanciados a 1,04 m, la disminución fue de 37,7% para el tratamiento con reducción de la radiación en pimpollado (T1), 26,3% y 44,6% cuando apareció la primera flor (T2) y en plena floración (T3) respectivamente.

Para las condiciones de secano, el efecto de las condiciones de estrés impuesto fue de mayor magnitud, presentaron una disminución en el rendimiento del 25,5 y 41,4% en surcos estrechos y convencionales para el sombreado en pimpollado; un 20,7 y 31,1% para el estrés en inicios de floración y 37,9 y 56% para los tratamientos sombreados en pico de floración en sistemas de surco estrecho y convencional, respectivamente. Estos resultados son similares a los obtenidos por Eaton y Ergle (1954), aunque superiores a los reportados por Pettigrew (1995), que trabajando con un período de sombreado mayor, obtuvo una reducción del 20 % en el rendimiento.

La reducción del rendimiento presenta una mayor magnitud, cuando el estrés se presenta en estadios avanzados de floración, lo que concuerda con lo expresado por Zhao y Oosterhuis (1998) quienes establecieron que durante el período de desarrollo de la cápsula, el crecimiento vegetativo se ve reducido y la habilidad de las plantas para compensar las pérdidas provocadas por la restricción lumínica, es menor. Por consiguiente, el sombreado en la fase de desarrollo de cápsulas provoca una mayor disminución en el rendimiento que restricciones en otras fases del desarrollo reproductivo.



Letras distintas dentro de cada columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

Figura 9. Efecto de la disminución del 60% en la radiación incidente en plantas de algodón del cultivar NuOpal, sembradas en surcos convencionales (1,04 m) y estrechos (0,52 m), durante los estadios de pimpollado (T2), aparición de primera flor (T3), plena floración (T4) y pantas no sombreadas (T4) en el sitio SGO y QML, sobre el rendimiento de algodón en bruto (kg ha^{-1}).

El análisis del rendimiento del algodón en función de la cantidad total de kg ha^{-1} producidos por las posiciones que ocupan los capullos sobre las ramas fructíferas, presenta diferencias significativas para la combinación de tratamiento y distanciamiento ($p < 0.0001$).

Los tratamientos testigos no se diferencian entre ellos y presentan la mayor cantidad de capullos ubicados en las primeras posiciones, mientras que los tratamientos con reducción en la radiación incidente en pimpollado e inicios de floración, reducen en un 42,2% las estructuras ubicadas en estas posiciones, sin diferenciarse estadísticamente entre ellos. En los tratamientos sombreados en pico máximo de floración, sólo el 36% de las estructuras reproductivas se produjeron en primeras posiciones. Kerby y Buxton (1981); Arturi (1984); Wullschleger y Oosterhuis (1990); Heitholt (1993) analizando los patrones generales de

distribución fructífera horizontal de una planta de algodón, determinaron que la mayor parte del rendimiento se ubica en la primera posición y por presentar además mayor peso, y una pequeña proporción en el resto de las posiciones con menores pesos, resultados que coinciden con los obtenidos en estas experiencias.

No se evidenciaron diferencias estadísticas entre los tratamientos sombreados en pimpollado e inicios de floración. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Daxl (1996) y Crozat et al., (1997) quienes establecieron que en ambientes de baja luminosidad, las estructuras reproductivas localizadas en la primera posición de la rama fructífera, son más resistentes al derrame que aquéllas ubicadas en otras posiciones. Kerby (1996) demostró que las cápsulas de mayor edad tenían una alta prioridad en la asimilación de carbohidratos, por lo que las nuevas cápsulas continuarán fijándose sólo cuando las plantas no destinen la utilización de carbohidratos al crecimiento y madurez de las cápsulas.

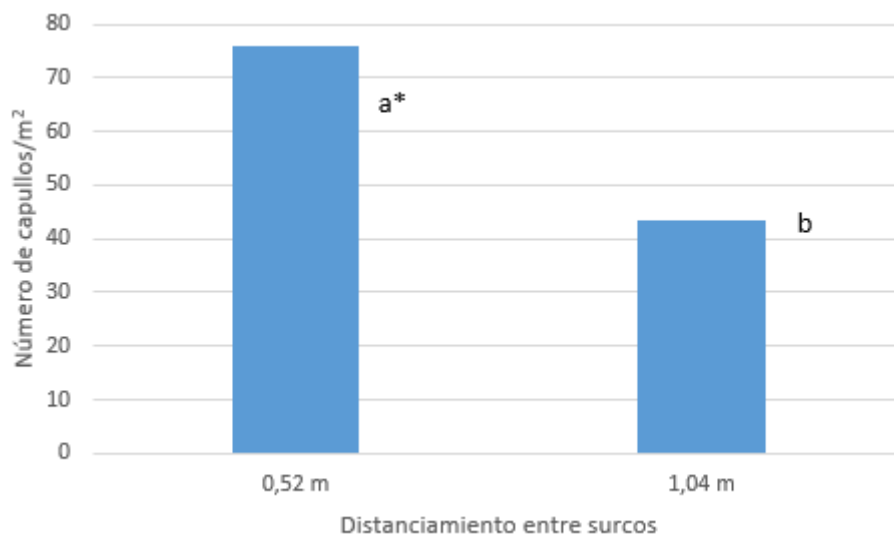
El estrés lumínico impuesto en periodos reproductivos iniciales, podría, si se restablecen las condiciones ambientales, compensar la formación de estructuras y de esta manera alcanzar rendimientos aceptables. Esta capacidad de compensación del algodón se informó anteriormente en un cultivar tardío por Yeates et al. (2013) en un estudio de macetas con bajas temperaturas durante la floración.

4.2 Número de capullos

El número de capullos presentó diferencias significativas ($p < 0.0001$) para el distanciamiento, tratamientos y sitios, pero no se presentan interacciones entre ellos al igual que en trabajo de Echer et al. (2014).

Las plantas exhibieron un 74% más de capullos por superficie en surcos estrechos que en surcos distanciados a 1,04 m (media de 43,6 capullos/m²) (Figura 10). Este efecto

probablemente sea consecuencia del auto – sombreado generado en las plantas bajo sistemas de surcos convencionales, lo que podría dificultar la incidencia de radiación en el estrato inferior del perfil de las plantas a medida que se cierra el entresurco, disminuyendo la fotosíntesis de las plantas y consecuentemente, la producción de asimilados (Echer et al., 2014; Wells y Edmisten, 2009).

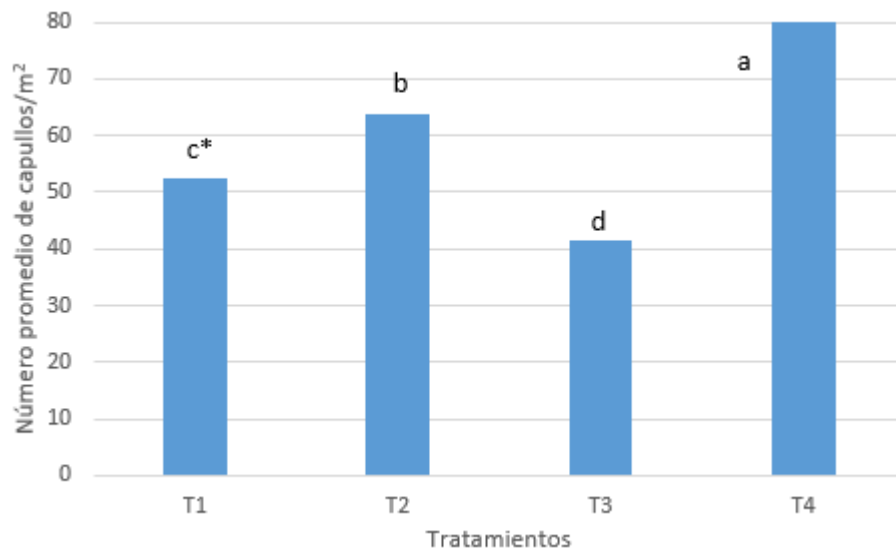


* Letras distintas dentro de cada columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)
Figura 10. Número promedio de capullos por superficie (m^2) para los sistemas convencionales (1,04 m) y surcos estrechos (0,52 m).

