



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA**

Tesis para acceder al título de Magister en Ciencias Agropecuarias

Mención: Producción Vegetal

**“RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FIBRA DE GENOTIPOS DE  
ALGODÓN (*Gossypium hirsutum* L.) EN RESPUESTA A LA  
NUTRICIÓN NITROGENADA Y ALTAS TEMPERATURAS”**

Ing. Agr. Colombo, Facundo Victorio

DIRECTOR: Ing. Agr. (PhD.) Paytas, Marcelo Javier

CODIRECTOR: Ing. Agr. (M Sc.) Zuil, Sebastián Gustavo

Río Cuarto, diciembre de 2019

RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FIBRA DE GENOTIPOS DE  
ALGODÓN (*Gossypium hirsutum* L.) EN RESPUESTA A LA  
NUTRICIÓN NITROGENADA Y ALTAS TEMPERATURAS

Ing. Agr. Facundo Victorio Colombo

DEFENSA ORAL Y PÚBLICA

Lugar y fecha:.....

Calificación:.....

JURADO

Firma:.....Aclaración:.....

Firma:.....Aclaración:.....

Firma:.....Aclaración:.....

*Mi tesis esta dedica con todo amor y cariño a mi esposa Silvina, aunque hemos pasado momentos difíciles siempre ha estado brindándome su comprensión, cariño y amor.*

*A mis hijos Nicolás y Lucia por ser mi fuente de motivación e inspiración para poder luchar para que la vida nos depare un futuro mejor.*

*A mis padres, Néstor y Belkys que están a mi lado brindándome sus apoyo y consejos para ser mi una mejor persona.*

*A mis hermanos, Rodrigo y Fernanda que con sus palabras de aliento no me dejaron decaer para que siguiera para adelante y sea persistente.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi Director, Marcelo Paytas quien me enseñó y orientó en la planificación y ejecución.

A Sebastian Zuil, codirector de tesis que por su permanente apoyo y guía en este camino.

Mis compañeros de trabajo, Martin, Maria Inés, German y Fernando por permitirme desarrollarme tanto profesional como personalmente en este maravilloso grupo de trabajo.

A la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto por brindarme la posibilidad de continuar perfeccionándome con una oferta de posgrado de excelencia.

Agradezco al INTA por brindarme la posibilidad de realizar mis estudios de posgrado y ofrecerme los medios necesarios para la realización de este trabajo de tesis.

A Juan Manuel Martignago, compañero de maestría y gran amigo.

A Claudio, Tulio, Marcelo, y Gonzalo por su colaboración construcción de los micro invernáculos, en la realización los ensayos a campo y toma de muestras.

A Esteban Suarez, que con su excelente predisposición me ayudo en la construcción de los micro invernáculos en la localidad de Tostado.

A Juan Paredes, Matías Bisonard, Natalia Ingaramo, Marcos Barbona, Cecilia Nasser, Laura Reggi y a mis compañeros de maestría que hicieron del cursado un lugar agradable y de risas.

Finalmente a todas las personas que se cruzaron en este camino y que me dieron palabras de aliento y apoyo.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL .....	V
ÍNDICE DE TABLAS .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS .....	XI
RESUMEN .....	VI
ABSTRACT .....	VII
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Producción e importancia económica del cultivo de algodón .....	1
1.2 Ciclo ontogénico del cultivo de algodón .....	2
1.3 Efectos de la temperatura sobre los cultivos.....	3
1.4 Efectos de las altas temperaturas en el cultivo de algodón.....	5
1.5 Efectos de la nutrición nitrogenada .....	6
1.6 Justificación .....	9
1.7 Hipótesis .....	9
1.8 Objetivo general.....	10
1.9 Objetivos específicos .....	10
CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
2.1 Características ambientales.....	11
2.2 Diseño experimental y tratamientos.....	12
2.3 Descripción de las determinaciones realizadas.....	14
2.3.1 Cuantificación de los tratamientos térmicos .....	14
2.3.2 Fenología.....	15
2.3.3 Producción de biomasa aérea y partición .....	16
2.3.4 Índice de área foliar.....	16

2.3.5 Rendimiento y componentes del rendimiento.....	16
2.3.6 Parámetros de calidad de la fibra de algodón.....	17
2.3.7 Análisis de datos.....	17
CAPÍTULO 3: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	18
3.1 Condiciones ambientales durante el período de crecimiento del cultivo.....	18
3.2 Evolución de la temperatura en el interior de los micro invernáculos.....	19
3.3 Cuantificación de los tratamientos térmicos .....	22
3.4 Fenología del cultivo de algodón.....	22
3.5 Altura de planta y número de nudos .....	24
3.6 Índice de área foliar .....	26
3.7 Producción y distribución de la biomasa .....	29
3.8 Rendimiento bruto y sus componentes .....	33
3.9 Producción y retención de cápsulas .....	35
3.10 Rendimiento y calidad de fibra.....	40
CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES .....	47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	49
ANEXO .....	63

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características químicas del suelo: materia orgánica (MO), fósforo disponible (P), nitrógeno de nitratos (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ), capacidad de intercambio catiónico (CIC) hasta los 20 cm de profundidad y pH; determinadas mediante un análisis realizado en el laboratorio de suelos del INTA EEA Reconquista. Campaña agrícola 2015/2016.....	12
Tabla 2. Detalle de los estados fenológicos del cultivo de algodón según la escala adaptada por Paytas y Ploschuk, (2013).....	15
Tabla 3. Duración en días de las fases fenológicas de los genotipos DP 402 y DP 1238, según la condición térmica (C: Control; AT: Alta temperatura) en las dos localidades de evaluación (L1 y L2). Los valores corresponden al promedio de los tratamientos con y sin fertilización. Campaña agrícola 2015/2016. ....	24
Tabla 4. Altura (cm) y cantidad de nudos por planta en genotipos de algodón (DP 402 y DP 1238) para los diferentes tratamientos (sin fertilización “SF”; con fertilización “CF”; control “C” y alta temperaturas “AT”) en dos localidades de evaluación (Reconquista “L1”; Tostado “L2”). Campaña agrícola 2015/2016.....	25
Tabla 5. Índice de área foliar (IAF) en dos genotipos de algodón (DP 402 y DP 1238), según tratamientos (sin fertilización “SF”; con fertilización “CF”; control “C” y alta temperaturas “AT”) en dos localidades de evaluación (Reconquista “L1”; Tostado “L2”) en floración (F) al inicio (a) y final (b) de los tratamientos térmicos y floración efectiva (FE). Campaña agrícola 2015/2016.....	28
Tabla 6. Materia seca total (MST, g.m <sup>-2</sup> ), de órganos vegetativos (OV) y reproductivos (OR) para dos genotipos de algodón (DP 402 y DP 1238) sometidos a diferentes tratamientos (sin fertilización “SF”; con fertilización “CF”; control “C” y alta temperaturas “AT”) en dos localidades de evaluación (Reconquista “L1”; Tostado “L2”). Campaña agrícola 2015/2016.....	30
Tabla 7. Rendimiento bruto (g.m <sup>-2</sup> ), número de cápsulas (N°.m <sup>-2</sup> ) y peso de cápsula (g.m <sup>-2</sup> ) para dos genotipos de algodón (DP 402 y DP 1238) sometidos a diferentes tratamientos (sin fertilización “SF”; con fertilización “CF”; control “C” y alta	

temperaturas “AT”) en dos localidades de evaluación (Reconquista “L1”; Tostado “L2”). Campaña agrícola 2015/2016.....	34
Tabla 8. Total de sitios fructíferos y porcentajes de cápsulas por planta a madurez fisiológica del cultivo en los tratamientos sin fertilización (SF), con fertilización (CF), sin episodios de alta temperaturas (C) y con episodios de alta temperatura (AT) para los genotipos DP 1328 y DP 402 en L1 (Reconquista) y L2 (Tostado).....	36
Tabla 9. Rendimiento (g.m <sup>-2</sup> ) y porcentaje de fibra (%) para los genotipos DP 1328 y DP 402 según la fertilización (SF, sin fertilización y CF, con fertilización) y condición térmica (C, control y AT, alta temperatura) en las L1 (Reconquista) y L2 (Tostado). Campaña agrícola 2015/2016. ....	41
Tabla 10. Valores de calidad de fibra para los genotipos DP 1328 y DP 402 según los tratamientos (sin fertilización (SF), con fertilización (CF), sin episodios de alta temperaturas (C) y con episodios de alta temperatura (AT) en las L1 (Reconquista) y L2 (Tostado). Campaña agrícola 2015-2016. ....	43

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema del ciclo ontogénico del cultivo de algodón. Se representa la morfología en algunos estados de desarrollo según la escala adaptada por Paytas y Ploschuk, (2013).....	3
Figura 2. Ubicación geográfica de las localidades donde se realizaron los estudios. ....	11
Figura 3. Evolución de las temperaturas media y máxima mensuales del aire (A y B); y las precipitaciones mensuales (C y D) durante los meses en que se desarrolla el ciclo del cultivo de algodón en L1 (A y C) y L2 (B y D). Campaña agrícola 2015/2016. ....	18
Figura 4. Radiación global ( $Mj.m^{-2}$ ) durante el periodo de utilización de los micro invernáculos en ambos sitios experimentales. Condición térmica Control (C) y alta temperatura (AT). Campaña agrícola 2015/2016.....	19
Figura 5. Evolución de las temperatura horaria del aire en el interior de los micro invernáculos (AT) y en el control (C) en L1 (A) y L2 (B). Campaña agrícola 2015/2016. ....	20
Figura 6. Evolución de las temperaturas máximas ( $T_{máx}$ ) y mínimas ( $T_{mín}$ ) diarias del aire en el interior de las micro invernáculos (AT) y del control (C) en L1 (A) y L2 (B). Campaña agrícola 2015/2016.....	21
Figura 7. Evolución de la humedad relativa del aire en el interior de las micro invernáculos (AT) y en el control (C), L1 (A) y L2 (B). Campaña agrícola 2015/2016.22	
Figura 8. Duración promedio de las fases fenológicas en grados días (GD) para los genotipos de algodón DP 402 y DP 1238. Los datos de GD corresponden al promedio de la duración del ciclo en ambas localidades.....	23
Figura 9. Materia seca de órganos reproductivos (MSOR, $g.m^{-2}$ ) en función de la materia seca total (MST, $g.m^{-2}$ ). Los genotipos de algodón DP 402 (■) y DP 1238 (◆)	

para los tratamientos F C (azul), SF C (rojo), F AT (amarillo), SF AT (verde) Los datos corresponden al promedio para las dos localidades. Campaña agrícola 2015/2016. .... 32

Figura 10. Porcentaje de retención de cápsulas al momento de la cosecha según la posición (P1, P2 y P3) dentro de las ramas reproductivas para los genotipos de algodón DP 1238 y DP 402 según el factor fertilización (sin fertilización “SF”; con fertilización “CF”) y condición térmica (control “C” y alta temperaturas “AT”) en L1 (A y B) y L2 (C y D). Campaña agrícola 2015/2016..... 39

Figura 11. Cultivo de algodón en etapas vegetativas previo a la fertilización nitrogenada. .... 63

Figura 12. Cultivo de algodón sometido a episodios de alta temperatura. .... 63

Figura 13. Plantas de algodón al momento del mapeo de las estructuras vegetativas y reproductivas. .... 63

Figura 14. Sensor del Data logger en el interior de los micro invernáculos..... 64

Figura 15. Medición del área foliar. .... 64

Figura 16. Genotipos de algodón (DP 1238 BGRR y DP 402 BGRR) previo a la cosecha..... 64

Figura 17. Proceso de desmotado de las muestras de algodón..... 65

Figura 18. Peso de las muestras de algodón desmotado en el laboratorio..... 65

## LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

<b>%:</b> porcentaje	<b>HVI:</b> High Volume Instrument
<b>':</b> arco minuto	<b>IAF:</b> índice de área foliar
<b>”:</b> arco segundo	<b>INTA:</b> Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
<b>°:</b> grados	<b>kg:</b> kilogramos
<b>°C:</b> grados Celsius	<b>L1:</b> localidad 1
<b>°Cd:</b> grados días	<b>L2:</b> localidad 2
<b>µm:</b> micrón	<b>LDS:</b> diferencia mínima significativa
<b>AT:</b> alta temperatura	<b>M.O.:</b> materia orgánica
<b>BG:</b> Bollgard	<b>m:</b> metros
<b>CV:</b> coeficiente de variación	<b>m<sup>2</sup>:</b> metros cuadrados
<b>C:</b> control	<b>mm:</b> milímetros
<b>CF:</b> con fertilización	<b>MS:</b> materia seca
<b>CIC:</b> capacidad de intercambio catiónico	<b>N:</b> nitrógeno
<b>cm:</b> centímetros	<b>N:</b> norte
<b>cm<sup>2</sup>:</b> centímetros cuadrados	<b>N-NO<sub>3</sub>:</b> nitrógeno en forma de nitratos
<b>Dpto:</b> departamento	<b>Nº:</b> número
<b>Ec:</b> ecuación	<b>NS:</b> no significativo
<b>EEA:</b> Estación Experimental Agropecuaria	<b>O:</b> oeste
<b>F:</b> floración	<b>P:</b> fósforo
<b>FE:</b> floración efectiva	<b>P1:</b> cápsula en la primera posición
<b>g:</b> gramos	<b>P2:</b> cápsula en la segunda posición
<b>g/tex:</b> gramos fuerza por textil	<b>P3:</b> cápsula en la tercera posición
<b>GD:</b> grados días	<b>pH:</b> grado de acidez o basicidad de una solución
<b>ha:</b> hectárea	<b>pl:</b> planta

**ppm:** parte por millón

**MSOR:** materia seca órganos reproductivos

**MJ.m<sup>-2</sup>:** Mega Joule por metro cuadrado

**MST:** materia seca total

**OV:** órganos vegetativos

**OR:** órganos reproductivos

**p:** nivel de significación

**RR:** Roundup Ready

**S:** sur

**SF:** sin fertilización

**Tb:** temperatura base

**Tmáx:** temperatura máxima

**Tmín:** temperatura mínima

**Tx:** temperatura media horaria

**TTs:** temperaturas acumuladas estresantes.

**Ug/Inch:** microgramos por pulgada

**vs:** versus

## RESUMEN

El algodón es el principal cultivo destinado para la producción de fibra vegetal textil en el mundo. El incremento de la temperatura, debido al cambio climático, tendrá un importante impacto negativo en la producción de algodón. Los episodios de altas temperaturas durante etapas críticas del cultivo disminuyen el rendimiento. Sin embargo, son escasos los estudios que evalúan los mecanismos ecofisiológicos que determinan la partición reproductiva, la generación del rendimiento y calidad de fibra de algodón en condiciones de estrés abiótico y fertilización nitrogenada. El objetivo de este estudio fue determinar el crecimiento y desarrollo de genotipos de algodón sometidos a incrementos de temperatura durante el inicio de la etapa reproductiva para dos condiciones de fertilización nitrogenada. Para ello, en dos sitios (Reconquista (L1) y Tostado (L2)), dos genotipos (DP 402 y DP 1238) fueron evaluados ante la combinación de dos niveles de fertilización (sin y con aplicación de 46 kg.ha<sup>-1</sup> de nitrógeno) y dos condiciones térmicas (control y alta temperatura) durante la etapa de floración. Se determinó fenología, producción de biomasa aérea y partición, rendimiento y sus componentes y parámetros de calidad de fibra. La temperatura máxima promedio durante los episodios térmicos fue 5°C superior con respecto al control. Los tratamientos con altas temperaturas, en ambos genotipos, redujeron la duración del ciclo del cultivo en 6 días. El incremento de la temperatura redujo el rendimiento bruto un 37,9 y 22,5% en (L1) y (L2), respectivamente. La cantidad de cápsulas en la primera posición disminuyó en con altas temperaturas, siendo mayor en el genotipo DP 1238 (22%) comparativamente con DP 402 (5%). El genotipo DP 402 tuvo mayor resistencia de la fibra en un 17,8 y 5 % en L1 y L2, respectivamente.

**Palabras claves:** algodón, estrés térmico, fertilización nitrogenada, índice de área foliar, retención de cápsulas, relación reproductiva - vegetativa.

## ABSTRACT

Cotton is the main crop destined for the production of textile vegetable fiber in the world. The increase in temperature, due to climate change, will have a significant negative impact on cotton production. High temperature episodes during critical stages of the crop decrease yield. However, there are few studies that evaluate the ecophysiological mechanisms that determine the reproductive partition, the generation of yield and quality of cotton fiber under conditions of abiotic stress and nitrogen fertilization. The objective of this study was to determine the growth and development of cotton genotypes subjected to temperature increases during the beginning of the reproductive stage for two nitrogen fertilization conditions. To do this, at two sites (Reconquista (L1) and Tostado (L2)), two genotypes (DP 402 and DP 1238) were evaluated for the combination of two levels of fertilization (without and with application of 46 kg.ha<sup>-1</sup> of nitrogen) and two thermal conditions (control and high temperature) during the flowering stage. Phenology, production of aerial biomass and partition, yield and its components and fiber quality parameters were determined. The average maximum temperature during the episodic thermal was 5 ° C higher than the control. High temperature treatments, in both genotypes, reduced the duration of the crop cycle by 6 days. The increase in temperature reduced the gross yield by 37.9 and 22.5% in (L1) and (L2), respectively. The number of capsules in the first position decreased in high temperatures, being greater in DP 1238 genotype (22%) compared to DP 402 (5%). DP 402 genotype had higher fiber resistance by 17.8 and 5% in L1 and L2, respectively.

**Key words:** cotton, heat stress, nitrogen fertilization, leaf area index, bolls retention, vegetative reproductive relationship.

## CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

### 1.1 Producción e importancia económica del cultivo de algodón

El algodón (*Gossypium hirsutum* L.) es un cultivo característico de áreas tropicales, pero más del 50% de los campos cultivados a nivel mundial se desarrolla en regiones con clima subtropical y templado (Freeland *et al.*, 2006) localizándose principalmente en la banda comprendida entre 37° latitud N y 32° latitud S; aunque extendido también a 45° latitud N en China (Chaudhry y Guitchounts, 2003).

Se cultiva en 110 países (Smith, 1995) y la superficie sembrada estimada supera los 32 millones de hectáreas; aproximadamente el 2,4% del área cultivable en el mundo está destinada al algodón (Blaise, 2006). Los principales países productores a nivel mundial son China, India, Estados Unidos y Pakistán; los mayores exportadores Estados Unidos, Uzbekistán y Australia, mientras que los mercados importadores son esencialmente China, Turquía e Indonesia. En Sudamérica, Brasil y Argentina son los mayores productores de algodón (Sauer *et al.*, 2015).

El algodón es el principal cultivo en el mundo para la producción de fibra natural, constituye una parte vital de la agricultura mundial y es un componente fundamental de la economía de muchos países (desarrollados y en desarrollo) en los que representa fuente de empleo para millones de personas que intervienen a lo largo del proceso de producción, industrialización y comercio (FAO, 2005).

En Argentina, la producción algodonera es una de las actividades socio-económica más importante en el norte del país, sembrándose en zonas de secano (85-90%) y de regadío (10-15%) principalmente en las provincias de Santiago del Estero, Chaco, Santa Fe y Formosa (Poisson *et al.*, 2006). El norte de Santa Fe tuvo una notable expansión en los últimos años, con un registro de 10.500 hectáreas sembradas en la campaña agrícola 2007/2008 a 92.600 hectáreas en la campaña 2014/2015, registrándose en la zona del departamento 9 de Julio el 77% de la superficie sembrada (Gregoret, 2015). En la campaña 2017/2018, se registraron 83.340 hectáreas en el norte santafesino (Gregoret, 2018).

El área de siembra y la producción de fibra de algodón se han incrementado en los últimos 10 años en Argentina (Sauer *et al.*, 2015). Sin embargo, la tasa de incremento del rendimiento de fibra por unidad de superficie, es menor con relación a los

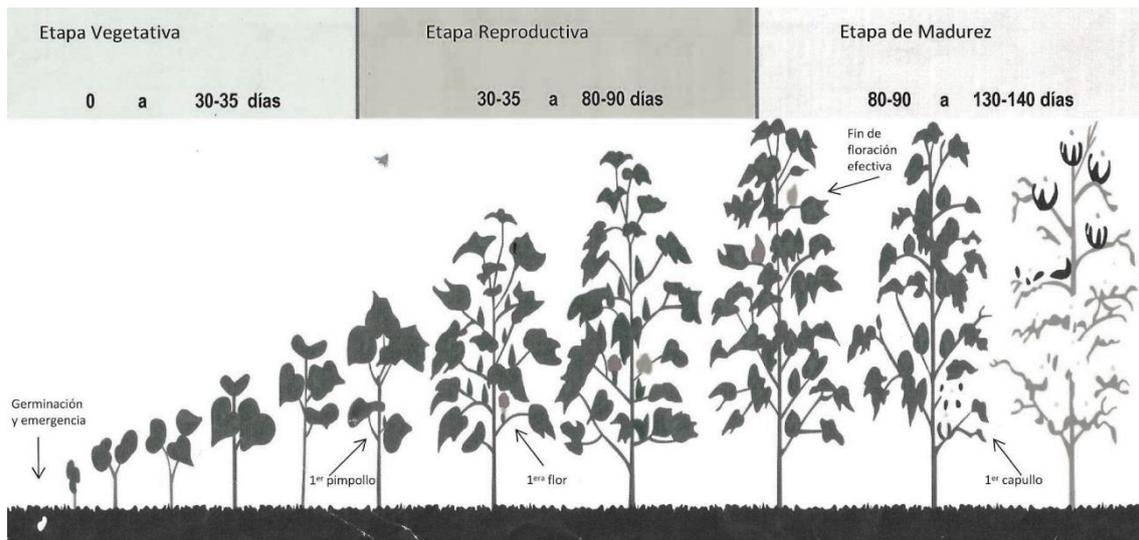
principales países productores, generando una fase de meseta en el progreso de los rendimientos de fibra (Tcach *et al.*, Comunicación personal). No existe una sola sino varias causas para explicar este proceso. Entre ellas, pueden mencionarse una pérdida gradual en la variabilidad de la especie, elevada irregularidad en la oferta de los recursos (agua, radiación y nutrientes) y la ocurrencia de episodios de altas temperaturas combinadas con otros estreses (Tcach *et al.*, 2015). En las siguientes secciones se resume el estado actual del conocimiento sobre los efectos de las temperaturas elevadas y de la nutrición nitrogenada sobre el rendimiento del cultivo de algodón.

## **1.2 Ciclo ontogénico del cultivo de algodón**

El algodón es una planta perenne, adaptada a condiciones de cultivo anual. En condiciones favorables de agua y nutrientes, los estados fenológicos están controlados principalmente por la temperatura, factor principal que conduce el progreso del cultivo y determina su rendimiento (Constable, 1977).

La clave fenológica del algodón (Figura 1), es una descripción morfológica del cultivo independiente del genotipo utilizado y de condiciones tales como el sitio, la fecha de siembra y densidad ya que tiene en cuenta los cambios morfológicos ocurridos en el 50% de las plantas del cultivo. La etapa vegetativa comienza con la emergencia del cultivo y se prolonga hasta la aparición del primer pimpollo. En la etapa reproductiva; se diferencian dos fases: i) primer pimpollo a primera flor y ii) de primera flor a fin de floración efectiva (cuando por encima de la última flor blanca en primera posición sólo hay cinco nudos). Por último, la etapa de madurez, también se divide en dos fases: i) fin de floración efectiva a primera cápsula abierta y ii) de primera cápsula abierta a 60% de cápsulas abiertas (Paytas y Ploschuk, 2013).

El algodón necesita acumular una cierta cantidad de unidades térmicas, considerando temperaturas por encima de la temperatura base (12°C), para que se cumplan las etapas de su desarrollo (Constable y Shaw, 1988). De este modo, la acumulación térmica se expresa en grados-día y puede calcularse progresivamente durante el período de cultivo, constituyendo un excelente estimador de su desarrollo que permite predecir la secuencia fenológica del cultivo de manera más adecuada que los días calendario (Landivar y Hake, 1998).



**Figura 1:** Esquema del ciclo ontogénico del cultivo de algodón. Se representa la morfología en algunos estados de desarrollo según la escala adaptada por Paytas y Ploschuk, (2013).

### 1.3 Efectos de la temperatura sobre los cultivos

La temperatura es uno de los factores ambientales que tiene incidencia en los procesos de crecimiento y desarrollo de los cultivos (Andrade y Sadras, 2009). Cada especie tiene un rango de temperatura representado por un valor mínimo ( $T_b$ ), otro máximo ( $T_m$ ) y uno óptimo ( $T_o$ ) (Hatfield *et al.*, 2011). Estas temperaturas varían con las etapas fenológicas de los cultivos (Reynolds *et al.*, 2001) y de los procesos fisiológicos involucrados (Stone, 1999). El momento y la velocidad con la que se inician y diferencian los órganos vegetativos y reproductivos pueden ser generalmente bien descritos con el modelo de tiempo térmico (Bonhomme, 2000). Según este modelo, en el rango de temperaturas comprendidos entre  $T_b$  y  $T_o$  (rango óptimo), la tasa de desarrollo incrementa linealmente (Luo, 2011). Dentro de ese rango, el tiempo térmico representa la inversa de la pendiente de la relación entre la tasa de desarrollo (en  $\text{día}^{-1}$ ) y la temperatura (Monteith, 1984). Tiene unidades de grados.día ( $^{\circ}\text{Cd}$ ) y se calcula como los valores diarios acumulativos de la diferencia entre temperatura media diaria y  $T_b$ . La tasa de desarrollo representa la relación entre el desarrollo del cultivo (es decir, el logro de una etapa determinada) y el requisito de tiempo para alcanzar una etapa (Trudgill *et al.*, 2005). Si la temperatura ambiente es inferior a la  $T_b$  o superior a  $T_m$ , el desarrollo se detiene o disminuye, pero sin que se vea necesariamente comprometida la supervivencia de la planta (Andrade y Sadras, 2009).

El umbral de estrés por altas temperaturas es aquél al cual se inicia una afección severa de algún proceso vital o una reducción detectable en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Chaves-Barrantes y Gutiérrez-Soto, 2017). El estrés térmico es un fenómeno complejo ya que involucra la duración, su tasa de incremento y las temperaturas máximas alcanzadas (Porch y Hall, 2013). Por otra parte, Luo (2011) señaló que las consecuencias de las temperaturas extremas en el rendimiento y sus componentes, dependen de la sensibilidad de la fase fenológica en la que se encuentra el cultivo. Asimismo, Ugarte *et al.* (2007) estudiaron en cebada, trigo y triticale, cultivados en condiciones de campo y en un ambiente con rango de temperatura de 15,7 a 16,6°C de siembra hasta antesis y de 20,2 a 22,8°C durante la antesis, que el incremento térmico durante la elongación del tallo e inicio de antesis redujo el rendimiento de grano en un 46 y 27%, respectivamente.

Los efectos de las altas temperaturas impactan en la adaptación de los cultivos y en su rendimiento, al condicionar la duración del ciclo. En trigo, episodios de altas temperaturas durante la etapa de antesis acortan el ciclo y provocan disminuciones significativas del peso final de los granos (Calderini *et al.*, 1999). Además, las altas temperaturas afectan negativamente el desarrollo y crecimiento de las plantas, la polinización y los procesos reproductivos (Klein *et al.*, 2007; Sacks y Kucharik, 2011). Cicchino *et al.* (2010) demostraron que el estrés térmico aplicado durante el crecimiento vegetativo tardío del maíz produjo un efecto negativo en todos los determinantes fisiológicos de la producción de biomasa y el rendimiento en grano. Un análisis de Schlenker y Roberts (2009) indicó que los rendimientos aumentan con la temperatura hasta 29°C para el maíz, 30°C para la soja y 32°C para el algodón, pero cuando los valores de temperaturas están por encima de estos umbrales, el rendimiento disminuye.

Es importante destacar también que breves períodos de altas temperaturas durante el llenado de granos pueden tener efectos sobre la calidad de los granos de los cultivos (Wardlaw y Wrigley, 1994). Rondanini *et al.* (2003) estudiaron que temperaturas superiores a 34°C durante la etapa de crecimiento del embrión de girasol acortaron la duración de esta etapa, reduciendo el peso final del grano y el contenido final de aceite. Hay estudios que corroboran que el grano verde en el cultivo de soja se produce por una situación de estrés térmico ocurrido durante el período de llenado de granos (Cencig, 2013).

#### **1.4 Efectos de las altas temperaturas en el cultivo de algodón**

En algodón, la temperatura debe estar comprendida entre 21-27 y 27-32°C durante el periodo de crecimiento vegetativo y de floración, respectivamente (Waddle, 1984). Este, es un cultivo de verano, pero la temperatura por encima del rango óptimo perjudica su crecimiento y reproducción (Oosterhuis, 1999). Asimismo, Khan y Sadaqat (2008) observaron que el incremento de las temperaturas en el algodón, disminuye la altura de planta y el número de nudos debido al acortamiento del período de crecimiento.

Tcach *et al.* (2015) observaron que el incremento de la temperatura máxima diaria obtenido con el uso de micro invernáculos durante la fase de floración del algodón, provoca una merma en la producción de biomasa área y en el rendimiento. De la misma manera, Cottee *et al.* (2010) observaron que episodios breves de temperaturas altas durante el inicio de pimpollado, disminuyen el rendimiento del algodón debido a una menor retención de cápsulas.

Reddy *et al.* (1991) trabajando en cámaras de crecimiento demostraron que incrementos de la temperatura hasta 40/30°C (día/noche) durante el inicio de la floración, aceleran el desarrollo, reducen la biomasa total del cultivo y el rendimiento en un 50% con respecto a las plantas cultivadas a 30/20°C (día/noche).

En condiciones de altas temperaturas, puede producirse una reducción de la relación fuente - destino que conduce a severas disminuciones en el crecimiento y rendimiento económico (Waraich *et al.*, 2012). La hoja es la principal fuente para generar el rendimiento; ya que intercepta la radiación solar y permite la conversión fotosintética de la energía radiante en energía química; para fijar el dióxido de carbono en asimilaciones fotosintéticas esenciales para el desarrollo y crecimiento de los destinos (Andrade y Sadras, 2009). Reddy *et al.* (1992) concluyeron que el algodón cultivado bajo condiciones de alta temperatura mostró una reducción del área foliar, reportando un tamaño de canopia más reducido y hojas individuales más pequeñas.

Las flores y los frutos constituyen la otra parte de la ecuación de rendimiento, aunque otros puntos de crecimiento vegetativo pueden funcionar como destinos secundarios y provocar el rebrote y crecimiento de nuevas hojas y ramas (Pettigrew, 2012).

Los procesos reproductivos son afectados negativamente cuando la temperatura supera los 33°C (Reddy *et al.*, 1991). La etapa de floración del algodón es el período de mayor sensibilidad a las temperaturas máximas diarias (Reddy, 1996). Zeiher *et al.* (1995)

demonstraron que el número de flores y de cápsulas disminuye con el incremento de la temperatura por encima de 30°C. En estudios realizados en cámara de crecimiento, se observaron modificaciones en el crecimiento por efectos de las altas temperaturas. Así, las temperaturas mayores a 30/20°C (día/noche) durante etapas tempranas de la floración del algodón disminuyeron la biomasa de partes reproductivas en relación al peso seco total, debido a la alta tasa de abscisión de las cápsulas (Reddy *et al.*, 1991). Por otra parte, Bange y Milroy (2000) observaron que la abscisión de las cápsulas disminuye, en los genotipos de algodón que acumulan mayor materia seca total previo al inicio de la etapa reproductiva, debido a que aumentan la disponibilidad de fotoasimilados para retener órganos reproductivos.

Morris (1964) demostró que la temperatura alta durante la etapa reproductiva acorta el período de maduración lo cual produce cápsulas con menos peso, acelera la precocidad y afecta la calidad de la fibra del algodón (Reddy *et al.*, 1999). Krieg (2002) informó que las temperaturas más cálidas de la noche aumentaron el micronaire de la fibra, y Meredith (2005) encontró que las temperaturas más altas dieron como resultado fibras más cortas.

De acuerdo con investigaciones previas, la tolerancia a altas temperaturas en el algodón es genotípica (Snider *et al.*, 2009). Los genotipos con menor tolerancia al estrés térmico cultivados en condiciones de campo, presentaron menor altura, número de ramas simpodiales y retención de cápsulas en la primera posición (Akhtar *et al.*, 2013; Zeeshan *et al.*, 2010; Ekinci *et al.*, 2017). Estos resultados demuestran la importancia de las altas temperaturas sobre la definición de los componentes del rendimiento.

Se prevé que el acrecentamiento de la temperatura debido al cambio climático (IPCC, 2007), causará pérdidas sustanciales en la productividad del cultivo de algodón (Al-Khatib y Paulsen, 1999), por lo que es importante identificar y desarrollar técnicas de manejo que atenúen las consecuencias negativas de las altas temperaturas (Singh *et al.*, 2004).

### **1.5 Efectos de la nutrición nitrogenada**

El crecimiento de los cultivos es afectado por la disponibilidad de nutrientes minerales. El nutriente que, en mayor medida, condiciona el crecimiento y el rendimiento de los cultivos es el nitrógeno (Echeverría y García, 2014). Dicho nutriente debe estar bien provisto en cantidad y oportunidad para asegurar un óptimo estado fisiológico de los

cultivos durante los periodos críticos de definición del rendimiento (Clarkson, 1985; Wild *et al.*, 1987).

Cuando los requerimientos nutricionales no son satisfechos, se resiente el área foliar y la eficiencia fotosintética por lo que la tasa de crecimiento del cultivo se reduce (Uhart y Andrade, 1995). En maíz y girasol este efecto se explica principalmente por disminuciones en el tamaño de hojas, más que en su número (Trápani y Hall, 1996). En soja y trigo, además, se reduce marcadamente el número de hojas por unidad de superficie, pues decae la producción de ramas o macollos respectivamente (Novoa y Loomis, 1981).

El cultivo de algodón requiere, a lo largo de su ciclo, una dotación suficiente y equilibrada de nutrientes minerales. Éstos desempeñan distintas funciones en la planta y cuando están presentes en cantidades insuficientes o excesivas, pueden producir alteraciones o reducir el crecimiento y la producción (Echeverría y García, 2014).

El nitrógeno es un nutriente esencial para el crecimiento del algodón, requerido para el desarrollo del área foliar y la fotosíntesis (Wadleigh, 1944; Bondada *et al.*, 1996). El suministro deficiente de nitrógeno producirá pocas hojas en la planta, lo que reducirá la fotosíntesis y la formación de azúcares para la formación y maduración de las cápsulas y la altura de la planta (Ali, 2015). Por lo tanto, una insuficiencia de nitrógeno durante el periodo crítico, que se extiende desde primer pimpollo hasta floración efectiva, puede reducir el rendimiento (Gerik *et al.*, 1998). Al contrario, el exceso de nitrógeno promueve el crecimiento vegetativo a expensas de la producción fructífera, produciendo el derrame de pimpollos y pequeñas cápsulas retrasando la maduración (Halevy y Bazelet, 1992; Hons *et al.*, 2004).

La cantidad adecuada de nitrógeno durante el crecimiento de la planta proporciona hojas con capacidad fotosintética necesaria para apoyar el crecimiento de los componentes reproductivos (Bondada y Oosterhuis, 2001; Zhang *et al.*, 2002).