El número de capullos presentó diferencias significativas para los tratamientos ($p < 0.0001$) y se presentan gráficamente en la Figura 11. El tratamiento 2 presentó un 20,4% menos de capullos que el tratamiento testigo. El sombreado impuesto a partir de pimpollado, fue un 34,3% menor que el tratamiento testigo, y el tratamiento con restricción lumínica a partir de pico de floración fue 48,3% menor que el testigo. Estos resultados no coinciden con los informados por Lv et al. (2013), quienes observaron un porcentaje de abscisión mayor de estructuras reproductivas cuando el sombreado se produjo al inicio de la floración. Entre los diferentes componentes de rendimiento, el número de capullos se ve más afectado por el sombreado, con disminuciones de 13 a 40% en relación con los controles sin sombrear

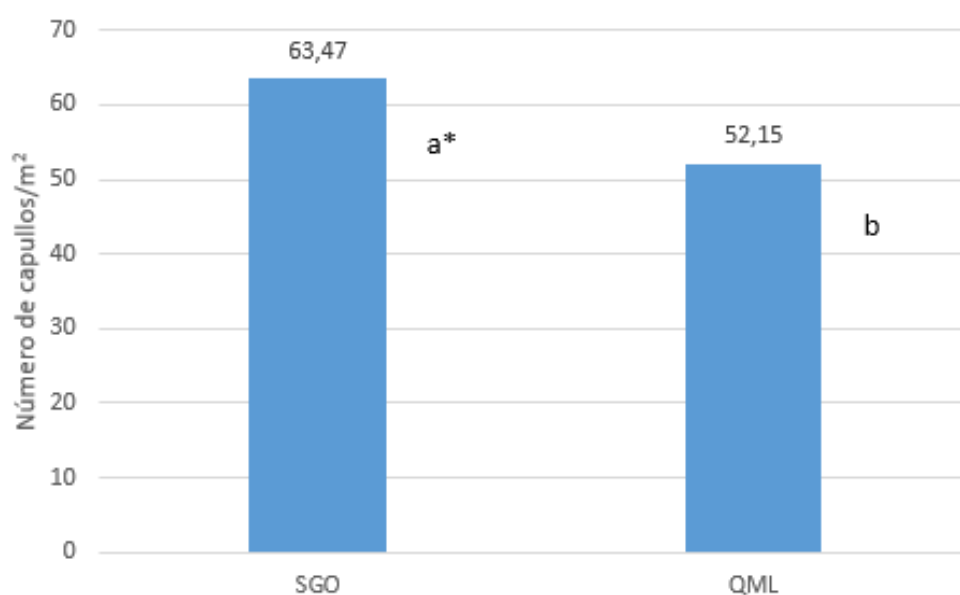
(Pettigrew, 1994; Zhao y Oosterhuis, 2000), debido a una baja disponibilidad de carbohidratos, valores similares a los obtenidos en este trabajo.

El estrés lumínico impuesto en los tratamientos, disminuyó notablemente el número promedio de capullos por superficie, sin embargo el efecto del distanciamiento entre surcos tuvo un efecto mayor en la reducción de este componente de rendimiento. La disminución del número de capullos por superficie podrían ser explicado como el resultado del aborto de estructuras reproductivas, y esto podría atribuirse a los desequilibrios en la proporción oferta/demanda de los carbohidratos explicados por Baker et al. (1983 y 1986). Las plantas de algodón alcanzan su tasa máxima de fotosíntesis neta (P_n) con una incidencia de luz de $1200 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Wells, 2011), que es similar a la incidencia de luz que produce el metabolismo fotosintético máximo en otras plantas C3. Sin embargo, la estructura planófila de la hoja puede generar un gradiente de luz dentro del perfil del cultivo, especialmente en las altas poblaciones de plantas (Dauzat et al., 2008) o plantas con surcos menos distanciados. En este caso, poca luz alcanza las hojas del perfil inferior (Lv et al., 2013).



* Letras distintas dentro de cada columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)
Figura 11. Número promedio de capullos por superficie (m^2) para los tratamientos de sombreado en plantas de algodón del cultivar NuOpal, durante los estadios de pimpollado (T2), aparición de primera flor (T3), plena floración (T4) y plantas no sombreadas (T4).

El número de capullos presentó diferencias significativas ($p < 0.0001$) para el sitio (Figura 12), con valores 17,8% más altos para SGO, con respecto a QML (52,15 capullos/m²). Estos resultados coinciden con los de Reddy et al. (2009) quienes trabajaron con diferentes distanciamientos entre surcos bajo condiciones de riego y seco y encontraron que, los mayores rendimientos se presentaban en los sistemas irrigados independientemente del distanciamiento entre surcos y dentro de cada ambiente, se presentaba una ventaja productiva a favor de los sistemas con surcos estrechos.



* Letras distintas dentro de cada columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)
Figura 12. Número promedio de capullos por superficie (m²) de plantas de algodón del cultivar NuOpal, en los sitios experimentales de SGO y QML durante la campaña 2016/17.

La abscisión de estructuras reproductivas es la principal respuesta de la planta a otras situaciones de estrés, como el estrés nutricional inducido por el sombreado, el clima nublado prolongado o la carga excesiva de cápsulas (Eaton y Rigler, 1945; Eaton y Ergle, 1954; Eaton, 1955; Ehlig y LeMert, 1973). Grimes et al. (1970) informaron que en estudios con estrés inducido durante el período de floración aumentaba el desprendimiento de pimpollos antes de que florezcan, mientras que si se producía el estrés de forma tardía, se reducía la tasa de floración y la retención de cápsulas, lo que generó un mayor efecto del

estrés. Echer et al. (2014) informaron que la mayor sensibilidad al estrés se presenta en las etapas de pimpollado, aunque no lo vieron reflejado en el número de capullos en sus investigaciones.

Las plantas de algodón por su hábito de crecimiento indeterminado, producen diversos ciclos reproductivos, con dos o tres veces la cantidad de estructuras reproductivas que pueden soportar para luego abortarlas como resultado del estrés fisiológico natural (Brevedan et al. 1978). Es por esta razón que el número de estructuras es el componente de rendimiento más variable.

Guinn y Mauney (1983) expusieron que si bien el estrés inducido en su trabajo de investigación, generó el desprendimiento de pimpollos y la reducción en la retención de cápsulas, la principal causa de la reducción del rendimiento fue la reducción en el número de flores tres semanas después del tratamiento de estrés. La reducción del número de flores en una medida del efecto del estrés sobre el crecimiento vegetativo y sobre la producción.

El momento de aplicación y la duración del estrés inducido parecieran ser los principales factores que influyen en este componente de rendimiento del algodón. Esto fue comprobado por Grimes et al. (1970), quienes generando situaciones de estrés controlado durante 9 días en el período pico de floración, redujeron en mayor proporción el rendimiento del algodón en comparación con periodos similares, aplicados en otro momento fenológico.

En este trabajo se pudo comprobar que el estrés inducido en periodos de pimpollado, favorece el desprendimiento de estructuras reproductivas. Sin embargo, la imposición tardía del estrés, redujo la tasa de floración y la retención de estructuras. Esto probablemente se deba a que las cápsulas en desarrollo son importantes destinos de hidratos de carbono y nitrógeno. Y esta importancia como destino aumenta con la edad y tamaño de la cápsula,

alcanzando el máximo a los 20 – 30 días después de la antesis (Pinkhasov yTkachenko, 1981). Guinn (1982) comprobó mediante el estudio de respuesta de la plantas a la luz tenue y a heridas inducidas, que la capacidad de producción de etileno, desencadenante de la abscisión, disminuye con la edad de la estructura reproductiva.

4.3 Peso de capullos

El peso de los capullos por superficie no presentó diferencias estadísticamente significativas en este trabajo (Figura 13). Estudios previos demostraron que el estrés, definido como la desviación de las condiciones óptimas, disminuye el crecimiento, el rendimiento (Pettigrew, 1994) y la calidad de fibra (Pettigrew, 1995) o todos ellos (Zhao y Oosterhuis, 2000 y Echer, 2017). Se conoce que los efectos del estrés en la fibra son, en su mayor parte, indirectos. El estrés afecta a la planta, y a través del efecto en la planta, afecta a la fibra. La fibra es un apéndice de la unidad reproductiva, la semilla. La unidad reproductiva en desarrollo es el destino más importante para los recursos de la planta, incluso de mayor importancia que las unidades vegetativas en desarrollo. Por lo tanto, la fibra generalmente se ve menos afectada por el estrés que los órganos de la planta. Por ejemplo, Grimes y Yamada (1982) demostraron que bajo condiciones de humedad limitada, el crecimiento y desarrollo de la fibra (elongación y desarrollo de la pared secundaria) continuaron con una disponibilidad de humedad menor que la necesaria para lograr la elongación del tallo principal de la planta.

Otros estudios informaron un menor efecto de la sombra sobre el porcentaje de fibra (Echer y Rosolem, 2015; Chen et al., 2016) y esas diferencias pueden atribuirse al nivel de sombra, la duración o la etapa de las plantas.

Por otro lado, las condiciones que son óptimas para el crecimiento de la planta también son óptimas para el crecimiento de la fibra. Jackson y Tilt (1968) informaron que las fibras más largas de los tratamientos que produjeron los rendimientos más altos.

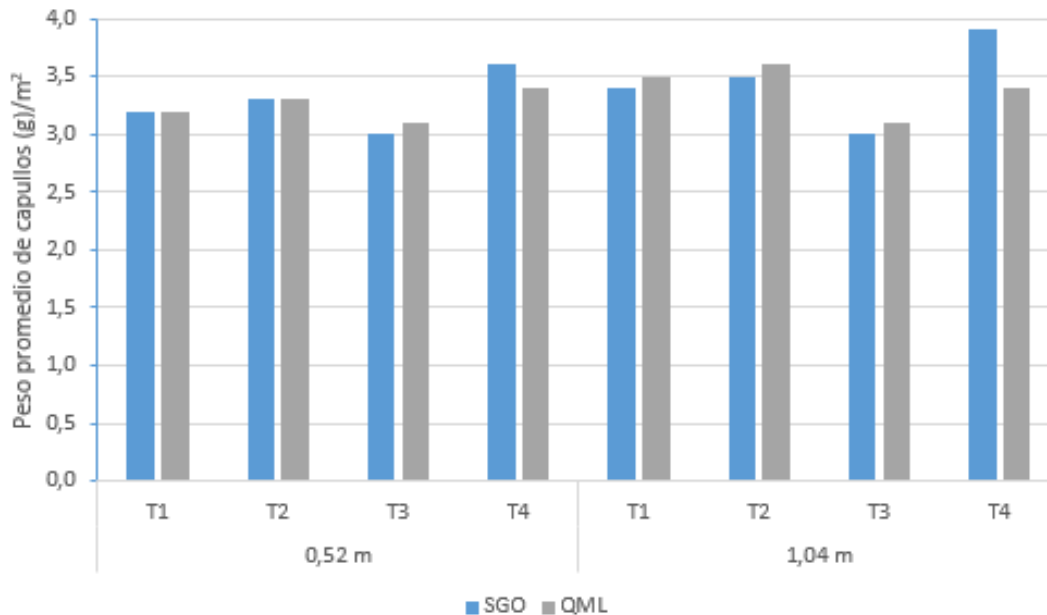


Figura 13. Valores de peso de capullos por superficie (g/m²) de plantas de algodón del cultivar NuOpal, sembradas en surcos estrechos (0,52 m) y convencionales (1,04 m), registrados en tratamientos de reducción de la radiación incidente durante los estadios de pimpollado (T2), aparición de primera flor (T3), plena floración (T4) y pantas no sombreadas (T4) en el sitio SGO y QML.

5 Rendimiento en fibra

5.1 Porcentaje de desmote

El porcentaje de desmote no presentó diferencias significativas para los tratamientos, distanciamientos, sitio, ni para sus interacciones (Figura 14). Estos resultados coinciden con los datos presentados por Gaytán-Mascorro et al. (2004) en trabajos de evaluación del rendimiento de algodón por efecto del espaciamiento entre surcos y densidad de población.

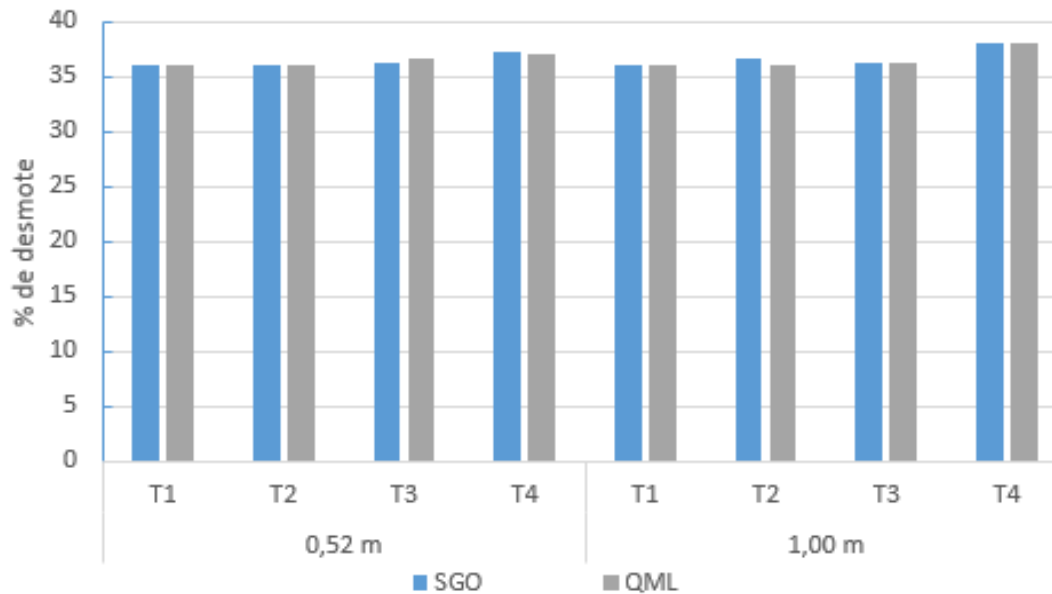


Figura 14. Rendimiento de fibra al desmote (%) de plantas de algodón del cultivar NuOpal, sembradas en surcos estrechos (0,52 m) y convencionales (1,04 m), registrados en tratamientos de reducción de la radiación incidente durante los estadios de pimpollado (T2), aparición de primera flor (T3), plena floración (T4) y pantas no sombreadas (T4) en el sitio SGO y QML.

PESO DE SEMILLAS

La variable peso de mil semillas (g) no presentó diferencias estadísticamente significativas para los tratamientos, distanciamientos, sitio en donde se realizó el ensayo, ni en sus interacciones (Tabla 5). Se puede observar, pese a la ausencia de significancia estadística que, numéricamente los tratamientos testigo presentaron menor peso de semilla.