En la región algodonera del Chaco en Argentina, la fertilización con 50 kg de nitrógeno por hectárea aplicados a los 30 días de la siembra en secano, genera incrementos de 400 a 450 kg por hectárea de fibra de algodón en bruto respecto al testigo sin fertilizar (Bianconi, 2008).

Mondino *et al.* (2005) reportaron que la aplicación de 50 kg de nitrógeno por hectárea de un fertilizante a base de urea, en un cultivo de algodón irrigado, produjo un aumento

de la biomasa total por unidad de superficie y del rendimiento, a través del incremento en el número de cápsulas por unidad de superficie y del peso de las mismas. Además, con esta dosis de nitrógeno se observó que el cultivo es más eficiente en la conversión de cada kilogramo de fertilizante en kilogramos de algodón en bruto. Sin embargo, en condiciones de secano, las deficiencias hídricas durante la etapa de crecimiento y desarrollo de las cápsulas condicionan la respuesta a la aplicación de fertilizante nitrogenado en la fase de pimpollado (Ingaramo *et al.*, 2006).

Otro aspecto importante de la nutrición con nitrógeno es su efecto sobre el rendimiento y calidad de la fibra. Clawson *et al.* (2006) reportaron que la aplicación de nitrógeno produce un incremento en el rendimiento de fibra. El nitrógeno mejora la capacidad fotosintética favoreciendo la retención de cápsulas, el peso de la cápsula individual, el rendimiento y la calidad de la fibra (Ali y Hameed, 2011).

Fritschi *et al.*, (2003) y Read *et al.*, (2006) señalan que la fertilización con nitrógeno afecta significativamente la calidad de la fibra de algodón. Rochester *et al.* (2001) indicaron que la longitud y la resistencia de la fibra generalmente aumentaron con el incremento de nitrógeno aplicado, mientras que se detectó una disminución en el micronaire. Sin embargo, otros estudios muestran que la fertilización con nitrógeno no afecta la longitud de la fibra, la resistencia y el micronaire (Saleem *et al.*, 2010; Seilsepour y Rashidi, 2011). Boquet (2005) informó que las características de calidad de la fibra no mejoraron a menos que se produjeran condiciones graves de deficiencia de nitrógeno.

Las diferencias en las respuestas de las características de calidad de la fibra a la fertilización con nitrógeno de un estudio a otro, están presumiblemente relacionadas a las diferencias genotípicas entre cultivares y al comportamiento ante determinadas condiciones del ambiente (Girma *et al.*, 2007). La producción y calidad de fibra del algodón está cambiando gradualmente con la introducción de cambios genéticos en los cultivares modernos. Además, los genotipos actuales poseen un mayor potencial de rendimiento debido una mejor eficiencia de uso de los nutrientes (Khader y Prakash, 2007; Rochester *et al.*, 2012). Las propiedades de la fibra pueden ser un fuerte componente del rendimiento ya que es un determinante importante de su precio en los mercados internacionales (MacDonald *et al.*, 2010).

Las investigaciones proveen información de cómo la aplicación de nitrógeno acentúa la fuente disponible, por lo tanto, el aumento de la fotosíntesis y la formación de fotoasimilados para el desarrollo y el llenado de cápsulas. Como hemos estado comentado, el efecto de las altas temperaturas disminuye la fuente y/o destinos debido a los efectos directos e indirectos del estrés térmico. Sin embargo, se desconoce cuáles es la relación en el balance de fuente-destino en cultivo de algodón suplementado con nitrógeno sometidos a condiciones de alta temperatura.

## **1.6 Justificación**

En un contexto de cambio climático, es esperable que se acentúe el aumento de la temperatura debido a la mayor concentración de gases de efecto invernadero (IPCC, 2007). Meehl *et al.* (2007) prevén que la temperatura se incremente 2 a 3°C los próximos 30 o 50 años y que los episodios de altas temperaturas se intensifiquen, sean más frecuentes y duren más de lo que se está observando en los últimos años. Las altas temperaturas se consideran un estrés ambiental que influye sobre los rendimientos de los cultivos (Alward *et al.*, 1999). El conocimiento de esos efectos ayudará a predecir las consecuencias agronómicas del calentamiento global asociado a gases de efecto invernadero, y a garantizar la sostenibilidad de la agricultura (Hatfield *et al.*, 2011).

La exposición a los cambios de temperatura afectará a todas las especies de manera diferente, debido a su respuesta única que cada una tiene frente a la temperatura (Hatfield *et al.*, 2011). En algodón es sabido que temperaturas máximas diurnas por encima de 30°C afectan el tamaño y actividad de la fuente disponible durante el periodo de floración y formación de cápsulas (Bange y Milroy, 2000, Reddy *et al.*, 1991). Sin embargo, se desconoce si un incremento en la actividad de la fuente, mediante la aplicación de fertilizante nitrogenado, afecta la sensibilidad del cultivo de algodón a las altas temperaturas. Comprender las respuestas de las plantas a temperaturas elevadas es esencial para brindar información a programas de mejoramiento genético para el desarrollo de cultivares con tolerancia térmica (Singh *et al.*, 2007).

## **1.7 Hipótesis**

Ante un episodio de estrés por altas temperaturas durante la etapa reproductiva del cultivo de algodón, los genotipos fertilizados con nitrógeno en prefloración producen

mayor rendimiento y alcanzan mejores parámetros de calidad de fibra respecto a aquéllos sin el agregado de nitrógeno.

### **1.8 Objetivo general**

Evaluar el comportamiento agronómico de genotipos de algodón de ciclo diferente ante un episodio de estrés por altas temperaturas durante la etapa reproductiva, y a la aplicación de fertilizante nitrogenado sobre los procesos vinculados con la generación del rendimiento y la calidad de fibra.

### **1.9 Objetivos específicos**

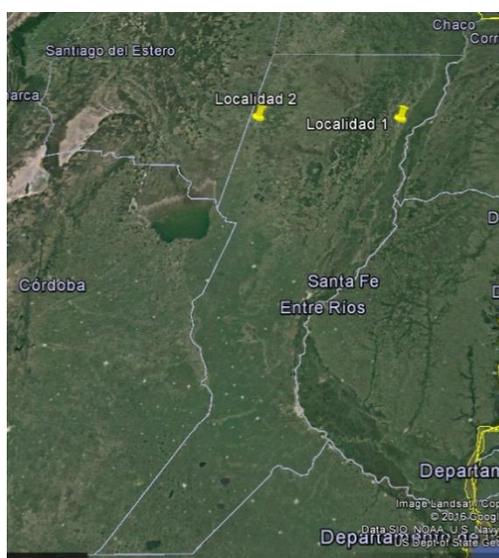
Frente a eventos de alta temperatura durante el inicio de la fase reproductiva, en cultivos de algodón con dos niveles de fertilización nitrogenada, se propone:

- Examinar el desarrollo fenológico, el crecimiento de estructuras vegetativas y reproductivas y la relación fuente–destino de asimilados.
- Evaluar la dinámica de producción y fijación de cápsulas sobre el rendimiento bruto.
- Analizar el rendimiento de fibra y los parámetros que definen la calidad de fibra de cada genotipo evaluado.

## CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Características ambientales

Los experimentos se realizaron a campo y en condiciones de secano en dos sitios agroecológicos diferentes ubicados en el norte de la provincia de Santa Fe (Figura 2). Uno de ellos, se llevó a cabo en la Estación Experimental Agropecuaria del INTA en Reconquista (en adelante L1), Dpto. General Obligado (latitud 29° 15' 51" S, longitud 59° 44' 30" O) y el otro en el campo experimental del INTA en Tostado (en adelante L2), Dpto. 9 de Julio (latitud 29° 13' 41" S, longitud 61° 47' 17" O).



**Figura 2.** Ubicación geográfica de las localidades donde se realizaron los estudios.

En L1 el suelo corresponde a un Arguiduol ácuico, serie Reconquista, con capacidad de uso de las tierras media-alta. En L2 el suelo es un Natracualf típico, serie Monigotes, alcalino a menos de 50 cm de profundidad y con baja capacidad de uso de las tierras (Giorgi *et al.*, 2009). Estos suelos se caracterizan por ser de textura franca limosa, con drenaje superficial deficiente y baja permeabilidad (Espino *et al.*, 1983). Para ambos sitios, el análisis de suelo (Tabla 1) realizado previo a la siembra del cultivo presentó un adecuado contenido de nitrógeno de nitratos, CIC y de pH (Gambaudo y Fontanetto, 2009). El contenido de materia orgánica mostró un valor muy bajo en L1 y adecuado en L2. En L1, a diferencia de L2, presentó un bajo valor del contenido de Fósforo (Bray Kurtz 1). En efecto, se realizó una fertilización con 50 kg.ha<sup>-1</sup> de fosfato diamónico (18-46-0) al momento de la siembra. El nitrógeno y el fósforo son los nutrientes aplicados con mayor frecuencia como fertilizantes arrancadores, debido a que tienen una

interacción positiva a nivel de planta. La dosis que se utilizó fue en base a estudios previos que reportan que por encima de estos valores puede haber fitotoxicidad (Fariña Nuñez, 2006).

El clima regional es subtropical húmedo y subtropical con estación seca para L1 y L2, respectivamente. Las precipitaciones promedio anual son de 1290 mm en L1 y de 800 mm en L2. La temperatura media anual, para ambos sitios, es de 20°C, las temperaturas máximas medias de los meses de enero y febrero son de 32 y 30°C, respectivamente (Espino *et al.*, 1983).

**Tabla 1.** Características químicas del suelo: materia orgánica (MO), fósforo disponible (P), nitrógeno de nitratos (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), capacidad de intercambio catiónico (CIC) hasta los 20 cm de profundidad y pH; determinadas mediante un análisis realizado en el laboratorio de suelos del INTA EEA Reconquista. Campaña agrícola 2015/2016.

Sitio	MO (%)	P (ppm)	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ppm)	CIC (ppm)	pH
L1	1,31	10,6	21,7	13,0	6,4
L2	3,47	80,6	24,5	20,8	6,4

## 2.2 Diseño experimental y tratamientos

En ambos sitios los experimentos a campo se realizaron según un diseño de bloques completos al azar, con tres repeticiones. El tamaño de cada unidad experimental (UE) fue de 4 surcos de 8 m de largo distanciados a 0,525 m entre ellos. En cada sitio, se combinaron dos genotipos de algodón, dos niveles de fertilización nitrogenada y dos condiciones de temperatura.

Las siembras se realizaron bajo el sistema de directa, el día 24 de noviembre y 2 de diciembre de 2015 en la L1 y L2, respectivamente. La densidad lograda fue de  $16 \pm 1,6$  plantas.m<sup>-2</sup>. Luego de la siembra se aplicaron herbicidas y plaguicidas para mantener el ensayo libre de malezas e insectos.

Los genotipos utilizados son actualmente variedades de uso comercial: a) DP 402, de ciclo corto y b) DP 1238, de ciclo largo. Ambos son transgénicos con tecnología BG (Bollgard) activa para la protección de ciertos insectos del orden lepidópteros y con tecnología RR (Roundup Ready) que proporciona tolerancia al herbicida glifosato (Echeverría y García, 2014). Los genotipos fueron seleccionados teniendo en cuenta la longitud de ciclo de cada uno los que representan el rango de madurez utilizado en

Argentina. Los antecedentes genéticos de ambos genotipos son similares. El comportamiento productivo y sanitario también es parecido; la diferencia entre ellos es la duración del período reproductivo. El período primer pimpollo-primera cápsula abierta en DP 1238 tiene aproximadamente 127 GD más que en DP 402 (Casuso *et al.*, 2016). Esta mayor duración del período reproductivo en el cultivar DP 1238, puede conferirle algún nivel de tolerancia por escape o compensación al estrés térmico.

En la etapa fenológica de primer pimpollo (Paytas y Ploschuk, 2013), ambos cultivares fueron fertilizados con nitrógeno a los 37 (L2) y 38 (L1) días después de la siembra (DDS). Se realizó en este momento teniendo en cuenta que después del inicio de la floración y durante el desarrollo temprano de las cápsulas, la absorción de nutrientes aumenta (Mullins y Burmester, 2010). En este sentido, las tasas de absorción máximas usualmente ocurren unas pocas semanas después de la floración y la captación total alcanza un máximo cuando las primeras cápsulas comienzan a madurar (Oosterhuis, 2001).

El fertilizante empleado fue urea y la dosis aplicada equivalente a 46 kg de N.ha<sup>-1</sup>. Se aplicó esta cantidad de fertilizante teniendo en cuenta el adecuado contenido de nitrógeno en ambas localidades (Tabla 1). Ibaló *et al.* (2005), reportó que con estos valores de nitrógeno se genera un diferencial de rendimiento. La dosis que se utilizó fue para observar los efectos de los tratamientos térmicos; ya que no es un objetivo de este estudio evaluar el impacto de la fertilización sobre el rendimiento. Por otra parte, estudios previos sugieren que la aplicación de dosis superiores en la etapa de pimpollado, pueden generar un excesivo crecimiento vegetativo a expensas de la a la retención de estructuras reproductivas (Hons *et al.*, 2004; Mondino y Peterlin, 2011). El suministro de urea fue realizado al voleo, utilizando una esparcidora manual (Roots); definiéndose así la situación “Con Fertilización” (CF). La otra situación que no recibió agregado del fertilizante nitrogenado durante la etapa fenológica primer pimpollo, el escenario “Sin Fertilización” (SF).

En cada situación de fertilización, en la etapa fenológica primera flor-fin de la floración efectiva (Paytas y Ploschuk, 2013), se aplicaron dos regímenes de temperatura: i) temperatura ambiente, denominado “Control” (C), y ii) con episodios de “Alta temperatura” (AT). Para los tratamientos de incremento térmico se utilizaron micro invernáculos montados sobre el canopeo del cultivo para aumentar la temperatura del aire. Los mismos se construyeron con hierro ángulo de 1,5 x 2,0 x 1,5 m de ancho, largo

y alto, respectivamente, cubiertos con polietileno de 120  $\mu\text{m}$  de espesor. El polietileno, de ambos laterales llegaba hasta el nivel del suelo mientras que los frontales tuvieron una apertura de 10 cm desde el suelo para permitir el intercambio gaseoso con el exterior (Cicchino *et al.*, 2010). El calentamiento del tratamiento térmico dependió exclusivamente del aumento de temperatura producido por el efecto invernadero del recinto de polietileno. Un sistema que permitió reproducir la variación natural esperada de la temperatura asociada con la variación de la radiación solar en cada localidad. Los tratamientos de alta temperatura se impusieron durante 16 y 15 días consecutivos en L1 y L2, respectivamente desde la etapa primera flor blanca.

De este modo, en cada sitio (localidad) se combinaron dos genotipos de algodón (DP 1238 y DP 402 de ciclos largo y corto, respectivamente), dos niveles fertilización (SF y CF) y dos condiciones térmicas (C y AT).

El registro de las condiciones ambientales se realizó mediante estaciones meteorológicas ubicadas a 420 metros del ensayo en L1 y a 600 metros en L2. La temperatura horaria del aire y la humedad relativa dentro de los micro invernáculos se registraron mediante sensores conectados a *data loggers* de dos canales (Cavadevices, Buenos Aires, Argentina) ubicados a la mitad de la altura del canopeo. Los sensores fueron calibrados previamente con los registros de las estaciones meteorológicas mencionadas y se protegieron con un abrigo meteorológico. El contenido de humedad en el suelo, hasta un 1,2 m de profundidad, se registró por medio de la sonda de neutrones (marca Troxler 4302) y mediciones gravimétricas al inicio de la siembra (Novello *et al.*, 1994).

## **2.3 Descripción de las determinaciones realizadas**

### **2.3.1 Cuantificación de los tratamientos térmicos**

El estrés por alta temperatura dentro de los micro invernáculos se cuantificó a través de la sumatoria de la temperatura horaria acumulada ( $TT_s$ , en  $^{\circ}\text{Cd}$ ) por encima de una temperatura máxima umbral (Cicchino *et al.*, 2010) mediante la ecuación 1 (Ec.1):

$$TT_s = \sum_1^n (Tx - Tm_{\text{máx}}), \text{ para } Tx > Tm_{\text{máx}} \text{ (Ec.1)}$$

Donde  $TT_s$  representa temperaturas estresantes acumuladas por hora durante el período de tratamiento térmico (n) de cada parcela,  $Tx$  es la temperatura media horaria del aire y  $Tm_{\text{máx}}$  es la temperatura máxima umbral. Se utilizó una  $Tm_{\text{máx}}$  de  $33^{\circ}\text{C}$  considerando que

cuando las temperaturas superan ese valor afectan negativamente el crecimiento reproductivo del algodón (Bibi *et al.*, 2008; Reddy *et al.*, 1992).

### 2.3.2 Fenología

La determinación de los estados fenológicos del cultivo de algodón se realizó con la escala descrita por Paytas y Ploschuk (2013), registrando las fases fenológicas que se detallan en la Tabla 2:

**Tabla 2.** Detalle de los estados fenológicos del cultivo de algodón según la escala adaptada por Paytas y Ploschuk, (2013).

Fase fenológica	Descripción
Primer pimpollo	Cuando el 50% de las plantas observadas tienen el primer pimpollo.
Primera flor blanca (floración)	Ocurre cuando se observa en el 50% de las plantas la aparición de una flor blanca en primera posición.
Floración efectiva (fin de floración)	Se considera cuando en el 50% de las plantas observadas tienen una flor blanca a 5 nudos del ápice.
Primera cápsula abierta (llenado de cápsulas)	Es cuando en el 50% de las plantas observadas se encuentra en la primera posición una cápsula abierta.
60% de cápsulas abiertas (madurez fisiológica)	En esta etapa el 50% de las plantas observadas contienen el 60% del total de cápsulas abiertas.