Tabla 5. Valores de peso de mil semillas (g) de las plantas de algodón del cultivar NuOpal sembradas en surcos convencionales (1,04 m) y estrechos (0,52 m) en los ambientes experimentales: SGO y QML, sometidos a tratamientos de restricción de la radiación incidente durante los estadios reproductivos de pimpollado (T2), aparición de primera flor (T3), plena floración (T4) y pantas no sombreadas (T4).

Sitio	Distanciamiento	Tratamiento	Peso de semillas (g)
SGO	1,04 m	T1	156,33
		T2	156,67
		T3	156,00
		T4	151,33
	0,52 m	T1	158,00
		T2	157,67
		T3	156,67
		T4	153,00
QML	1,04 m	T1	157,67
		T2	158,00
		T3	156,67
		T4	153,67
	0,52 m	T1	154,67
		T2	156,00
		T3	155,00
		T4	150,67

6. Mapeo horizontal y vertical de fructificaciones

El efecto de la restricción lumínica en diferentes momentos del ciclo reproductivo de la planta de algodón, origina la modificación en la distribución de las estructuras reproductivas en el perfil de las plantas. Para poder analizar de manera correcta este efecto, se presentó el análisis del rendimiento por tercios (Figura 15).

El tercio inferior presenta diferencias significativas en la cantidad de capullos, para el sitio y para los tratamientos ($p < 0,0001$), pero no así para sus interacciones ($p \leq 0,084$).

Las plantas evaluadas en SGO presentan el 44,9% de sus estructuras ubicadas en el tercio inferior, mientras que las de QML sólo el 27,9%, con diferencias estadísticamente significativas entre los sitios ($p < 0,0001$). Este comportamiento probablemente se explique por las necesidades de agua cubiertas en el sitio que tiene riego, mientras que en seco,

la planta sacrifica la formación de las primeras estructuras para favorecer el crecimiento vegetativo.

Con respecto a los tratamientos ($p < 0,0001$), el testigo presentó el 46% de las estructuras reproductivas en el tercio inferior, con el valor más alto de la variable analizada. Mientras que los tratamientos con sombreado en pimpollado e inicios de floración presentaron el 36,7 y 35,8% respectivamente y sin diferencias significativas entre ellos. El tratamiento que presentó menor valor de capullos en el tercio inferior, es el tratamiento en el que se redujo la radiación incidente durante el pico de floración, con el 25,4% de sus estructuras reproductivas.

El tercio medio de las plantas analizadas, sólo arrojó diferencias significativas ($p < 0,0001$) para los tratamientos. Los valores (%) de capullos ubicados en el tercio medio para los tratamientos en los que se impuso sombreado, sólo se diferenciaron del tratamiento testigo, que presentó el 37,1% de las estructuras reproductivas. Este efecto se produce probablemente porque las fructificaciones ubicadas en las ramas de este tercio no alcanzan a superar el período crítico, establecido por Crozat et al. (1997) de 10 días pos-antesis y como consecuencia del estrés se produce la abscisión.

En el análisis del porcentaje de capullos en el tercio superior no se presentaron diferencias significativas en los tratamientos, distanciamientos, sitio ni en las interacciones entre ellos ($p \geq 0,95$).

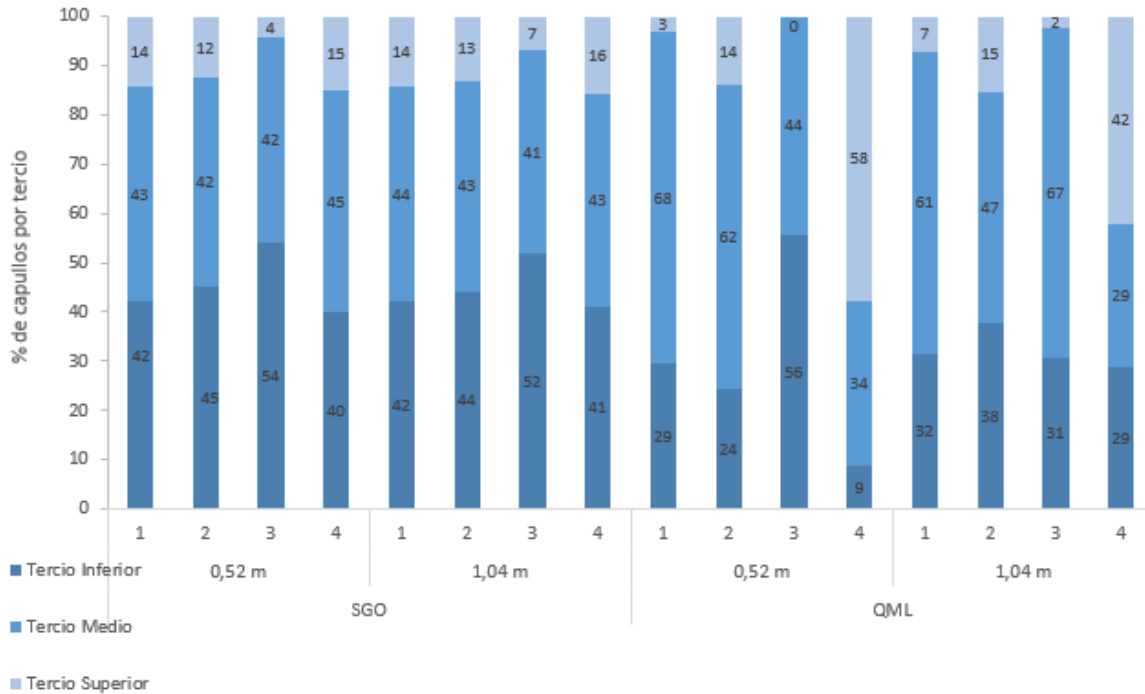


Figura 15. Efecto del sombreado en plantas de algodón del cultivar NuOpal, sembradas en surcos estrechos (0,52 m) y convencionales (1,04 m) aplicadas durante los estadios de pimpollado (T2), aparición de primera flor (T3), plena floración (T4) y pantas no sombreadas (T4) en el sitio SGO y QML, sobre el número de capullos (%) separado en: tercio inferior (nudo 6 a 9), medio (nudo 10 a 13) y superior (nudo 14 a 17).

El hábito de crecimiento indeterminado de la planta de algodón probablemente le permite compensar la abscisión temprana en el tercio inferior y medio, debido al sombreado a comienzo de floración y el largo del ciclo, característico del cultivar empleado, sean las razones por las cuales se presentó una mayor retención fructífera en los nudos superiores.

7. Conclusiones

- La restricción de la radiación incidente durante períodos prolongados en la etapa reproductiva, provoca una disminución en el rendimiento del cultivar NuOpal BR.
- La reducción del rendimiento provocado por el sombreo, se incrementa si se produce en etapas avanzadas de la floración.
- El número de capullos es el componente de rendimiento principalmente afectado ante situaciones de estrés lumínico.
- El peso de los capullos no se afecta ante la reducción de la radiación incidente durante 15 días en el periodo reproductivo.
- La restricción lumínica produce alteraciones en la distribución vertical y horizontal de los componentes de rendimiento.
- La implementación de sistemas de siembra en surcos estrechos, atenúan el efecto del estrés lumínico en periodos reproductivos.
- El periodo crítico más importante en el cultivo de algodón es a partir de pico de floración hasta fin de la floración efectiva.
- El derrame de estructuras reproductivas como consecuencia del estrés inducido en estadios de pimpollado, es compensado posteriormente si las condiciones ambientales son adecuadas.
- El cultivar NuOpal BR utilizado en el estudio, solo presenta fructificaciones en el tercio inferior, en ambientes favorables no estresantes.
- El impacto del estrés lumínico se acentúa si las plantas se encuentran con elevada carga fructífera.
- Los pimpollos de mayor tamaño, son autosuficientes y se resisten al derrame en situaciones estresantes.
- El efecto negativo de condiciones estresantes para los cultivos, se presenta hasta tres semanas después de concluidas las mismas.