La temperatura es el factor principal que condiciona el progreso normal de la fenología de la planta, por lo cual se la considera una especie termo dependiente. El algodón necesita acumular cierta cantidad de grados días (GD) para que se cumplan las etapas fenológicas. En este sentido, la utilización de los grados días permite inferir la ocurrencia y duración en días de cada etapa. Para describir la ocurrencia de las etapas fenológicas se calcularon los grados-día acumulados mediante la ecuación (Ec.2);

$$GD = (T_{\text{máx}} - T_b) + (T_{\text{mín}} - T_b) / 2 \text{ (Ec.2)}$$

Donde *GD* representa los grados días acumulados necesarios para el desarrollo de una etapa fenológica; *T<sub>máx</sub>* las temperaturas máximas diarias; *T<sub>mín</sub>* las temperaturas

mínimas diarias y  $T_b$  la temperatura base. Para los cálculos, se utilizó una temperatura base de 12°C (Constable y Shaw, 1988).

### **2.3.3 Producción de biomasa aérea y partición**

Se tomaron muestras de plantas al comienzo (primera flor blanca) y al final del tratamiento térmico, post tratamientos térmicos (floración efectiva) y en madurez fisiológica (cosecha). Para la toma de las muestras en cada uno de los tratamientos, se respetó el efecto bordura y las plantas se cortaron al ras del suelo en 0,5 metros lineales de surco (aproximada 4 plantas) por repetición.

Se registró la altura de planta, número de nudos, pimpollos, flores y cápsulas. El total de sitios fructíferos por planta se obtuvo considerando tanto las posiciones retenidas como las abortadas. De este modo, se calculó el porcentaje de órganos retenidos en la planta (% retención fructífera) en todas las ramas simpodiales y monopodiales. Se cuantificó la biomasa fresca total y biomasa fresca de una submuestra de tres plantas. Para el submuestreo se consideraron tres plantas consecutivas de la unidad muestreada. Las submuestras se dividieron en hojas verdes (láminas), tallo (incluyendo pecíolos), flor y/o cápsulas. Las muestras se llevaron a estufa con circulación forzada de aire a 60°C hasta su secado total y posterior registro del peso. A partir de esta información, se calculó la producción de biomasa total acumulada y particionada (materia seca, MS en  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ) en órganos vegetativos (tallo, ramas y hojas) y órganos reproductivos (pimpollos, flores y cápsulas).

### **2.3.4 Índice de área foliar**

En el mismo muestro de biomasa se determinó el área foliar ( $\text{cm}^2$ ) de tres plantas con un medidor de área portátil con cinta transportadora transparente (marca LI-COR LI-3000C, Nebraska, Estados Unidos). El índice de área foliar (IAF) se calculó a través del producto del área foliar por planta por el stand de plantas por unidad de área (Stoner *et al.*, 1976; Jost y Cother, 2001; Aparicio *et al.*, 2002).

### **2.3.5 Rendimiento y componentes del rendimiento**

Cuando el cultivo alcanzó el 60% de las cápsulas abiertas, se realizó una aplicación de defoliante y posteriormente, se cosechó cuando la totalidad de las cápsulas se encontraban abiertas. La cosecha fue manual y el tamaño de las muestras de 0,5 m

lineales de surco para estimar el rendimiento bruto (fibra + semilla) por unidad de superficie ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ). La producción de fibra ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ) se obtuvo de las muestras de cosecha las que se desmotaron (separación de la fibra de la semilla) con una micro desmotadora eléctrica a sierras. La proporción de fibra (%) es la relación entre la producción de fibra y el rendimiento bruto.

Para determinar los componentes del rendimiento (número y peso de cápsulas) se cuantifico el número de las cápsulas totales obtenidas en 0,5 m lineales de surco y se convirtió a  $\text{m}^2$ . El peso de cápsulas en gramos (g), se estimó dividiendo el rendimiento bruto por el número total de cápsulas por unidad superficie.

### **2.3.6 Parámetros de calidad de la fibra de algodón**

Las muestras de fibra se enviaron al laboratorio y, con un equipo HVI (por sus siglas en inglés: High Volume Instrument), se efectuaron mediciones automatizadas de los parámetros de calidad de las fibras del algodón. Se examinaron, longitud de fibra medida (en mm), uniformidad de la longitud (relación entre la longitud media y la longitud media de la mitad superior de las fibras y expresada en porcentaje), resistencia (expresada en unidades de gramos fuerza por textil,  $\text{g}/\text{tex}$ ) e índice de micronaire que mide la finura y madurez de la fibra (en microgramos por pulgada,  $\text{Ug}/\text{Inch}$ ).

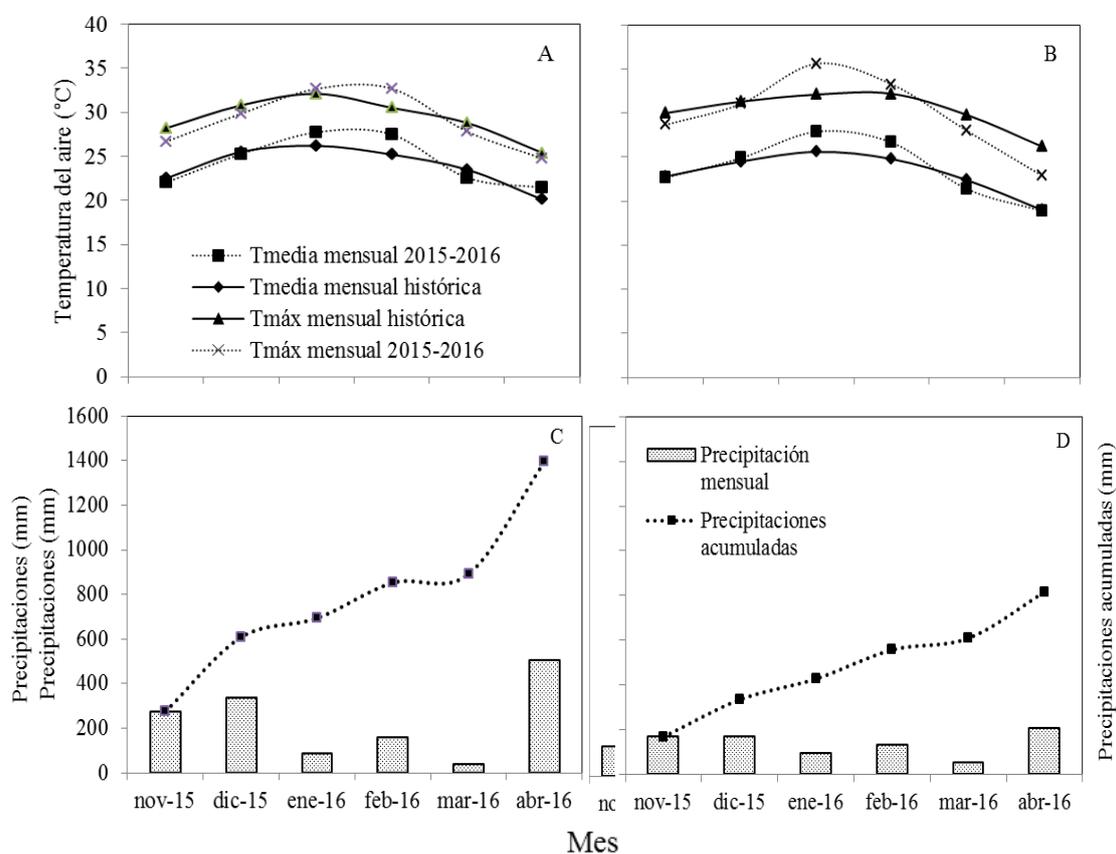
### **2.3.7 Análisis de datos**

Los datos de las variables fueron evaluados con análisis de la varianza (ANOVA) utilizando el software estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2014). También se aplicó un test de diferencias mínimas significativas (LDS, por sus siglas en inglés) para la comparación de los promedios con un valor de probabilidad  $p \leq 0,05$  para las variables altura de planta; número de nudos; índice de área foliar, producción y distribución de la biomasa, rendimiento bruto, número y peso de cápsulas. Además, se hizo comparación de medias del rendimiento y calidad de fibra. Para examinar la eficiencia de partición y el efecto del incremento de fuente sobre el rendimiento se realizaron regresiones entre las distintas variables, considerando aquellas que arrojaron el mayor  $R^2$ .

## CAPÍTULO 3: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Condiciones ambientales durante el período de crecimiento del cultivo

Las temperaturas media y máxima mensual del aire en ambas localidades fueron superiores a los datos históricos, en los meses de enero y febrero (Figura 3); en L1 la temperatura media superó en 1,5 y 2,3°C y en L2 fue superior en 2,3 y 1,9°C, respectivamente. De igual forma, la temperatura máxima mensual en esos dos meses estuvieron por encima de los valores históricos, en 0,6 y 2,2°C en L1 y 3,5 y 1,1°C en L2, respectivamente. Durante el período comprendido entre los meses enero y febrero, el cultivo de algodón inició las etapas reproductivas. **Figura 3.** Evolución de las

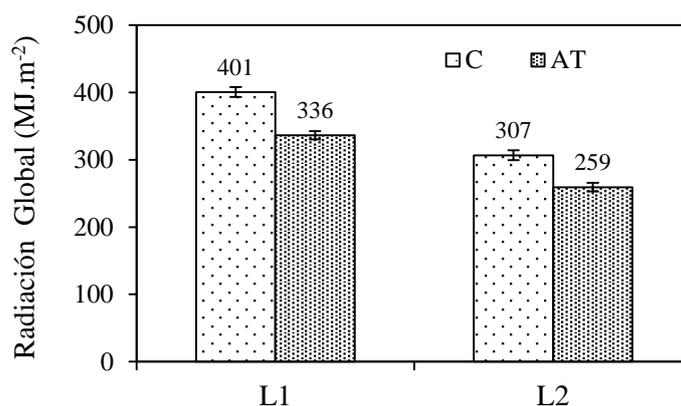


temperaturas media y máxima mensuales del aire (A y B); y las precipitaciones mensuales (C y D) durante los meses en que se desarrolla el ciclo del cultivo de algodón en L1 (A y C) y L2 (B y D). Campaña agrícola 2015/2016.

En lo que respecta a la situación hídrica en el inicio de la campaña (noviembre-diciembre), la oferta total de lluvias fue adecuada (Figura 3), el agua útil acumulada en el perfil al momento de la siembra fue de 198 y 187 mm, hasta 1,2 m de profundidad en L1 y L2, respectivamente. Las precipitaciones acumuladas durante el crecimiento y

desarrollo del cultivo fueron superiores en 495 mm a la media histórica (907 mm) en L1. Mientras que en L2 estuvieron 46 mm por encima de los registros históricos (770 mm) para el periodo comprendido entre noviembre de 2015 y abril de 2016. Debido a ello, la disponibilidad hídrica para el cultivo fue favorable en la mayor parte de su desarrollo. En L1, las precipitaciones en los meses de noviembre, diciembre y abril fueron superiores a L2 en 108, 167 y 296 mm, respectivamente. Las excesivas precipitaciones que se produjeron en L1 durante el mes de abril (504 mm); afectaron negativamente la cosecha del genotipo DP 1238.

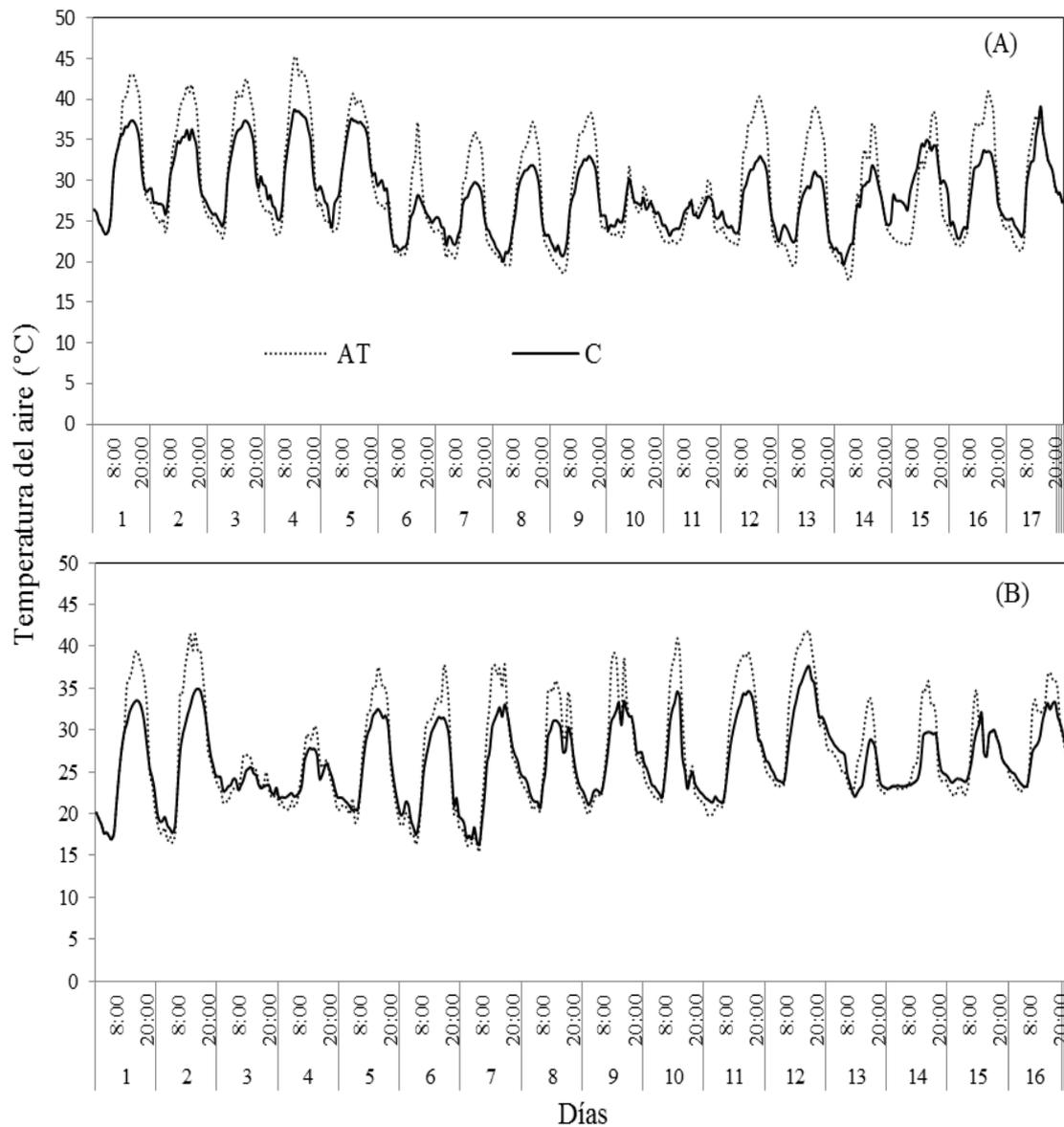
En promedio, la utilización de los micro invernáculos redujo la radiación incidente en un 16% en L1 y L2 (Figura 4). De la misma manera, Cottee *et al.* (2010) reportaron que la utilización de polietileno sobre la canopia del cultivo de algodón puede reducir la radiación incidente en un 18%, pero aumentar la proporción relativa de radiación difusa en el dosel (Healey y Rickert, 1998), aumentando así la eficiencia del uso de la radiación sin afectar negativamente el crecimiento (Healey *et al.*, 1998).



**Figura 4.** Radiación global (Mj.m<sup>-2</sup>) durante el periodo de utilización de los micro invernáculos en ambos sitios experimentales. Condición térmica Control (C) y alta temperatura (AT). Campaña agrícola 2015/2016.

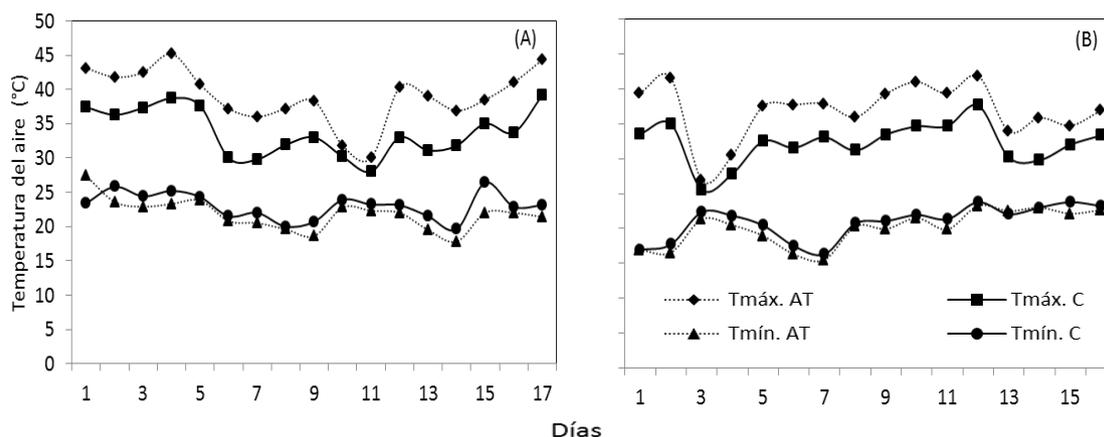
### 3.2 Evolución de la temperatura en el interior de los micro invernáculos

La cuantificación del incremento de la temperatura obtenido por el uso de los micro invernáculos como medio de imposición de episodios de alta temperatura, se presenta en la Figura 5. En ambos sitios (L1 y L2), la temperatura del aire dentro de los micro invernáculos se elevó durante el día (8:00 a 20:00 horas), mientras que en el transcurso de la noche (20:00 a 8:00 horas) presentó valores próximos a la temperatura del ambiente fuera de la cobertura de los invernáculos.



**Figura 5.** Evolución de las temperatura horaria del aire en el interior de los micro invernáculos (AT) y en el control (C) en L1 (A) y L2 (B). Campaña agrícola 2015/2016.

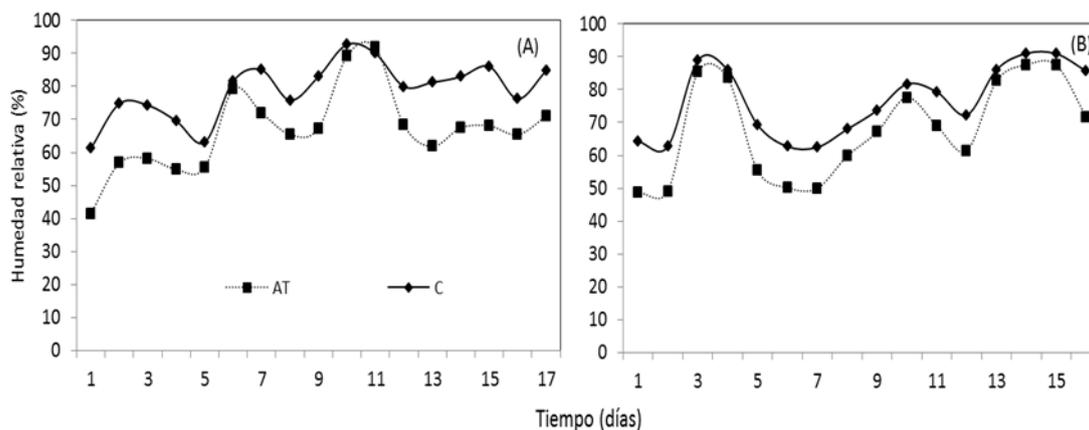
La temperatura máxima diaria en los micro invernáculos respecto a los registros del control aumentó en promedio para todo el periodo de evaluación 5,3 y 4,7°C para L1 y L2, respetivamente. Sin embargo, durante el día se generaron temperaturas que, en algunos días, superaron en 7°C a las del control; siendo similar la evolución de temperaturas mínimas entre los tratamientos (Figura 6).



**Figura 6.** Evolución de las temperaturas máximas (Tmáx) y mínimas (Tmín) diarias del aire en el interior de las micro invernáculos (AT) y del control (C) en L1 (A) y L2 (B). Campaña agrícola 2015/2016.

El ascenso de la temperatura en el interior de los micro invernáculos dependió exclusivamente de la radiación solar incidente en cada sitio de estudio y el uso de polietileno transparente aseguró el incremento térmico en la canopia del cultivo. De la misma manera, otros autores usaron este sistema para exponer a estrés térmico en condiciones de campo a cultivos de soja (Molino, 2011; Cencig, 2013), maíz (Cicchino *et al.*, 2010; Edreira y Otegui, 2012) y algodón (Cottee *et al.*, 2010).

Por su parte, la humedad relativa ambiente, osciló entre 62 y 92% para los registros en el exterior y entre 52 y 90% en el interior de los micros invernáculos (Figura 7); con promedios para toda la etapa de evaluación de 78 vs 67,5% en el exterior y dentro de los micro invernáculos, respectivamente. El error estándar medio fue de 12% y similar a lo publicado por Cencig (2013). Burke *et al.* (2004) reportaron que para algodones cultivados en invernaderos, mantener los niveles de humedad entre 50 y 80%, otorga condiciones óptimas para la germinación del grano de polen y la elongación del tubo polínico. Asimismo, Liu *et al.* (1992), en estudios de fertilización *in vitro* de algodón, determinó que el óvulo se desarrolla normalmente cuando la humedad relativa tiene valores cercanos a 65%.



**Figura 7.** Evolución de la humedad relativa del aire en el interior de las micro invernáculos (AT) y en el control (C), L1 (A) y L2 (B). Campaña agrícola 2015/2016.

### 3.3 Cuantificación de los tratamientos térmicos

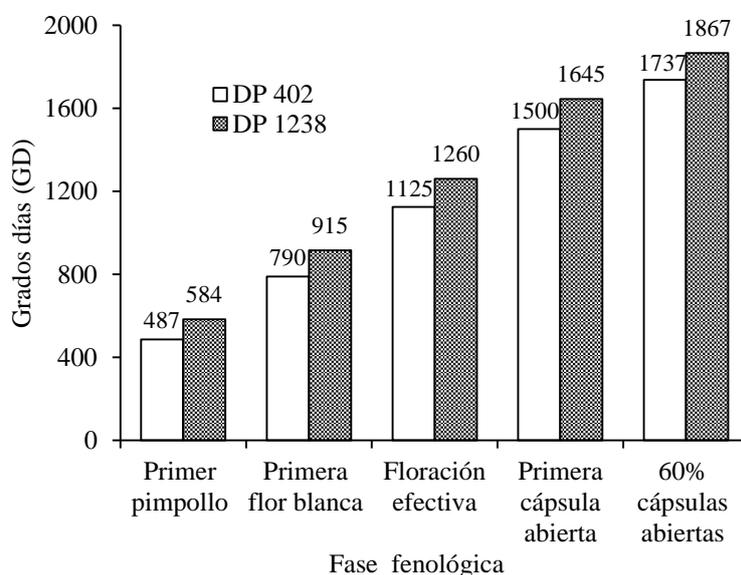
La cuantificación del estrés térmico (Ecuación 1,  $TT_s$ ) fue diferente entre localidades; siendo mayor en L1 ( $606,1^\circ\text{Cd}$ ) con respecto a L2 ( $335,3^\circ\text{Cd}$ ). La temperatura media diaria de las parcelas con episodios de alta temperatura fueron  $29,1$  y  $26,3^\circ\text{C}$  en L1 y L2, respectivamente. Las temperaturas máximas que se alcanzaron con utilización de los micro invernáculos fueron de  $45,2^\circ\text{C}$  (L1) y  $41,8^\circ\text{C}$  (L2). En consecuencia, la cuantificación del estrés térmico se acentuó por el efecto de las temperaturas máximas ocurridas durante los tratamientos. Las mayores temperaturas máximas estresantes acumuladas en L1 se debieron a las ocurridas en el mes de enero (ver Figura 3). Por otro lado, la cuantificación del estrés térmico en L2 fue inferior, ya que la colocación de los micro invernáculos coincidió con un período de menor temperatura ambiente (febrero). La magnitud de los efectos del estrés por alta temperatura en los cultivos depende tanto del rango térmico explorado como de la duración del estrés (Khan y Sadaqat, 2008). Las altas temperaturas diarias durante la temporada de crecimiento representan una limitación importante para el desarrollo y la productividad de los cultivos (Reddy, 1996).

### 3.4 Fenología del cultivo de algodón

La acumulación de los grados días de los diferentes estados fenológicos fue mayor en el genotipo DP 1238 (Figura 8). En L2 respecto a L1, la duración de la etapa primer pimpollo hasta 60% de las cápsulas abiertas en los genotipos DP 402 y DP 1238, tuvo en promedio 6 y 5 días más respectivamente (Tabla 3). Esta diferencia estaría asociada a

que en L2 el cultivo desarrolló sus estados reproductivos a menor temperatura ambiente retardando la apertura de las cápsulas. El genotipo DP 402, en ambas localidades presentó menor duración del período primer pimpollo – 60% de las cápsulas abiertas, siendo en promedio 10 días más corto comparado con DP 1238.

Los tratamientos con y sin fertilización sometidos a condiciones de alta temperatura necesitaron menor cantidad de días para el desarrollo de las etapas fenológicas. Las etapas fenológicas de floración efectiva, primera cápsula abierta y 60% de cápsulas abiertas en los tratamientos con episodios térmicos, acortaron su duración en ambos genotipos y localidades (Tabla 3). En L1, el acortamiento de la fase 60% de cápsulas abiertas fue de 6 y 4 días en el genotipo DP 402 y DP 1238, respectivamente. En cambio, en L2 fue de 8 días en la DP 402 y 7 días en la DP 1238 respecto al control. Por otra parte, las diferencias en la cantidad de días entre las condiciones térmicas, estaría asociada a que los incrementos en la temperatura reducen la duración de las fases fenológicas (Constable y Shaw, 1988). Resultados similares fueron reportados por Luo *et al.* (2013) quienes utilizaron modelos de simulación de cultivos para diferentes regiones productoras de algodón, y el aumento de temperatura aceleró el desarrollo de todos los estadios fenológicos del cultivo.



**Figura 8.** Duración promedio de las fases fenológicas en grados días (GD) para los genotipos de algodón DP 402 y DP 1238. Los datos de GD corresponden al promedio de la duración del ciclo en ambas localidades.

**Tabla 3.** Duración en días de las fases fenológicas de los genotipos DP 402 y DP 1238, según la condición térmica (C: Control; AT: Alta temperatura) en las dos localidades de evaluación (L1 y L2). Los valores corresponden al promedio de los tratamientos con y sin fertilización. Campaña agrícola 2015/2016.

Fases Fenológicas	L1				L2			
	DP 402		DP 1238		DP 402		DP 1238	
	C	AT	C	AT	C	AT	C	AT
Primer pimpollo	32	32	38	38	30	30	35	35
Primera flor blanca	51	51	57	57	47	47	55	55
Floración efectiva	73	70	81	78	69	68	78	76
Primera cápsula abierta	99	94	112	108	100	96	114	111
60% cápsulas abiertas	122	116	132	128	128	120	137	130

### 3.5 Altura de planta y número de nudos

Al evaluar el crecimiento y desarrollo del cultivo al momento de la cosecha, se consideró la altura de planta y el número de nudos, respectivamente. Los resultados (Tabla 4) mostraron que en L1 y L2, la altura de la planta presentó diferencia significativa para la interacción genotipo\*fertilización ( $p \leq 0,02$  y  $p \leq 0,01$ ), respectivamente. Por su parte, la condición térmica en L1 redujo la altura de planta ( $p \leq 0,01$ ) en 4 cm respecto al control. No se detectaron efectos significativos de la fertilización, del genotipo, ni de interacción genotipo\*condición térmica, fertilización\*condición térmica y genotipo\*fertilización\*condición térmica.

En el genotipo DP 1238 la altura de la planta se incrementó significativamente un 10,7 y 8,7% en las parcelas fertilizadas respecto a las no fertilizadas en L1 y L2, respectivamente. Sin embargo, en el genotipo DP 402 no se observaron diferencias significativa en la altura de la planta. Las altas temperaturas en L1 produjeron una reducción significativa del 7% en la altura de las plantas respecto al control. Mientras que, en L2 no se detectaron diferencias en esta variable ( $p > 0,05$ ).

La altura de la planta es uno de los principales parámetros del crecimiento vegetativo de la planta de algodón que expresa directamente el efecto del fertilizante, especialmente del nitrógeno (Oosterhuis, 2001). Hallikeri *et al.* (2010), mostraron que la altura del algodón aumenta con la aplicación de nitrógeno. Sin embargo, Ayissaa y Kebede (2011), informaron que el efecto de la fertilización nitrogenada sobre la altura de la planta difiere entre los genotipos. Las altas temperaturas reducen la altura de la planta

debido al menor período de crecimiento del cultivo (Hodges *et al.*, 1993; Khan y Sadaqat, 2008).

**Tabla 4.** Altura (cm) y cantidad de nudos por planta en genotipos de algodón (DP 402 y DP 1238) para los diferentes tratamientos (sin fertilización “SF”; con fertilización “CF”; control “C” y alta temperaturas “AT”) en dos localidades de evaluación (Reconquista “L1”; Tostado “L2”). Campaña agrícola 2015/2016.

Genotipo	Fertilización	Condición térmica	L1		L2	
			Altura (cm)	Nº de nudos (Nº.pl <sup>-1</sup> )	Altura (cm)	Nº de nudos (Nº.pl <sup>-1</sup> )
DP 1238	SF	C	58,0	16,0	64,4	17,7
	SF	AT	56,0	14,7	64,9	17,7
	CF	C	66,9	17,7	68,9	18,0
	CF	AT	59,3	16,0	71,8	18,3
DP 402	SF	C	66,2	16,3	69,4	15,7
	SF	AT	59,9	16,0	72,2	16,7
	CF	C	62,0	15,3	65,0	15,7
	CF	AT	60,8	16,0	71,0	16,7
Genotipo		DP 1238	60,1 a	16 a	67,5 a	18 a
		DP 402	62,2 a	16 a	69,4 a	16 b
Fertilización		SF	60,0 a	16 a	69,2 a	17 a
		CF	62,3 a	16 a	67,8 a	17 a
Condición térmica		C	63,3 a	16 a	66,9 a	17 a
		AT	59,0 b	16 a	69,9 a	17 a
Significancia						
Genotipo			NS	NS	NS	0,0001
Fertilización			NS	NS	NS	NS
Condición térmica			0,01	NS	NS	NS
LDS (0,05)			3,1	1,0	3,1	0,7
Genotipo*Fertilización			0,02	0,05	0,01	NS
Genotipo*Condición térmica			NS	NS	NS	NS
Fertilización*Condición térmica			NS	NS	NS	NS
LDS (0,05)			4,4	1,4	4,3	1,0
Genotipo*Fertilización*Condición térmica			NS	NS	NS	NS
LDS (0,05)			6,2	2,0	6,1	1,4
CV (%)			10,8	7,2	9,5	4,6

NS, no significativo. Letras distintas indican diferencia significativa para  $p \leq 0,05$  según test LSD.

CV (%) Coeficiente de variación en porcentaje.

LDS (0,05) Diferencia mínima significativa.

El número de nudos por planta a cosecha en L1 respondió significativamente a la interacción genotipo\*fertilización ( $p \leq 0,05$ ; Tabla 4). La fertilización en el genotipo DP

1238 produjo un 15,8% más de nudos que el no fertilizado. En oposición, el DP 402 no presentó diferencias significativas entre los tratamientos con y sin fertilización. En L2, se observó una tendencia similar en la producción de nudos, aunque no se encontraron diferencias significativas a la interacción genotipo\*fertilización ( $p>0,05$ ).

Considerando el análisis entre genotipos, en L2, el número de nudos en el DP 1238 respecto a el DP 402 fue superior un 10,8% ( $p\leq 0,0001$ ; Tabla 4). Sin embargo, en L1 el genotipo DP 1238 a pesar de tener mayor cantidad de nudos que DP 402, no hubo diferencia estadísticamente significativa ( $p>0,05$ ).

En ambas localidades no se evidenció diferencia significativa alguna en el número de nudos por planta entre fertilización, condición térmica y en las interacciones genotipo\*condición térmica, fertilización\*condición térmica, y genotipo\*fertilización\*condición térmica ( $p>0,05$ ).

La variación en los resultados de la producción de nudos entre los genotipos y la fertilización son coincidentes con los encontrados por Ali y Hameed (2011), quienes indicaron que la fertilización nitrogenada aumenta el número de nudos en la planta de algodón y que existen genotipos con diferente potencial para producir nudos en el tallo principal. Por otro lado, Hodges *et al.* (1993) y Khan y Sadaqat (2008), determinaron que el cultivo expuesto a altas temperaturas, tiene menor número de nudos por planta, como consecuencia del acortamiento del período de crecimiento. En cambio, en esta tesis no se encontraron diferencias en la dinámica de producción de nudos en las plantas con y sin estrés térmico. La diferencia en el número de nudos entre los genotipos en L2, podría estar asociada por un lado al crecimiento indeterminado del cultivo (Paytas y Ploschuk, 2013). Por otro, a que la etapa reproductiva del genotipo de ciclo más largo coincidió con condiciones ambientales de menor temperatura, por lo que necesita mayor cantidad de días para la maduración de las cápsulas con un alargamiento del ciclo del cultivo (Lokhande y Reddy, 2014).

### **3.6 Índice de área foliar**

Durante el inicio de la floración del cultivo (primera flor blanca) y previo al comienzo de los tratamientos térmicos, los resultados presentados en la Tabla 5 muestran que en L1 y L2 la interacción genotipo\*fertilización afectó significativamente el índice de área foliar (IAF) del cultivo ( $p\leq 0,04$  y  $p\leq 0,02$ , respectivamente). En L1, la fertilización incrementó el IAF significativamente un 50,7 y 10,0% en los genotipos DP 1238 y DP 402,

respectivamente. En L2, el genotipo DP 1238 con la aplicación de nitrógeno aumentó 11,7% respecto al no fertilizado; en cambio, en el cultivar DP 402 el IAF no difirió entre los tratamientos. En ambas localidades el genotipo DP 1238 presentó mayor IAF ( $p \leq 0,02$  y  $p \leq 0,003$ ).

Al momento de retirar los micro invernáculos en L1, la fertilización y la condición térmica en la etapa de floración tuvieron efectos significativos en el IAF ( $p \leq 0,03$  y  $p \leq 0,0004$ ; Tabla 5). La aplicación de fertilizante aumentó el IAF un 30,8% respecto a las parcelas no fertilizadas. Los episodios de altas temperaturas redujeron un 42,1% el IAF en relación al control (sin estrés térmico).

En L2, la fertilización y la condición térmica no afectaron significativamente el IAF. Aunque no se encontraron diferencias, se aprecia una tendencia a incrementar y reducir el IAF con la fertilización del cultivo y al estrés térmico, respectivamente. A diferencia de L1, en L2 se detectó diferencia significativa entre genotipos ( $p \leq 0,02$ ). El genotipo DP 1238 en L2 presentó 27,3% más IAF en comparación con el DP 402. Pese a que no se encontraron diferencias significativas, el DP 1238 en L1 mostró mayor IAF que el DP 402.