- El momento de ocurrencia y la severidad del estrés son los factores que principalmente influyen en el rendimiento

Estos conceptos se deberían utilizar para diseñar sistemas culturales con el fin de producir fibra de calidad óptima, así como rendimientos máximos para los cultivares disponibles.

La duración del periodo reproductivo es de aproximadamente 6 semanas, pero el periodo crítico para la determinación del rendimiento y sus componentes, es inferior. Por esta razón el sistema cultural debería adaptarse para minimizar las condiciones estresantes en los periodos más importantes del desarrollo del rendimiento y si se presentasen condiciones estresantes, utilizar estrategias para mitigarlas y potenciar las condiciones de cada ambiente.

Bibliografía

ADDICOTT, F.T. 1970. Plant hormones in the control of abscission. *Biological Reviews*, 45(4), pág. 485-524.

ADDICOTT, F.T. y LYNCH, R.S. 1955. Physiology of abscission. *Annual Review of Plant Physiology*, 6(1), pág. 211-238.

ADDICOTT, F.T. y WIATR, S.M. 1977. Hormonal controls of abscission: biochemical and ultrastructural aspects. In *Plant growth regulation*. Springer, Berlin, Heidelberg. pág. 249-257.

ACKERSON, R.C.; KRIEG, D.R.; MILLER, T.D. y ZARTMAN, R.E. 1977. Water Relations of Field Grown Cotton and Sorghum: Temporal and Diurnal Changes in Leaf Water, Osmotic, and Turgor Potentials 1. *Crop Science*, 17(1), pág.76-80.

ACUÑA, R.L. 1999. Estadística agroclimática decádica INTA La María, Santiago del Estero. Período 1989-1998. Estación Agrometeorológica INTA La María. EEA INTA Santiago del Estero, pág 26.

ANDRADE, F.H. 1992. Radiación y temperatura determinan los rendimientos máximos de maíz. Rep. No. 106. EEA Balcarce (INTA), Balcarce, Bs. As., Argentina.

ANDRADE, F.H.; SADRAS, V.O. 2000. Efectos de la sequía sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivos. In: *Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja*. Balcarce, INTA/Facultad de Ciencias Agrarias UNMP. pág. 89-193.

ANDRADE, F.H.; CIRILO, A.; UHART, S. y OTEGUI, M. 1996. Ecofisiología del cultivo de maíz. Unidad integrada FCA, UNMdP – INTA Balcarce. Dekalb Press. Editorial La Barrosa. 292 pág.

ANGUEIRA, C.; PRIETO, D.; LOPEZ, J. y BARRAZA, G. 2007. Sistema de información geográfica de Santiago del Estero, 2.0. CD ROM and <http://sigse.inta.gov.ar>. INTA, Santiago del Estero. INTA, Argentina.

- ARTURI, M.J. 1984. El algodón: mejoramiento genético y técnica de cultivo. Ed. Hemisferio Sur, Argentina. 179 pág.
- ASHLEY, D.A.; DOSS, B.D. y BENNETT, O.L. 1965. Relation of Cotton Leaf Area Index to Plant Growth and Fruiting 1. *Agronomy Journal*, 57(1), pág. 61-64.
- BAKER, D.N. 1965. Effects of certain environmental factors on net assimilation in cotton. *Crop Science* 5:53-56.
- BAKER, D.N. y ACOK, B. 1986. A conceptual model of stress effects. In. Mauney, J.R y J.McD Stewart (ed.) *Cotton physiology*. The Cotton Foundation, Memphis. TN. pág. 245-258.
- BAKER, D.N., LAMBERT J.R., MCKINION J.M., 1983. GOSSYM: A simulator of cotton crop growth and yield, *Tech. Bull. S. C. Agric. Exp. Station 1089*. Pág. 1–134.
- BERNHARDT J.L.; PHILLIPS, J-R y TUGWELL, N.P. 1986. Position of the uppermost white bloom defined by node counts as an indicator for termination of insecticide treatments in cotton. *Journal Economic Entomology* 79. pág. 1430-1438.
- BEYER, E.M. Jr y MORGAN, P.W. 1971. Abscission: the role of ethylene modification on auxin transport. *Plant Physiology* 48: pág. 208-212.
- BREVEDAN, R.E.; EGLI D.B. y LEGGET, J.E. 1978. Influence of N Nutrition on Flower and Pod Abortion and Yield of Soybeans 1. *Agronomy journal*, 70(1), pág. 81-84.
- CARNS, H. R. (1966). Abscission and its control. *Annual Review of Plant Physiology*, 17(1), pág. 295-314.
- CHEN, B.; YANG, H.K.; MA, Y.N.; LIU, J.R.; LV, F.J.; CHEN, J.; MENG, Y.L.; WANG, Y.H.; ZHOU, Z.G. 2017. Effect of shading on yield, fiber quality and physiological characteristics of cotton subtending leaves on different fruiting positions. *Photosynthetica*, v.55, n.1, pág. 240-250.
- CHRISTIANSEN, M.N., y THOMAS, R.O. 1969. Season-long effects of chilling treatments applied to germinating cottonseed. *Crop Science*, 9(5) pág. 672-673.

CIRILO, A. 1995. Fecha de siembra y productividad en maíz. Ph.D. diss., Universidad Nacional de Mar del Plata., Balcarce, Bs. As., Argentina.

CONSTABLE, G.A y RAWSON, H.M. 1980. Carbon production and utilization in cotton: Inferences from a carbon budget. Aust. J. Plant Physiol. 7. Pág.539-553.

CONSTABLE, G.A. y HEARN, A.B. 1981. Irrigation for crops in a subhumid environment. VI. Effect of irrigation and nitrogen fertilizer on growth, yield and quality of cotton, Irrig. Sci. 3. Pág.17-28.

CROZAT, Y.; JUDAIS, V. y KASEMSAP, P. 1997. Survival of cotton fruiting forms after a temporary light reduction as affected by fruit age and plant structure. In. J.M. Brown (Ed.). Proceedings Beltwide Cotton conferences, National Cotton Council of America, Memphis, TN USA. pág.1432-1435.

DA SILVEIRA, A. T. 1977. Cotton fruiting from sensitivity to shade stress. Dissertation Abstracts International 38:2473.

DAXL, R. 1996. Manejo del cultivo algodonero. Fundación Nicaragüense para el Desarrollo Agrícola. Editorial Hispamer. Pág. 330.

DAUZAT, J.; CLOUVEL, P.; LUQUET, D. y MARTIN, P. 2008. Using virtual plants to analyse the light-foraging efficiency of a low-density cotton crop. Ann. Bot. 101. Pág.1153-1166.

DERIEUX, M., y BONHOMME, R. 1982b. Heat unit requirement for maize hybrids in Europe. Results of the European FAO sub-network. I. Sowing- silking period. Maydica 27, pág. 59-77.

DERIEUX, M., y BONHOMME, R. 1986. Different approaches to maturity ratings in maize in the world. In "Information Bulletin of the FAO Research Network on maize.", Vol. 3, pág. 15-21.

DI RIENZO, J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M. y ROBLEDO, C.W. InfoStat versión 2018. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

DUNLAP, A.A.1943. Low light intensity and cotton boll shedding. *Science* 98. Pág. 268-269.

EATON, F.M., 1955. Physiology of the cotton plant. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 6, pág. 299.

EATON, F.M., y ERGLE, D.R. 1948. Carbohydrate accumulation in the cotton plant at low moisture levels. *Plant Physiology* 23. Pág.169-187.

EATON, F.M., y ERGLE, D.R. 1954. Effect of the shade and partial defoliation on carbohydrate levels and the growth, fruiting and fiber properties of cotton plants. *Plant Physiology* 29. Pág.39-49.