Durante la etapa de floración efectiva, la interacción genotipo\*fertilización en L1 tuvo efecto significativo en el IAF ( $p \leq 0,03$ ; Tabla 5). El genotipo DP 1238, en las parcelas fertilizadas mostró 67,4% más IAF en comparación al no fertilizado. En cambio, el IAF en el DP 402 no difirió entre los tratamientos con y sin fertilización. No obstante, en L2 los efectos de la interacción genotipo\*fertilización no fueron significativos ( $p > 0,05$ ). La fertilización en L1 incrementó significativamente el IAF un 29,4% en relación con el no fertilizado. A pesar, de un mayor IAF con la aplicación de nitrógeno en L2 no presentó diferencias significativas con los no fertilizados ( $p > 0,05$ ).

El incremento de la temperatura en L2 produjo una disminución del IAF en 16,7% respecto a su testigo (sin estrés). Los episodios de altas temperaturas en L1 generaron una reducción en el IAF con respecto al control, pero no fue significativa ( $p > 0,05$ ; Tabla 5).

Los efectos de las interacciones genotipo\*condición térmica, fertilización\*condición térmica y genotipo\*fertilización\*condición térmica sobre el IAF no fueron significativo ( $p > 0,05$ ; Tabla 5).

**Tabla 5.** Índice de área foliar (IAF) en dos genotipos de algodón (DP 402 y DP 1238), según tratamientos (sin fertilización “SF”; con fertilización “CF”; control “C” y alta temperaturas “AT”) en dos localidades de evaluación (Reconquista “L1”; Tostado “L2”) en floración (F) al inicio (a) y final (b) de los tratamientos térmicos y floración efectiva (FE). Campaña agrícola 2015/2016.

Genotipo	Fertilización	Condición térmica	L1			L2		
			F (a)	F (b)	FE	F (a)	F (b)	FE
DP 1238	SF	C	0,7	1,7	1,8	0,6	3,4	3,5
	SF	AT		1,0	1,3		2,3	2,6
	CF	C	1,1	2,5	2,4	0,7	3,1	3,8
	CF	AT		1,3	1,9		2,6	3,3
DP 402	SF	C	0,7	1,5	1,9	0,6	1,7	3,5
	SF	AT		0,9	2,0		2,2	3,1
	CF	C	0,8	2,0	2,3	0,5	2,8	3,7
	CF	AT		1,0	1,8		2,1	3,2
Genotipo		DP 1238	0,9 a	1,6 a	1,8 a	0,6 a	2,8 a	3,3 a
		DP 402	0,7 b	1,3 a	2,1 a	0,5 b	2,2 b	3,4 a
Fertilización		SF	0,9 a	1,3 a	1,7 a	0,6 a	2,4 a	3,2 a
		CF	0,7 b	1,7 b	2,2 b	0,6 a	2,6 a	3,4 a
Condición térmica		C		1,9 a	2,1 a		2,7 a	3,6 a
		AT		1,1 b	1,8 a		2,3 a	3,0 b
Significancia								
Genotipo			0,02	NS	NS	0,003	0,02	NS
Fertilización			0,01	0,03	0,02	NS	NS	NS
Condición térmica				0,0004	NS		NS	0,001
LDS (0,05)			0,14	0,4	0,4	0,10	0,5	0,3
Genotipo*Fertilización			0,04	NS	0,03	0,02	NS	NS
Genotipo*Condición térmica				NS	NS		NS	NS
Fertilización*Condición térmica				NS	NS		NS	NS
LDS (0,05)			0,20	0,6	0,5	0,10	0,8	0,4
Genotipo*Fertilización*Condición térmica				NS	NS		NS	NS
LDS (0,05)				0,8	0,7		1,1	0,6
CV (%)			13,1	30,9	21,0	7,0	24,5	10,7

NS, no significativo. Letras distintas indican diferencia significativa para  $p \leq 0,05$  según test LSD.

C.V. (%) Coeficiente de variación en porcentaje.

LDS (0,05) Diferencia mínima significativa.

El IAF es un parámetro que expresa la tasa de crecimiento de la vegetación y muestra una estrecha relación con el rendimiento del cultivo (Brandão y Zonta, 2016). Los resultados de este estudio son coincidentes con Oosterhuis *et al.* (1983) en cuanto a que el IAF se modifica significativamente en función a la dosis de nitrógeno aplicadas. Asimismo, Ali y Hameed (2011), determinaron que el IAF no sólo está influenciado por la aplicación de fertilizantes nitrogenados sino que además varía con los genotipos. Orozco-Vidal *et al.* (2011) reportaron que los genotipos de ciclo largo, en etapas vegetativas tempranas, generan mayor IAF que los genotipos precoces debido a la expansión foliar. Por otra parte, los datos observados son coincidente con Reddy *et al.* (1992), quienes expresaron que a medida que se incrementa la temperatura se reduce el IAF en el cultivo de algodón.

El valor promedio de IAF para L1 estuvo en 1,9. Paytas (2005), reportó valores similares en cultivos de algodón sembrados en la misma localidad bajo el sistema de siembra directa. En L2 se observó un promedio de IAF de 3,3; valores similares fueron alcanzado en otras zonas productoras de algodón en Argentina (Mondino, 2000). Sin embargo, hay trabajos que sostienen que el IAF crítico debe tener un valor mínimo de 3 para interceptar toda la radiación solar en un ambiente óptimo (Basinskii, 1975; Kerby *et at.*, 1990).

### **3.7 Producción y distribución de la biomasa**

La producción de materia seca total por unidad de superficie a madurez fisiológica para las dos localidades tuvo diferencia significativa en la interacción genotipo\*condición térmica ( $p \leq 0,05$  y  $p \leq 0,01$ , respectivamente, Tabla 6). El genotipo DP 1238 con altas temperaturas disminuyó la producción de materia seca total en un 30,6 y 41,9% respecto al control para la L1 y L2, respectivamente. En cambio, en el genotipo DP 402 la menor producción de materia seca total debida a las altas temperaturas no fue significativa.

En la condición térmica control, el genotipo DP 1238 produjo significativamente más materia seca total que el DP 402. Por el contrario, cuando el cultivo estuvo expuesto a episodios de altas temperaturas, no presentó diferencia en la producción de materia seca total entre genotipos.

La fertilización notuvo efecto sobre la producción de materia seca total, como tampoco el resto de las interacciones ( $p > 0,05$ ; Tabla 6). Aunque no se encontraron diferencia

significativa, se aprecia una tendencia hacia una mayor producción de biomasa aérea en los tratamientos fertilizados respecto al no fertilizados (Tabla 6).

**Tabla 6.** Materia seca total (MST, g.m<sup>-2</sup>), de órganos vegetativos (OV) y reproductivos (OR) para dos genotipos de algodón (DP 402 y DP 1238) sometidos a diferentes tratamientos (sin fertilización “SF”; con fertilización “CF”; control “C” y alta temperaturas “AT”) en dos localidades de evaluación (Reconquista “L1”; Tostado “L2”). Campaña agrícola 2015/2016.

Genotipo	Fertilización	Condición térmica	L1			L2		
			MST	OV	OR	MST	OV	OR
DP 1238	SF	C	800,8	495,2	305,6	915,0	687,1	227,9
	SF	AT	725,5	561,1	164,4	557,8	394,8	163,0
	CF	C	1185,0	777,5	407,5	1190,6	862,1	328,5
	CF	AT	652,3	542,8	109,5	665,7	435,2	178,2
DP 402	SF	C	682,4	413,7	268,7	599,5	335,9	263,6
	SF	AT	608,9	353,0	255,9	635,9	396,5	239,4
	CF	C	607,8	357,0	250,9	716,9	475,0	242,0
	CF	AT	628,2	415,5	212,7	619,6	441,4	230,5
Genotipo		DP 1238	840,8 a	594,2 a	274,2 a	832,7 a	594,8 a	237,7 a
		DP 402	631,8 b	384,8 b	246,8 a	642,9 b	412,9 b	230,8 a
Fertilización		SF	704,3 a	455,8 a	245,3 a	676,9 a	453,6 a	223,6 a
		CF	768,3 a	523,2 a	248,8 a	798,2 a	553,4 a	244,8 a
Condición térmica		C	818,9 a	510,8 a	308,2 a	855,3 a	590,0 a	265,5 a
		AT	653,7 b	468,1 a	185,8 b	619,8 b	417,0 b	202,9 b
Significancia								
Genotipo			0,01	0,001	NS	0,02	0,01	NS
Fertilización			NS	NS	NS	NS	NS	NS
Condición térmica			0,03	NS	0,0001	0,004	0,01	0,001
LDS (0,05)			143,5	106,6	50,1	145,5	121,5	30,4
Genotipo*Fertilización			NS	NS	NS	NS	NS	0,001
Genotipo*Condición térmica			0,05	NS	0,001	0,01	0,01	NS
Fertilización*Condición térmica			NS	NS	NS	NS	NS	NS
LDS (0,05)			202,9	150,7	70,9	205,8	171,8	43
Genotipo*Fertilización*Condición térmica			NS	NS	NS	NS	NS	NS
LDS (0,05)			287,1	213,20	100,3	291,7	243,9	60,7
CV (%)			22,3	24,9	23,2	22,5	27,6	14,8

NS, no significativo. Letras distintas indican diferencia significativa para  $p \leq 0,05$  según test LSD.

C.V. (%) Coeficiente de variación en porcentaje.

LDS (0,05) Diferencia mínima significativa.

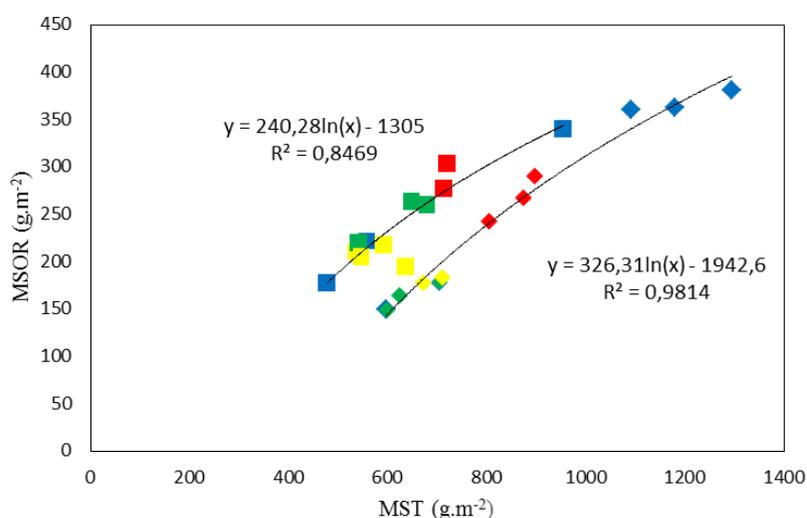
La producción de materia seca de los órganos vegetativos presentó diferencia

significativa en L2 en la interacción genotipo\*condición térmica ( $p \leq 0,01$ ; Tabla 6). En el genotipo DP 1238 el estrés térmico provocó una merma significativa del 45,9% en la biomasa vegetativa. Mientras que, el genotipo DP 402 tuvo una disminución no significativa del 3% de la materia seca vegetativa. En L1, la interacción genotipo\*condición térmica no fue significativa ( $p > 0,05$ ). Sin embargo, se aprecia que las altas temperaturas generan un detrimento en la producción de la biomasa vegetativa en comparación con la condición térmica control. En ambas localidades, el genotipo DP 402 mostró significativamente menor materia seca vegetativa ( $p \leq 0,001$  y  $p \leq 0,01$  en L1 y L2, respectivamente). Las altas temperaturas provocaron una merma significativa en la producción materia seca vegetativa en L1 ( $p \leq 0,0001$ ) y L2 ( $p \leq 0,01$ ).

La producción de materia seca de los órganos reproductivos varió con las interacciones genotipo\*condición térmica ( $p \leq 0,001$ ) y genotipo\*fertilización ( $p \leq 0,001$ ) en L1 y L2, respectivamente. En L1, la biomasa reproductiva en el genotipo DP 1238 expuesto a altas temperaturas, merizó significativamente un 13,3% respecto a su control. Sin embargo, la producción de materia seca reproductiva del genotipo DP 402 en la condición térmica de alta temperatura y el control, no presentaron diferencias significativas. En L2, la producción de biomasa reproductiva en el genotipo DP 1238 fertilizado fue superior un 42,9% en comparación al no fertilizado. Para el genotipo DP 402 no se encontraron diferencias significativas entre las condiciones de fertilización. No obstante, no se advierten resultados significativos para el factor fertilización, como así tampoco para las interacciones fertilización\*condición térmica y genotipo\*fertilización\*condición térmica.

La partición reproductiva difirió significativamente con la interacción genotipo\*condición térmica ( $p \leq 0,01$ ). El genotipo DP 1238 en el tratamiento térmico control presentó el valor más alto de partición reproductiva (39%, Figura 9). Sin embargo, el estrés térmico disminuyó significativamente la relación biomasa reproductiva - biomasa aérea un 10% respecto al control. En cambio, la partición reproductiva del genotipo DP 402 en las condiciones térmicas de alta temperatura (33%) y control (32%), no presentó diferencia significativa. La partición reproductiva también reflejó diferencias para los factores condición térmica y fertilización ( $p \leq 0,01$  y  $p \leq 0,05$ , respectivamente). La materia seca de los órganos reproductivos en función a la materia seca total, los tratamientos con alta temperatura merizaron 13,9%, en comparación al control. La aplicación de fertilizante presentó una disminución en la partición reproductiva un 8,6%

con respecto al no fertilizado. No se encontró diferencia significativa para el factor genotipo, como tampoco el resto de las interacciones ( $p > 0,05$ ).



**Figura 9.** Materia seca de órganos reproductivos (MSOR, g.m<sup>-2</sup>) en función de la materia seca total (MST, g.m<sup>-2</sup>). Los genotipos de algodón DP 402 (■) y DP 1238 (◆) para los tratamientos F C (azul), SF C (rojo), F AT (amarillo), SF AT (verde) Los datos corresponden al promedio para las dos localidades. Campaña agrícola 2015/2016.

Estas observaciones son coincidentes con Roussopoulos *et al.* (1998) en cuanto a que el incremento de las temperaturas disminuye la biomasa total, debido al menor crecimiento de los órganos vegetativos y reproductivos. A medida que la temperatura se incrementa por encima de los valores óptimos para el crecimiento y desarrollo del cultivo, la producción de biomasa es menor (Zeihner *et al.*, 1995). Lefler (1996) informó que los Por otra parte, los resultados mostraron que la biomasa seca total está significativamente influenciada con la aplicación de fertilizantes nitrogenados y por los genotipos (Ayissaa y Kebede, 2011). La aplicación de fertilizantes nitrogenados aumenta la producción de biomasa total por unidad de superficie, debido al incremento la biomasa vegetativa y reproductiva (Mondino y Peterlin, 2006). Los cultivares de algodón de ciclo corto tienden a generar menor biomasa vegetativa que los ciclos largos. La menor acumulación de materia seca vegetativa en el genotipo de ciclo corto podría estar asociado a destinan mayor cantidad de fotoasimilados para el desarrollo de las estructuras fructíferas (Bange y Milroy, 2000).

### 3.8 Rendimiento bruto y sus componentes

En las dos localidades las altas temperaturas provocaron en los cultivos una disminución significativa del rendimiento bruto ( $p \leq 0,0004$  y  $p \leq 0,001$ ; Tabla 7). En L1, la interacción genotipo\*condición térmica tuvo efecto significativo en el rendimiento ( $p \leq 0,003$ ). El estrés térmico en el genotipo DP 1238 causó una merma significativa del 59,3% en el rendimiento comparado con los no estresados. En el DP 402, pese a que las altas temperaturas ocasionaron una disminución del 9,7% en el rendimiento, la diferencia no fue significativa respecto al no estresado. Sin embargo, en L2 los efectos de la interacción genotipo\*condición térmica no fue significativa ( $p > 0,05$ ). Las altas temperaturas en L2 redujeron el rendimiento del cultivo un 22,5% con respecto al control (sin estrés).

La interacción genotipo\*fertilización afectó significativamente el rendimiento en L2 ( $p \leq 0,0004$ ; Tabla 7). El genotipo DP 1238 fertilizado incrementó el rendimiento un 42,9% en comparación con el no fertilizado. En el DP 402 no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos con y sin fertilización.

No se observaron efectos significativos de los factores genotipo, fertilización, ni tampoco para las interacciones fertilización\*condición térmica y genotipo\*fertilización\*condición térmica.

Respecto a los componentes de rendimiento al momento de la cosecha, el número de cápsulas por unidad de superficie difirió significativamente entre genotipos en L1 ( $p \leq 0,001$ ; Tabla 7). El número de cápsulas por unidad de superficie fue mayor en el genotipo DP 402 en comparación al DP 1238.

La interacción genotipo\*condición térmica tuvo un efecto significativo en el peso de las cápsulas en L1 ( $p \leq 0,001$ ; Tabla 7). En este mismo sitio, el genotipo DP 1238 con estrés térmico tuvo diferencia significativa respecto al no estresado, reduciendo el peso de la cápsula un 55,7%. En el DP 402 la caída del peso de un 7,6% no fue significativa entre las condiciones térmicas. En L2, el estrés térmico generó una pérdida en el peso de las cápsulas ( $p \leq 0,003$ ). El genotipo DP 1238, en L1, presentó cápsulas significativamente más pesadas que el DP 402 ( $p \leq 0,0002$ ).

No se observaron efectos significativos de los factores fertilización, ni tampoco para las interacciones genotipo\*fertilización, fertilización\*condición térmica y genotipo\*fertilización\*condición térmica (Tabla 7).

**Tabla 7.** Rendimiento bruto ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ), número de cápsulas ( $\text{N}^{\circ}\cdot\text{m}^{-2}$ ) y peso de cápsula ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ) para dos genotipos de algodón (DP 402 y DP 1238) sometidos a diferentes tratamientos (sin fertilización “SF”; con fertilización “CF”; control “C” y alta temperaturas “AT”) en dos localidades de evaluación (Reconquista “L1”; Tostado “L2”). Campaña agrícola 2015/2016.