EATON, F. M. y RIGLER, N.E. 1945. Effect of light intensity, nitrogen supply, and fruiting carbohydrate utilization by the cotton plant. *Plant Physiology* 20. pág. 380-411.

ECHER, F.R. 2017. Yield and fiber quality of cotton cultivars in response to shading. *Conferencia Agraria* 13. 10.5747/ca.2017.v13.n2.a163. Pág.87-96.

ECHER, F.R.; OOSTERHUIS, D.M. y ROSOLEM, C.A. 2014. High night temperatures during the floral bud stage increase the abscission of reproductive structures in cotton. *Journal of agronomy and crop science* 200 (3), pág. 191-198.

ECHER, F.R. y ROSOLEM, C. A. 2015a. Cotton leaf gas exchange responses to irradiance and leaf aging. *Biologia Plantarum*, v.59, n.2, pág.366-372.

ECHER, F.R.; ROSOLEM, C.A. 2015b. Cotton yield and fiber quality affected by row spacing and shading at different growth stages. *European Journal of Agronomy*, v.65, pág.18-26,

EHLIG, C.F. y LE MERT, R.D. 1973. Effects of fruit load, temperature, and relative humidity on boll retention of cotton, *Crop Science* 13. Pág.168–171.

ELSENER, J.E.; SMITH, C.W. y OWEN, D.F. 1979. Uniform stage description in upland cotton. *Crop Science* 19. pág. 361-363

FEHR W. R. y CAVINESS, C.E. 1981. Stages of soybean development. Cooperative Extension Service. Iowa State University. Ames Iowa 50011. Special Report 80. Pág. 11.

GALIZZI, F.A.; SORIA, R.H.; DUFFAU, R.A. y ESCURRA, F.A. 2002. Valores de pH, material orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio en suelos del área de riego del Proyecto Río

Dulce (P.R.D.), Santiago del Estero. Revista de Ciencia y Tecnología, serie divulgación N° 7. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Pág. 25-37

GALLAGHER, J.N. y BICOE, P.V. 1978. Radiation absorption, growth and yield of cereals. Journals of agricultural science, Cambridge 91. Pág. 47-60.

GALLO, W.P y DOUHTRY, C.S.T. 1986. Techniques for measuring intercepted and absorbed photosynthetically active radiation in crop canopies. Agron. Journal 78. Pág.752-756.

GARDNER, F.P.; PEARCE, R.B. y MITCHEL, R.L. 1985. Physiology of crop plants. Iowa State University Press. USA. Pág. 327.

GAYTÁN-MASCORRO, A.; PALOMO-GIL, A.; RETA- SÁNCHEZ, D; GODOY-AVILA, S. y GARCÍA-CASTAÑEDA, E. 2004. Respuesta del algodón cv. Cian precoz al espaciamiento entre surcos y densidad poblacional. Rendimiento, precocidad y calidad de fibra. Rev. Internacional de botánica experimental. pág 57-67.

GIFFORD, R. M., y EVANS, L.T. 1981. Photosynthesis, carbon partitioning and yield. Ann. Rev. Physiology N°32, pág. 485-509.

GRIMES, D.W. y YAMADA, H. 1982. Relation of Cotton Growth and Yield to Minimum Leaf Water Potential 1. Crop Science, 22(1), pág. 134-139.

GRIMES D.W.; MILLER, R.J y DICKENS, L. 1970. Water stress during flowering of cotton. California Agriculture N°24 (3). Pág. 4-6.

GUINN, G. 1974. Abscission of cotton floral buds and bolls as influenced by factors affecting photosynthesis and respiration. Crop Science 14. Pág. 292-293.

GUINN, G. 1976. Water déficit and ethylene evolution by youg cotton bolls. Plant Physiology. 57. pág.403-405.

GUINN, G. 1979. Hormonal relations in flowering, fruiting and cutout. Procceding of the 33d Cotton Physiology. Conference. National Cotton Council. Menphis, Tenn. pág. 265-267.

GUINN, G. 1982. Causas del derrame de pimpollos y cápsulas en algodón. Traducción en español del original publicado en USDA-ARS Tech. Bull. N° 1672. pág. 8

GUINN, G.; MAUNEY, J.R. y FRY, K.E. 1981. Irrigation scheduling and plant population effects on growth, bloom rates, boll abscission and yield of cotton. *Agronomy Journal* 73. pág. 529-534.

GWATHMEY, C.O., y CLEMENT, J.D. 2010. Alteration of cotton source–sink relations with plant population density and mepiquat chloride. *Field Crops Research*, 116 (1-2) pág. 101-107.

HAUN, J.R. 1973. Visual quantification of wheat development. *Agronomy Journal* 66. pág. 116-119.

HAY, R. y PORTER, J. 2006. *The Physiology of Crop Yield*. Blackwell Publishing, Ames, IA, USA.

HEILMAN, M.D., GONZALEZ, C.L; SWANSON, W.A. y RIPPERT, W.J. 1968. Adaptation of a linear transducer for measuring leaf thickness. *Agron. Journal* 60. pág. 578—579.

HEITHOLT, J.J. 1993. Cotton boll retention and its relationship to lint yield. *Crop Science* 33. pág. 486-490.

HEITHOLT, J. J. 1994. Canopy characteristics associated with deficient and excessive cotton plant population densities. *Crop science*, 34(5), pág. 1291-1297.

HESKETH, J.D.; BAKER, D.N. y DUNCAN, W.G. 1972. Simulation of Growth and Yield in Cotton: III. Environmental Control of Morphogenesis 1. *Crop Science*, 12(4) pág. 436-439.

HUSSAIN, S.Z.; SHERAZ, F.; ANWAR, M.; GILL, M.I. y BAUGH, M.D. 2000. Effect of plant density and nitrogen on the yield of seed cotton-variety CIM-443. *Sarhad Journal of Agriculture*, 16(2), pág. 143-147.

INTERNATIONAL COTTON ADVISORY COMMITTEE (ICAC). 2019. *Cotton: World statistic*. Secretariat of the International Cotton Advisory Committee. Washington, DC, USA.

<https://icac.org/Home/SourcesofCottonStatistics?MenuId=64>

- JACKSON, E.B. y TILT, P.A. 1968. Effects of Irrigation Intensity and Nitrogen Level on the Performance of Eight Varieties of Upland Cotton, *Gossypium hirsutum* L. 1. *Agronomy Journal*, 60(1), pág. 13-17.
- JENSEN, R.G. 1986. The biochemistry of photosynthesis. In: Mauney, J.R., Stewart, J.M. (Eds.), *Cotton Physiology*. The Cotton Foundation, Memphis.
- KASPERBAUER, M. J. 1994. Light and plant development. *Plant-environment interactions*. New York: Marcel Dekker. 599 pág.
- KERBY, T.A. 1996. Consideraciones sobre manejo en la producción de algodón. Traducción del INTA EEA Santiago del Estero, 1998. pág. 46.
- KERBY, T.A. y BUXTON, D.R. 1981. Competition between adjacent fruiting forms in cotton. *Agronomy Journal* 73. pág. 867-871.
- KERBY T.A. y RUPPENICKER, G.F. 1989. Node and fruiting branch position effects on fiber and seed quality characteristics. *Proc. Beltwide Cotton Conference*. pág. 98-100.
- KINIRY, J.R.; RITCHIE, J.T. y MUSSER, R.L. 1983. Dynamic nature of the photoperiod in maize. *Agronomy Journal*. 75. pág. 700-704.
- KITTOCK, D. L.; SELLEY, R.A.; CAIN, C.J. y TAYLOR, B.B. 1986. Plant population and plant height effects on pima cotton lint yield. *Agronomy Journal*, Madison, v. 78, pág. 534-538.
- KRIEG, D.R. 1988. Leaf age-gas exchange characteristics. In. P. Dugger, D. Richter (Eds.) 1988 *Proc. Beltwide Cotton Prod. Res. Conf. National Cotton Council Memphis, TN*. pág. 55-57.
- LAFITTE, H. R. y EDMEADES, G.O. 1997b. Temperature effects on radiation use and biomass partitioning in diverse tropicals maize cultivars. *Field Crops Research* 49, pág. 231-247.
- LANDIVAR, J.A. 1991. Physiological characteristics affecting the performance of cotton cultivars in different environments. vol. 1. In. D.J. Herber, D.A. Richter (Eds.) 1991

Proceedings Beltwide Cotton Conferences, National Cotton Council of America, Memphis, Tnn. USA. pág. 97-99.

LANDIVAR, J.A., y BENEDICT, J.H. 1996. Monitoring system for the managements of cotton growth and fruiting. Agricultural Research and Extension Center, Corpus Christi. Texas Agric. Exp. Station, Texas A&M University System. Bulletin B-2, pág. 15.

LANDIVAR, J.A., R de MACÊDO VIEIRA, N.E. de MACÊDO BELTRÃO. 1999. Cap.XIX. monitoreamento do algodoeiro, volumen 1. En: N.E- de Macêdo Beltrão (Ed.) O agronegocio de algodão no Brasil. EMBRAPA Comunicação para Tranferência de Tecnologia, Brasilia, DF, Brasil. pág. 475-491

LANDIVAR, J.A.; REDDY, K.R. y HODGES, H.F. 2010. Physiological simulation of cottongrowth and yield. In: Stewart, J., Oosterhuis, D.M., Heitholt, J.J., Mauney, J. (Eds.), Physiology of Cotton. Springer, New York. pág. 319–331.

LOOMIS, R.S. y CONNOR, D.J. 2002. Ecología de los cultivos. Productividad y manejo de sistemas agrícolas. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, Esp. pág. 591.

LV, F.; LIU, J.; MA, Y.; CHEN, J.; KEYOUMU-ABUDEREZIKEKEY, A. y WANG, Y. 2013. Effect of shading on cotton yield and quality on different fruiting branches. Crop Science. 53, pág. 2670–2678.

MARANI, A. y LEVI, D. 1973. Effect of soil moisture during stages development on growth and yield of cotton plants. Agronomy Journal 65. pág. 637-641.

MARIN, B. y VIEIRA DA SILVA, J.B. 1972. Effect of water stress on distribution of RNA in cell of cotton leaves. Physiologia Plantarum 27. pág. 150-155.

MARUR, C.J. y RUANO, O.A. 2001. A reference system for determination of cotton plant development. Revista de Oleaginosas y Fibras, Campina Grande, vol. 5, N°2, pág. 243-247.

Mc ARTHUR, J.A.; HESKETH, J.D. y BAKER, J.D. 1983. Algodón, Cap. 10, En: EVANS, L.T. Fisiología de los cultivos. Editorial Hemisferio Sur. pág. 321-344.

Mc MICHAEL, B. L. 1979. Influence of plant wáter stress on flowering and fruiting of cotton.
In: Proc. Beltwide Cotton Prod. Res. Conf. National Cotton Council, Memphis, Tenn. pág.
301-302.

Mc MICHAEL, B. L. y GUINN, G. 1980. The effects of moisture déficit on square shedding.
In: Proc. Beltwide Cotton Prod. Res. Conf. National Cotton Council, Memphis, Tenn. Pág.
38.

Mc MICHAEL, B. L.; JORDAN, W.R. y POWELL, R.D. 1973. Abscission processes in cotton:
induction by plant wáter déficit. *Agronomy Journal. 65. pág. 202-204.*

MONDINO, M.H. 2000. Efecto del distanciamiento entre surcos y la densidad de plantas
sobre el desarrollo, crecimiento y rendimiento de dos variedades de algodón. Tesis Magister
Scientiae. Convenio Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata-
Estación Experimental Agronómica, INTA Balcarce. pág.95.

MONDINO, M. y PETERLIN, O. 2005. Efectos de la densidad de plantas sobre la
productividad de algodones sembrados a en surcos distanciados a 0,50 m. En: Sosa, M.A.
y O. Peterlin (Eds.) Informe de Avance N° 1, 2ª Reunión Anual del Proyecto Nacional
Algodón. Ediciones INTA. Pág. 34-37.

MONDINO, M. y PETERLIN, O. 2006. Cultivos Industriales 1ª ed. Buenos Aires: Universidad
de Buenos Aires. Ed. Facultad de Agronomía. Cap. 3.3 pág. 371-379.

MONDINO, M. y LOZANO CORONEL, A. 2015. Ordenamiento espacial de las plantas de
algodón y su influencia sobre la evolución de la eficiencia de intercepción de la radiación y
el índice de área foliar. En: Ciencia y tecnología de los cultivos industriales. Año 5 N°8.
ISSN: 1853 – 7677. Pág.72.

MONDINO, M.H.; PETERLIN, O. y GARAY, F. 1999. Manejo del largo de entrenudo sobre
el tallo principal de las plantas de algodón (*Gossypium hirsutum*) para optimizar los
rendimientos. IV Jornada sobre estrategias para el mapeo de plagas del algodón:
Recomendaciones campaña 1999-2000. FAA-UNSE. pág. 5.

MONDINO, M.; GOMEZ, N. y PETERLIN, O. 2006. Efectos de la densidad de plantas sobre la productividad de dos cultivares de algodón con diferentes tipos de hoja sembrados en surcos distanciados a 0,50 m. En: Sosa, M.A. y O. Peterlin (Eds.) 3ª Reunión Anual del Proyecto Nacional Algodón, Investigaciones 2004-2006, Conclusiones y Visión Futura. Ediciones INTA. pág. 106-106.

MONTEITH, J.L. 1972 Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *Journal of Applied Ecology*, 9, pág.747-766.

MORELLO, J. y RODRÍGUEZ, A. 2009. Clasificación de ambientes en áreas protegidas de las ecorregiones del chaco húmedo y chaco seco. En: El Chaco sin bosques. Ed. Jorge H. Morello y A. F. Rodríguez. 1a ed. Buenos Aires. Orientación Gráfica Editora. pág: 53-92.

MORGAN, P.W.; BEYER Jr., E. y GAUSMAN, H.W. 1968. Ethylene effects on auxin physiology. In: *Biochemistry and physiology of plant growth substance*. F. Wightman, and G. Setterfield, editors. The Runge Press, Ottawa, Canada. pág. 1255-1273.

MORGAN, P.W. y DURHAM, J.I. 1975. Ethylene-induced leaf abscission promoted by gibberellic acid. *Plant Physiology* 55. pág. 308-311.

MORGAN, P.W. y GAUSMAN, H.W. 1966. Effects of ethylene on auxin transport. *Plant Physiology* 41. pág. 45-52.

MORGAN, P.W. y HALL, W.C. 1962. Effect of 2,4-Dichlorophenoxy acetic acid on the production of ethylene by cotton and grain sorghum. *Plant Plantarum* N°15. Pág. 420-427.

MORGAN, P.W. Y W.C. HALL. 1964. Accelerated release of ethylene by cotton flowering application of indolyl 3-acetic acid. *Nature*201. pág. 99.

OSBORNE, D.J. 1974. Hormones and the shedding of leaves and bolls. *Cotton Growing Review* 51. pág. 256-265.

OOSTERHUIS, D.M. 1999. Growth and development of a cotton plant. In: CIA, E.; FREIRE, E. C.; SANTOS, W. J. dos. (Ed.). *Cultivo de algodón*. Potafos. pág. 35-55.