Genotipo	Fertilización	Condición térmica	L1			L2		
			Rendimiento ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ )	N° de cápsulas ( $\text{N}^{\circ}\cdot\text{m}^{-2}$ )	Peso de cápsula (g)	Rendimiento ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ )	N° de cápsulas ( $\text{N}^{\circ}\cdot\text{m}^{-2}$ )	Peso de cápsula (g)
DP 1238	SF	C	305,6	56,0	5,6	227,9	74	3,1
	SF	AT	164,4	77,7	2,4	163,0	49	3,6
	CF	C	407,5	70,0	5,9	328,5	87	3,8
	CF	AT	109,5	70,0	1,6	230,5	90	2,6
DP 402	SF	C	268,7	123,5	2,2	263,6	66	4,2
	SF	AT	255,9	131,2	2,0	239,4	83	3,0
	CF	C	250,9	114,6	2,2	242,0	65	3,7
	CF	AT	212,7	105,7	2,1	178,2	64	2,8
Genotipo		DP 1238	244,3 a	71 a	3,8 a	234,6 a	71 a	3,5 a
		DP 402	249,5 a	116 b	2,3 b	233,7 a	74 a	3,2 a
Fertilización		SF	248,7 a	97 a	3,1 a	223,7 a	70 a	3,5 a
		CF	245,1 a	90 a	3,0 a	244,6 a	76 a	3,2 a
Condición térmica		C	304,7 a	95 a	3,8 a	263,8 a	70 a	3,8 a
		AT	189,1 b	92 a	2,2 b	204,5 b	74 a	2,9 b
Significancia								
Genotipo			NS	0,001	0,0002	NS	NS	NS
Fertilización			NS	NS	NS	NS	NS	NS
Condición térmica			0,0004	NS	0,0002	0,001	NS	0,003
LDS (0,05)			49,7	23	0,6	30,2	12	0,5
Genotipo*Fertilización			NS	NS	NS	0,0004	0,003	NS
Genotipo*Condición térmica			0,003	NS	0,001	NS	NS	NS
Fertilización*Condición térmica			NS	NS	NS	NS	NS	NS
LDS (0,05)			70,3	33	0,9	42,6	17	0,7
Genotipo*Fertilización*Condición térmica			NS	NS	NS	NS	NS	NS
LDS (0,05)			99,5	47	1,2	60,3	24	1,0
CV (%)			23,2	28,8	23,2	14,8	18,9	17,9

NS, no significativo. Letras distintas indican diferencia significativa para  $p \leq 0,05$  según test LSD.

C.V. (%) Coeficiente de variación en porcentaje.

LDS (0,05) Diferencia mínima significativa.

Estos resultados son coincidentes con los encontrados por Reddy *et al.* (1992), quienes observaron que el rendimiento bruto del algodón disminuye con el incremento de las

temperaturas. Una de las posibles causas que explicarían las diferencias de la disminución de rendimiento entre los genotipos en condiciones de alta temperatura, según lo planteado por Brown (2002), sería que los cultivares de algodón de ciclo más cortos destinan más fotoasimilados a las estructuras fructíferas; mientras que los genotipos de ciclo largo particionan mayor cantidad de asimilados hacia el crecimiento vegetativo a expensas del desarrollo de la cápsula.

Por otro lado, los resultados concuerdan con Pettigrew (2008) quien observó que el número de cápsulas producidas por unidad de superficie, generalmente el componente que determina el rendimiento, no se vio afectado por la variación de la temperatura de crecimiento y que la reducción del peso de las cápsulas en condiciones de alta temperatura determinó el rendimiento bruto del algodón. El bajo peso de las cápsulas en el régimen cálido podría estar asociado a la menor duración de la etapa de llenado (Luo *et al.*, 2013).

Una de las posibles causas que explicarían la mayor cantidad de cápsulas observadas como resultado de la aplicación de fertilizante nitrogenado, según lo planteado por Oosterhuis (2001), es que la deficiencia de nitrógeno durante la fructificación reduce la fotosíntesis de las hojas y también el transporte de asimilados desde las hojas a las cápsulas, lo que a su vez resulta en un menor número de cápsulas y, en consecuencia, una disminución del rendimiento.

### **3.9 Producción y retención de cápsulas**

En ambas localidades, el análisis de los resultados reveló que la interacción fertilización\*condición térmica tuvo efecto significativo en la cantidad total de sitios fructíferos por planta ( $p \leq 0,04$  y  $p \leq 0,004$ ; Tabla 8). El cultivo en condición de estrés térmico y fertilizado, mostró un 10 y 5,6% menos de sitios fructíferos en comparación con los no fertilizados en L1 y L2, respectivamente.

En L1, el número de sitios fructíferos por planta en el cultivo sin estrés térmico no difirió entre fertilizado y sin fertilizar. En cambio, en L2 el cultivo que no estuvo expuesto a altas temperaturas y recibió fertilizante nitrogenado, presentó un 10,5% menos de sitios fructíferos respecto al no fertilizado.

**Tabla 8.** Total de sitios fructíferos y porcentajes de cápsulas por planta a madurez fisiológica del cultivo en los tratamientos sin fertilización (SF), con fertilización (CF), sin episodios de alta temperaturas (C) y con episodios de alta temperatura (AT) para los genotipos DP 1328 y DP 402 en L1 (Reconquista) y L2 (Tostado).

Genotipo	Fertilización	Condición térmica	L1		L2	
			Total de sitios fructíferos por planta	Retención de cápsulas por planta (%)	Total de sitios fructíferos por planta	Retención de cápsulas por planta (%)
DP 1238	SF	C	21	19,0	19	24,5
	SF	AT	21	19,7	16	24,2
	CF	C	21	22,1	16	40,8
	CF	AT	18	17,5	18	31,8
DP 402	SF	C	20	36,0	19	38,2
	SF	AT	20	39,1	19	29,9
	CF	C	20	32,8	18	35,2
	CF	AT	19	30,9	20	32,7
Genotipo	DP 1238		20 a	19,6 a	17 a	30,3 a
	DP 402		20 a	34,7 b	19 b	34,0 a
Fertilización	SF		20 a	28,5 a	18 a	29,2 a
	CF		19 b	25,8 a	18 a	35,1 b
Condición térmica	C		20 a	27,5 a	18 a	34,7 a
	AT		19 b	26,8 a	18 a	29,6 a
Significancia						
Genotipo			NS	0,0001	0,0001	NS
Fertilización			0,04	NS	NS	0,03
Condición térmica			0,03	NS	NS	NS
LDS (0,05)			0,9	4,2	0,7	5,2
Genotipo*Fertilización			0,04	NS	NS	0,02
Genotipo*Condición térmica			NS	NS	0,04	NS
Fertilización*Condición térmica			0,04	NS	0,004	NS
LDS (0,05)			1,3	5,9	1,1	7,3
Genotipo*Fertilización*Condición térmica			NS	NS	NS	NS
LDS (0,05)			1,8	8,3	1,5	10,3
CV (%)			9,5	32,5	8,7	34,0

NS, no significativo. Letras distintas indican diferencia significativa para  $p \leq 0,05$  según test LSD.

C.V. (%) Coeficiente de variación en porcentaje.

LDS (0,05) Diferencia mínima significativa.

La interacción genotipo\*condición térmica en L2, tuvo un resultado significativo para el número de sitios fructíferos por planta ( $p \leq 0,04$ , Tabla 8). Éstos disminuyeron con el

estrés térmico un 9,5 y 5% en los genotipos DP 1238 y DP 402, respectivamente. En L1 no hubo un efecto significativo de la interacción genotipo\*condición térmica ( $p>0,05$ ).

En L1, la interacción genotipo\*fertilización tuvo efecto significativo en la cantidad de sitios fructíferos por planta ( $p\leq 0,04$ ; Tabla 8). El genotipo DP 1238 fertilizado produjo un 9,5% menos de sitios fructíferos que el no fertilizado. Sin embargo, el DP 402 no mostró diferencias entre el cultivo con y sin fertilización. En L2, la interacción genotipo\*fertilización no afectó significativamente la cantidad de sitios fructíferos ( $p>0,05$ ; Tabla 8).

El genotipo DP 402 en L2 presentó significativamente mayor cantidad de sitios fructíferos que el DP 1238 ( $p\leq 0,0001$ ). En L1, la fertilización y las altas temperaturas mostraron menos sitios fructíferos por planta ( $p\leq 0,04$  y  $p\leq 0,03$ ). No hubo un efecto significativo de la interacción genotipo\*fertilización\*condición térmica (Tabla 8).

Estos resultados son coincidentes con los encontrados por Ali y Hameed (2011) los cuales observaron que la producción de sitios fructíferos fue mayor con la aplicación de nitrógeno. No obstante, las posibles causas que explicarían una menor cantidad de sitios fructíferos en los tratamientos con fertilización y altas temperaturas, según lo planteado por Luo *et al.* (2013) y Reddy *et al.* (1999), serían las siguientes. El aumento de la temperatura genera una pérdida de la capacidad reproductiva asociada a un acortamiento de los períodos reproductivos del cultivo. Además, la fertilización nitrogenada generaría desequilibrio entre el crecimiento vegetativo y reproductivo, favoreciendo al primero (Oosterhuis, 2001). La disminución en la diferenciación de sitios reproductivos en el genotipo DP 1238 en L2 podría estar asociada a una reducción en el tiempo de 'recorte' lo que provoca una madurez más temprana (Bange y Milroy, 2004).

Al momento de la cosecha del algodón se detectaron diferencias significativas en el porcentaje de retención de cápsulas entre genotipos en L1 ( $p\leq 0,0001$ ; Tabla 8). El genotipo DP 402 (34,7%) tuvo mayor retención de cápsulas que el DP 1238 (19,6%). En L2, pese a que el genotipo DP 402 (34,0%) tuvo un porcentaje de retención superior al DP 1238 (30,3%), la diferencia no fue significativa ( $p>0,05$ ).

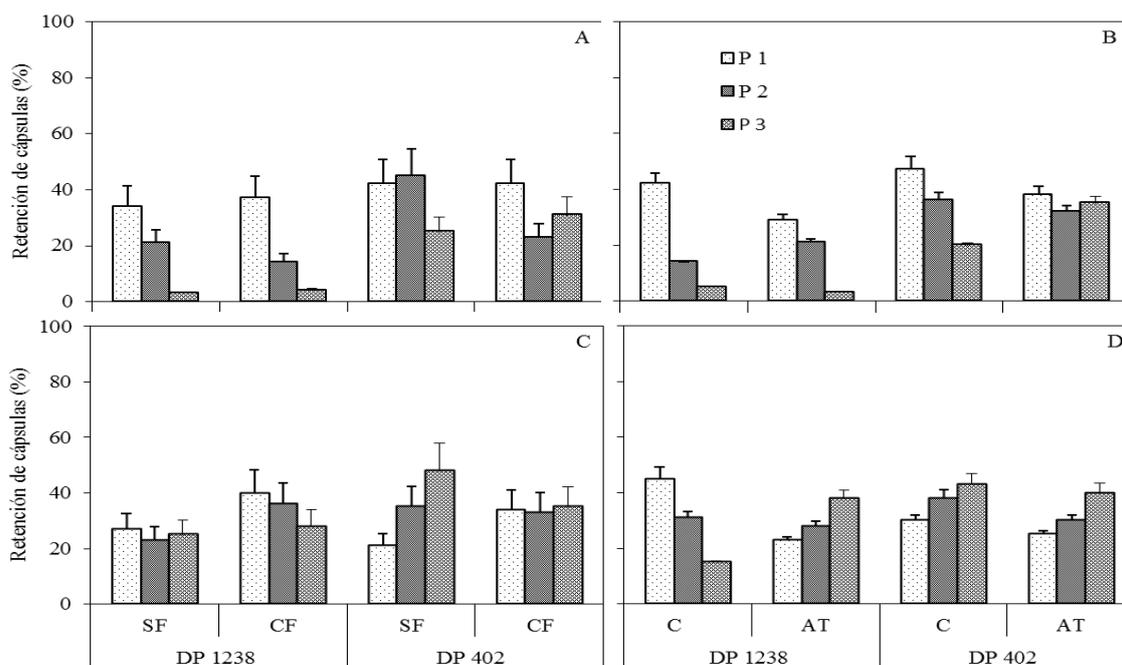
El factor fertilización y la interacción genotipo\*fertilización tuvieron efectos significativos en el porcentaje de retención de cápsulas en L2 ( $p\leq 0,03$  y  $p\leq 0,02$ ; Tabla 8). La fertilización en el genotipo DP 1238 incrementó un 12% la retención de cápsulas

respecto al no fertilizado. En el genotipo DP 402 con y sin aplicación de nitrógeno no se observaron diferencias en el porcentaje de retención de cápsulas por planta. La fertilización generó un aumento en el porcentaje de retención de cápsulas un 5,9% comparado con el no fertilizado (Tabla 8). No se detectaron diferencias significativas para el factor condición térmica, ni para las interacciones genotipo\*condición, fertilización\*condición térmica y genotipo\*fertilización\*condición térmica ( $p > 0,05$ ; Tabla 8).

La mayor retención de cápsulas en el genotipo DP 402 estaría asociado a que las variedades precoces destinan una mayor cantidad de fotoasimilados a sus órganos reproductivos (Gaytán *et al.*, 2001). Sin embargo, otra causa puede estar asociada a que el genotipo DP 1238 aumentó el desprendimiento de cápsulas debido a la precipitación previa a la cosecha (Mas, 1997). Por otra parte, la aplicación de fertilizantes nitrogenado en el cultivo de algodón provoca un aumento en la cantidad de cápsulas retenidas en la planta (Ali y Hameed, 2011).

La distribución de las cápsulas retenidas en la planta difirió significativamente entre genotipos en L1 y L2 ( $p \leq 0,03$  y  $p \leq 0,05$ ). La retención de cápsulas en las primeras cinco ramas reproductivas fue mayor en el genotipo DP 1238 un 11 y 12% que el DP 402 en L1 (66%) y L2 (46%), respectivamente. Por encima de la quinta rama reproductiva no hubo diferencia significativa entre los genotipos ( $p > 0,05$ ). No se observaron efectos significativos de los factores fertilización, condición térmica, ni tampoco para las interacciones entre los factores genotipo\*fertilización\*condición térmica ( $p > 0,05$ ).

En relación con la distribución de las cápsulas en las ramas reproductivas, en L2 la interacción genotipo\*condición térmica tuvo efecto significativo en la retención de cápsulas en la primera posición en la rama reproductiva ( $p \leq 0,03$ ). Las altas temperaturas provocaron una disminución de las cápsulas en la primera posición en comparación al control (sin estrés) un 22 y 5%, respectivamente, en ambos genotipos (Figura 10). La fertilización nitrogenada afectó significativamente la cantidad de cápsulas en la primera posición en L2 ( $p \leq 0,0003$ ). La aplicación de nitrógeno incrementó un 13% las cápsulas en la primera posición respecto a los no fertilizados (Figura 10). En L1, se detectó diferencias significativas entre las condiciones térmicas ( $p \leq 0,01$ ). Las altas temperaturas disminuyeron un 11% las cápsulas en la primera posición en relación con el cultivo no estresado.



**Figura 10.** Porcentaje de retención de cápsulas al momento de la cosecha según la posición (P1, P2 y P3) dentro de las ramas reproductivas para los genotipos de algodón DP 1238 y DP 402 según el factor fertilización (sin fertilización “SF”; con fertilización “CF”) y condición térmica (control “C” y alta temperaturas “AT”) en L1 (A y B) y L2 (C y D). Campaña agrícola 2015/2016.

El número de cápsulas en segunda posición en las ramas reproductivas presentaron diferencias significativas entre genotipos y fertilización en L1 ( $p \leq 0,01$  y  $p \leq 0,02$ ). El genotipo DP 402 tuvo un 24% más de cápsulas en la segunda posición que el DP 1238. Por otra parte, la aplicación de nitrógeno en el cultivo provocó un 14% menos de cápsulas que los no fertilizados (Figura 10).

En L1 y L2, se observó efecto significativo de la interacción genotipo\*condición térmica sobre la retención de cápsulas en la tercera posición de las ramas reproductivas ( $p \leq 0,01$  y  $p \leq 0,02$ , respectivamente). En L1, el genotipo DP 402 sometido a estrés térmico, retuvo significativamente un 15% más de cápsulas que los no estresados. Sin embargo, el DP 1238 no presentó diferencia entre los regímenes térmicos. En L2, el genotipo DP 1238 con estrés térmico incrementó significativamente un 23% en comparación a la condición control (sin estrés). En el DP 402 no se detectaron diferencias significativas por la condición térmica. La retención de cápsulas en la tercera posición en el genotipo DP 402 fue significativamente mayor que en el DP 1238 un 24 y 15% en L1 ( $p \leq 0,0001$ ) y L2 ( $p \leq 0,01$ ), respectivamente (Figura 10).

Oosterhuis (2001), determinó que una gran fracción del rendimiento total se deriva de la porción central de la planta; las ramas reproductivas en la parte superior de la planta producen menos cápsulas, tardan más en madurar y son de menor tamaño. Ekinici *et al.* (2017) encontraron resultados similares, donde la retención de la cápsula en la primera posición disminuyó debido al estrés de alta temperatura. Las cápsulas de la primera posición son más pesadas y se producen en mayores cantidades que las cápsulas de cualquier otra posición. Las cápsulas de la primera y segunda posición contribuyen con el 80 a 90 por ciento del rendimiento total de la planta (Scarpin *et al.*, 2017 a).