OOSTERHUIS, D.M. 2001. Physiology and nutrition of high yielding cotton in the USA. Inf. Agron. 95, pág. 18–24.

OOSTERHUIS, D.M. y WULLSCHLEGER, S.D. 1988. Carbon partitioning and photosynthetic efficiency during boll development. Proceeding Beltwide. Cotton Prod. Res. Conf. National Cotton Council, Memphis, Tenn. pág. 57-60.

OOSTERHUIS, D.M. y STEWARD, J.M. 2004. Physiological basis of yield and environmental adaptation in cotton. In: Nguyen, H.T., Blum, A. (Eds.), Physiology and Biotechnology Integration for Plant Breeding. Marcel Dekker, New York. pág. 363–401.

OOSTERHUIS, D.M., y ZHAO, D. 2000. Cotton responses to shade at different growth stages: growth, lint yield and fibre quality. Expl. Agric. 36. pág.27-39.

OOSTERHUIS, D.M.; BOURLAND, F.M. y TUGWELL, N.P. 1992. Basis for the nodes above white flower monitoring system. Arkansas Farm Research 41(5). pág. 3-5.

OOSTERHUIS, D.M.; BOURLAND, F.M.; TUGWELL, N.P. y COCHRAN, M.J. 1994. Terminology and concepts related to crop monitoring, maturity and defoliation. Proced. of the 1993 Cotton Res. Meeting and 1993 Summaries of Cotton Research in progress. Arkansas Agric. Exp. Station, University Arkansas Special Report 162. pág. 239-249.

PAYTAS, M.J. 2004. Eficiencia de conversión y partición de materia seca hacia destinos reproductivos en algodones con diferente distribución espacial. En: Sosa, M.A. y O. Peterlin (Eds) 2ª Reunión Anual del Proyecto Nacional de Algodón, Informe de Avance Nª1, pág. 72-75.

PAYTAS, M.J. 2004. Evolución del índice de área foliar en distintas densidades y distancias de siembra en el cultivo de algodón. En: Sosa, M.A. y O. Peterlin (Eds) 2ª Reunión Anual del Proyecto Nacional de Algodón, Informe de Avance Nª1, pág 65-68.

PAYTAS, M.J. y PLOCHUK, E.L. 2013. Algodón. Capítulo 3.3. En E. B. de la Fuente, A. Gil, P. I. Gimenez, A. G. Kantolic, M. Lopez Pereira, E. L. Ploschuk, D. M. Sorlino, P. Vilariño,

D. F. Wassner y L. B. Windauer, eds. Cultivos Industriales. Editorial Facultad de Agronomía (UBA), Buenos Aires, Argentina. pág. 411-445.

PETERLIN, O.; HELLMAN, S.; ALVAREZ, M y ACUÑA, L.R. 1995. El uso de grados días para la predicción de secuencia fenológicas del algodón. Revista de Ciencia y Tecnología. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Serie Científica N° 1. pág.57-70.

PETTIGREW, W.T. 1994. Source-to-sink manipulation effects on cotton lint yield and yield components. Agronomy Journal 86. pág.731-735.

PETTIGREW, W.T. 1995. Source-to-sink manipulation effects on cotton fiber quality. Agronomy Journal 87. pág.947-952.

PETTIGREW, W.T. 1996. Low light conditions compromise the quality of fiber produced. Proc. Beltwide Cotton Conference. pág. 1238–1239.

PINCKASOV, Y.I. y TKACHENKO, L.V. 1981. Competitive relations in assimilate consumption between different fruits of cotton plants. Soviet Plant Physiology (USA).

REEDY, K.N.; BURKE, I.C.; CLIF BOYKIN, J. y RAY WILLIFORD, J. 2009. Narrow- row cotton production under irrigated and non-irrigated environment: Plant population and lint yield. Journal of Cotton Science 13. pág. 48-55.

RITCHIE, S.W. y HANWAY, J.J. 1982. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service Ames, Iowa. Special Report N°48.

RODGERS, J.P. 1981. Cotton fruit development and abscission: fluctuations in the levels of cytokinins. Journal of Horticultural Science, 56(2), pág. 99-106.

RUBENSTEIN, B. y LEOPOLD, A.C. 1964. The nature of leaf abscission. The Quarterly Review of Biology, 39(4), pág. 356-372.

SCHNEITER, A.A. y MILLER, J.F. 1981. Description of sunflower growth stages. Crop Science 21: pág. 901-903.

SECRETARIA DE AGROINDUSTRIA, MINISTERIO DE PRODUCCIÓN Y TRABAJO. 2019. Portal de datos agroindustriales abiertos. Estadísticas. Boletín quincenal informativo del sector algodonero. <https://www.agroindustria.gob.ar/datosabiertos/>

SINOQUET, H.; MOULIA, B. y BONHOMME, R. 1991. Estimating the three-dimensional geometry of a maize crop as an input of radiation models: comparison between three-dimensional digitizing and plant profiles. *Agricultural and Forest Meteorology*, 55(3-4), pág. 233-249.

SOROUR, F.A. y RASSOUL, S.F.A. 1974. Effect of shading at different stage of growth of the cotton plant on flowering and fruiting, yield of seed cotton and earliness. *Libyan Journal of Agriculture* 3. pág. 39-43.

SIEBERT, J.D. y STEWARS, A.M. 2006. Influence of plant density on cotton response to mequiquat chloride application. *Agronomy Journal*. 98 (6) pág. 1634–1639.

TORRES BRUCHMANN, E. 1981. *Climatología general y agrícola de la Provincia de Santiago del Estero*. Universidad Nacional de Tucuman, Facultad de Agronomía y Zootecnia. San Miguel de Tucuman.

VANDERLIP, R.L. y REEVER, H.E. 1972. Growth Stages of Sorghum [*Sorghum bicolor*, (L.) Moench.]. *Agronomy Journal* 64. pág.13-16.

WALHOOD, V.T. y JOHNSON, R.E. 1976. Interception of solar radiation by a constant population of cotton plants. *Proceeding of the 30th Cotton Physiology Conference*. National Cotton Council, Memphis, Tnn. pág. 70-71.

WALHOOD, V.T.; ADDICOTT, F.T.; ELLIOT, F.C.; HOOVER, M. y PORTER, W.K. 1968. *Harvest-aid programs: principles and practices. Advances in production and utilization of quality cotton: principles and practices*. Iowa State University Press, Ames, IA, pág. 407-431.

WELLS, R. 2011. Light and the cotton plant. In: Oosterhuis, D.M. (Ed.), *Stress Physiology in Cotton*. The Cotton Foundation. Reference Book Series, 7. Cordova, Tennessee, pág. 73–84.

WELLS, R. y EDMISTEN, K.L. 2009. Narrow rows in cotton: What good are they? In: *Proceedings of the Beltwide Cotton Conference*, San Antonio, TX. 5–8 Jan. 2009. Natl. Cotton Council. Am., Memphis, TN. pág. 42.

WULLSCHLEGER, S.D y OOSTERHUIS, D.M. 1990. Photosynthetic carbon production and use by developing cotton leaves and bolls. *Crop Science* 30:1259-1264.

YEATES, S.J., KAHL, M.F; DOUGALL, A.J y MÜLLER, W.J. 2013. The impact of variable, cold minimum temperatures on boll retention, boll growth, and yield recovery of cotton. *Journal of Cotton Science*, v. 17, N°2 pág. 89-101.

ZHAO, D., y OOSTERHUIS, D.M. 1998. Cotton responses to shade at different growth stages: nonstructural carbohydrate compositions. *Crop Science* 38. pág. 1196-1203.

ZHAO, D. y OOSTERHUIS, D.M. 2000. Pix plus and mepiquat chloride effects on physiology, growth, and yield of field -grown cotton. *J. Plant Growth Regul.* 19. pág. 415–422.