### **3.10 Rendimiento y calidad de fibra**

El objetivo más importante del cultivo del algodón es la producción de fibra. Los datos de la Tabla 9 muestran que el porcentaje de fibra en L2 difirió significativamente con la interacción genotipo\*fertilización ( $p \leq 0,01$ ), y el factor genotipo ( $p \leq 0,0001$ ). La fertilización afectó significativamente el porcentaje de fibra en ambas localidades ( $p \leq 0,05$  y  $p \leq 0,0001$ ). Además, los resultados indicaron que las interacciones genotipo\*condición térmica y genotipo\*fertilización tuvieron efectos significativos en la producción de fibra en L1 ( $p \leq 0,01$ ) y L2 ( $p \leq 0,0002$ ). En cambio, las demás interacciones no afectaron significativamente el desmote ( $p > 0,05$ ).

La fertilización nitrogenada en L2, ocasionó una disminución significativa en el porcentaje de fibra en el genotipo DP 402, en relación al no fertilizado. Por otra parte, el DP 1238 (40%) presentó el mayor desmote sin mostrar diferencia significativa con la aplicación de fertilizante. En L1 se evidencia que la fertilización nitrogenada tiende a disminuir la proporción de fibra (Tabla 9).

La aplicación de nitrógeno tiene un efecto significativo en la biomasa. La reducción de la biomasa se debe a que el suministro insuficiente de nitrógeno genera una reducción del área foliar y la tasa de asimilación de dióxido de carbono que, a su vez, restringen el crecimiento reproductivo (Oosterhuis, 1999). Por otra parte, estos resultados son coincidentes con los encontrados por Ali y Hameed, (2011) quienes observaron que la utilización de fertilizantes nitrogenados genera una reducción en el porcentaje de fibra, debido al mayor tamaño de las semillas y que distintos cultivares muestran un potencial diferente en la producción de semillas.

**Tabla 9.** Rendimiento ( $\text{g.m}^{-2}$ ) y porcentaje de fibra (%) para los genotipos DP 1238 y DP 402 según la fertilización (SF, sin fertilización y CF, con fertilización) y condición térmica (C, control y AT, alta temperatura) en las L1 (Reconquista) y L2 (Tostado). Campaña agrícola 2015/2016.

Genotipo	Fertilización	Condición térmica	L1		L2	
			Porcentaje de fibra (%)	Rendimiento de fibra ( $\text{g.m}^{-2}$ )	Porcentaje de fibra (%)	Rendimiento de fibra ( $\text{g.m}^{-2}$ )
			DP 1238	SF	C	43
	SF	AT	44	76,5	41	66,3
	CF	C	39	153,6	40	128,7
	CF	AT	38	42,5	40	92,0
DP 402	SF	C	42	115,1	39	106,3
	SF	AT	42	108,5	40	95,5
	CF	C	42	108,2	36	88,2
	CF	AT	41	88,9	36	66,2
Genotipo		DP 1238	41 a	98,9 a	40 a	94,5 a
		DP 402	42 a	105,2 a	38 b	89,0 a
Fertilización		SF	43 a	105,8 a	40 a	89,7 a
		CF	40 b	98,3 a	38 b	93,7 a
Condición térmica		C	42 a	125,0 a	39 a	103,5 a
		AT	41 a	79,1 b	39 a	80,0 b
Significancia						
Genotipo			NS	NS	0,0001	NS
Fertilización			0,05	NS	0,0001	NS
Condición térmica			NS	0,001	NS	0,002
LDS (0,05)			2,8	21,8	1	12,1
Genotipo*Fertilización			NS	NS	0,01	0,0002
Genotipo*Condición térmica			NS	0,01	NS	NS
Fertilización*Condición térmica			NS	NS	NS	NS
LDS (0,05)			3,9	30,8	1,2	17,1
Genotipo*Fertilización*Condición térmica			NS	NS	NS	NS
LDS (0,05)			5,6	43,5	1,8	24,2
CV (%)			7,6	24,5	2,4	15,2

NS, no significativo. Letras distintas indican diferencia significativa para  $p \leq 0,05$  según test LSD.

C.V. (%) Coeficiente de variación en porcentaje.

LDS (0,05) Diferencia mínima significativa

El genotipo DP 1238 fertilizado en L2, aumentó el 40,3% el rendimiento de fibra respecto a su control (sin fertilizar). Sin embargo, la aplicación de nitrógeno generó una

merma del 23,5% en la producción de fibra en el DP 402. En las parcelas no fertilizadas el genotipo DP 402 produjo 22,1% más de fibra que el DP 1238.

En ambas localidades, la cantidad de fibra del algodón no se modificó significativamente ( $p > 0,05$ ; Tabla 9) por la condición de fertilización ni por el genotipo. En cambio, el incremento de las temperaturas afectó significativamente el rendimiento de fibra en L1 ( $p \leq 0,001$ ) y L2 ( $p \leq 0,002$ ).

En L1, las altas temperaturas ocasionaron en los genotipos DP 1238 y DP 402 una reducción significativa en la producción de fibra, del 41,9 y 11,6%, respectivamente, en comparación a su control. En condiciones de estrés térmico, el genotipo DP 402 presentó un 39,7% más de rendimiento de fibra que el DP 1238. En ausencia de episodios de alta temperatura, los genotipos no presentaron diferencia significativa en el rendimiento de fibra. Sin embargo, el genotipo de ciclo largo tuvo tendencia a producir más fibra que el genotipo precoz. En L2, se apreció que el estrés térmico provocó una disminución significativa de 22,7% en la producción de fibra en relación al no estresado.

El incremento de las temperaturas produjo una reducción del rendimiento de fibra sin afectar el porcentaje de fibra. Una de las posibles causas que explicarían la reducción en la producción de fibra en algodón sometido a altas temperaturas, según lo planteado por Pettigrew (2008), estaría asociada a una menor cantidad de semillas producidas por cápsula por la interrupción de la fertilización del óvulo. Por otra parte, estos resultados coinciden con lo publicado por Godoy y Palomo (1999), que los genotipos de madurez temprana (ciclo corto) tienden a disminuir el rendimiento de fibra.

Del análisis de las propiedades tecnológicas que definen la calidad de fibra (Tabla 10), en L1 las interacciones genotipo\*fertilización ( $p \leq 0,02$ ) y genotipo\*condición térmica ( $p \leq 0,02$ ) tuvieron efectos significativos sobre la longitud de fibra. Además, los efectos de las aplicaciones individuales de la fertilización y genotipo fueron significativos ( $p \leq 0,04$  y  $p \leq 0,001$ , respectivamente).

La condición térmica, las interacciones fertilización\*condición térmica y genotipo\*fertilización\*condición térmica no reportaron significancia ( $p > 0,05$ ) en la longitud de fibra (Tabla 10). En L2, la longitud de fibra tanto los factores individuales como las interacciones entre ellos, no fueron significativas ( $p > 0,05$ ).

**Tabla 10.** Valores de calidad de fibra para los genotipos DP 1238 y DP 402 según los tratamientos (sin fertilización (SF), con fertilización (CF), sin episodios de alta temperaturas (C) y con episodios de alta temperatura (AT) en las L1 (Reconquista) y L2 (Tostado). Campaña agrícola 2015-2016.

Genotipo	Fertilización	Condición térmica	Longitud (mm)		Uniformidad (%)		Micronaire (Ug/Inch)		Resistencia (gr/tex)	
			L 1	L 2	L 1	L 2	L 1	L 2	L 1	L 2
			DP 1238	SF	C	26,5	28,5	80,6	82,4	5,0
	SF	AT	25,2	28,2	76,6	82,5	4,8	5,0	23,9	29,2
	CF	C	24,6	27,8	73,3	82,1	4,8	4,9	24,1	28,1
	CF	AT	22,6	28,8	74,1	82,2	4,7	4,7	24,2	29,6
DP 402	SF	C	26,9	29,2	81,9	83,7	4,7	3,9	28,6	31,5
	SF	AT	29,2	27,6	82,4	81,6	4,5	4,0	31,8	29,2
	CF	C	28,5	27,6	81,5	81,8	5,0	3,7	29,5	30,7
	CF	AT	28,0	27,9	81,3	80,7	4,7	3,4	29,2	29,4
Genotipo		DP 1238	24,7a	28,3a	76,1a	82,3a	4,8a	4,9a	24,5a	28,7a
		DP 402	28,2b	28,1a	81,8b	81,9a	4,7a	3,7b	29,8b	30,2b
Fertilización		SF	27,0a	28,4a	80,4a	82,5a	4,8a	4,5a	27,5a	29,4a
		CF	25,9b	28,0a	77,6b	81,7a	4,8a	4,2b	26,7a	29,5a
Condición térmica		C	26,6a	28,3a	79,3a	82,5a	4,9a	4,4a	27,0a	29,5a
		AT	26,3a	28,2a	78,6a	81,7a	4,7a	4,3a	27,3a	29,3a
Significancia										
Genotipo			0,0001	NS	0,0001	NS	NS	0,0001	0,0001	0,003
Fertilización			0,04	NS	0,002	NS	NS	0,01	NS	NS
Condición térmica			NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
LDS (0,05)			1,0	0,9	1,7	0,81	0,3	0,2	1,2	0,9
Genotipo*Fertilización			0,02	NS	0,02	NS	NS	NS	NS	NS
Genotipo*Condición térmica			0,02	NS	NS	0,04	NS	NS	NS	0,002
Fertilización*Condición térmica			NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
LDS (0,05)			1,4	1,2	2,3	1,1	0,3	0,3	1,6	1,3
Genotipo*Fertilización*Condición térmica			NS	NS	NS	NS	NS	NS	0,03	NS
LDS (0,05)			2,0	1,7	3,3	1,6	0,5	0,5	2,3	1,8
CV (%)			4,3	3,5	2,4	1,1	5,9	6,5	5,0	3,6

NS, no significativo. Letras distintas indican diferencia significativa para  $p \leq 0,05$  según test LSD.

C.V. (%) Coeficiente de variación en porcentaje.

LDS (0,05) Diferencia mínima significativa.

La aplicación de fertilizantes nitrogenado en L1, no generó en el DP 402 diferencia significativa en la longitud de fibra en relación al no fertilizado. Mientras, que el genotipo DP 1238 acertó la longitud de fibra un 8,8% respecto al no fertilizado. La mayor longitud de fibra la presentó el DP 402 (28,3 mm).

En concordancia con los resultados en L2 y DP 402 en L1, Ali y Hameed (2011) y Mondino y Peterlin (2011) observaron que el agregado de fertilizantes nitrogenados al cultivo de algodón no modifica la longitud de la fibra. Por lo tanto, es posible que los efectos de la fertilización en la longitud de fibra en DP 1238 se deban a las condiciones ambientales (abundantes precipitaciones) al momento de la cosecha; que provocaron limpieza y/o un secado excesivo previo al desmotado y con ello un acortamiento de la longitud de la fibra (Scarpin *et al.*, 2017 b).

Las altas temperaturas provocaron un acortamiento de la longitud de fibra un 6,5% en el genotipo DP 1238 respecto al control. En cambio, en el DP 402 no hubo diferencia significativa entre los regímenes de temperatura. El DP 402 presentó fibras un 8,3 y 19,7% más largas que el DP 1238 en los tratamientos sin y con estrés térmico, respectivamente.

Los valores de longitud de fibra en el DP 1238 concuerda con lo publicado por Reddy *et al.* (1999) y Meredith (2005), quienes informaron que las temperaturas más altas producían longitudes de fibra más cortas. Sin embargo, los resultados en el DP 402 y L2 son consistentes con lo publicado por Kim y Triplett (2001), un cultivo de algodón en condiciones de campo y expuesto a temperaturas de aproximadamente 29,5°C, se podría obtener longitud de fibra de entre 28-30 mm. Por otra parte, las excesivas precipitaciones previa a la cosecha del genotipo DP 1238 pudo afectar la longitud, debido a que la fibra está sujeta a rotura durante el procesado posterior de la fibra (Mas, 1997).

Los resultados presentados en la Tabla 10 muestran que la uniformidad de la fibra se vio afectada significativamente solamente por las interacciones genotipo\*fertilización ( $p \leq 0,02$ ) y genotipo\*condición térmica ( $p \leq 0,04$ ) en L1 y L2, respectivamente. Se observó que la fertilización nitrogenada tuvo efecto significativo en L1 ( $p \leq 0,02$ ) y no fueron significativo en L2 ( $p > 0,05$ ). Mientras que el factor genotipo sólo presentó diferencia significativa ( $p \leq 0,0001$ ) en L1. Para ambas localidades la condición térmica no generó diferencia significativa ( $p > 0,05$ ) en la uniformidad de la fibra.

Cuando no se aplicó fertilizante nitrogenado en L1, la uniformidad de la fibra en el genotipo DP 402 (82,2%) fue mayor a la del DP 1238 (78,6%). No obstante, la aplicación de nitrógeno generó una reducción del 1,0 y 6,2% en la uniformidad de la fibra en comparación con el no fertilizado en los genotipos DP 402 y DP 1238,

respectivamente. En oposición, los resultados en L2 indicaron que la uniformidad no presenta diferencia significativa entre el cultivo fertilizado (81,7%) y no fertilizado (82,5%). En relación al genotipo, DP 402 en L1, presentó la mayor uniformidad que el DP 1238; en cambio, en L2 no se encontraron diferencias significativas entre los genotipos.

Los resultados en L2 son coincidentes a los señalados por Mondino y Peterlin (2011), quienes manifestaron que la aplicación de fertilizante nitrogenado en algodón no tiene ningún efecto sobre la uniformidad de la fibra. Por otra parte, Saleem *et al.* (2010), mostraron que la uniformidad de la fibra no se vio afectada por los niveles de nitrógeno aplicado al cultivo, a los genotipos y a la interacción entre ellos. La menor uniformidad en el genotipo 1238 en L1 estaría asociada a los excesos de precipitaciones momentos previos a la cosecha (Mas, 1997).

En las condiciones térmico control (sin estrés) en L2, la uniformidad de la fibra no presentó diferencia significativa entre los genotipos DP 402 (82,7%) y DP 1238 (82,3%). En cambio, cuando se sometieron a condiciones de alta temperaturas el DP 402 disminuyó de 1,6% en relación a su control; el DP 1238 presentó valores similares entre los regímenes térmico (C, 82,3% y AT, 82,4%).

El incremento de la temperatura diurna durante las etapas reproductivas afecta en forma negativa la uniformidad de la fibra de algodón (Liakatas *et al.*, 1998). Sin embargo, Bradow y Davidonis (2000), plantearon que la mejora aparente en la uniformidad de la longitud de la fibra en cultivo estresado por altas temperaturas, puede estar relacionada con una mayor disponibilidad de asimilados para el desarrollo de las fibras debido a que presenta menos semillas por cápsula.

Los valores de micronaire en L2 presentaron diferencias significativas de los factores genotipo ( $p \leq 0,0001$ ) y fertilización ( $p \leq 0,01$ ). Por lo contrario, no se evidencian diferencias significativas para la condición térmica ni en las interacciones de los factores ( $p > 0,05$ ). En L1, los resultados muestran que no hubo diferencias significativas tanto en los factores individuales como para sus interacciones ( $p > 0,05$ ).

Los resultados en L1 son consistentes con los encontrados Bauer *et al.* (1993), el cual observó que el agregado de nitrógeno tuvo poco efecto constante en el índice de finura y madurez de la fibra y que las diferencias son principalmente genotípicas. Sin embargo, Winkler *et al.*, (2017) observaron que a medida que se atrasa la fecha de siembra en L1

disminuye el micronaire, significativamente en los genotipos de ciclo cortos (DP 402). Genotipos con mayor micronaire presentan menores resistencias y viceversa (Scarpin *et al.*, 2017 b).

En el caso de la resistencia de la fibra se encontraron en ambas localidades diferencias significativas entre los genotipos L1 ( $p \leq 0,0001$ ) y L2 ( $p \leq 0,003$ ). La fertilización y condición térmica no afectaron la resistencia de la fibra ( $p > 0,05$ ). En L2, se detectó interacción significativa genotipo\*condición térmica ( $p \leq 0,02$ ). En cambio, en L1 sólo tuvo diferencias significativas la interacción genotipo\*fertilización\*condición térmica ( $p \leq 0,03$ ).

En el cultivo no fertilizado en L1, el incremento de las temperaturas generó una reducción de la resistencia de la fibra en el genotipo DP 1238 un 7,1% en comparación al que no sufrió estrés térmico (25,6 gr.tex<sup>-1</sup>). Sin embargo, el DP 402 con altas temperaturas incrementaron un 7,7% la resistencia de la fibra respecto al no estresado (28,6 gr.tex<sup>-1</sup>). En los tratamientos fertilizados los regímenes térmicos tuvieron valores de resistencia de la fibra similares.

El incremento de la temperatura en L2 disminuyó un 6,3% la resistencia de la fibra en el genotipo DP 402 en comparación a la condición térmica control (31,1 gr.tex<sup>-1</sup>). En cambio, la resistencia de la fibra en el DP 1238 fue mayor en condiciones de altas temperaturas (29,4 gr.tex<sup>-1</sup>) respecto al que no tuvo estrés térmico (28,0 gr.tex<sup>-1</sup>). En ambas localidades el genotipo DP 402 muestra mayor resistencia que el DP 1238 (Tabla 10).

Los resultados de este estudio son coincidentes con Mondino y Peterlin (2011), quienes observaron que la aplicación de fertilizantes nitrogenados en el cultivo de algodón no afecta la resistencia de la fibra. Asimismo, Saleem *et al.* (2010) plantearon que la fuerza de la fibra está influenciada principalmente por el genotipo y las condiciones ambientales en las que evoluciona el cultivo (Ali y Hameed, 2011). Las fibras producidas en condiciones de alta temperatura fueron más fuertes debido a un mayor engrosamiento de la pared secundaria (Lokhande y Reddy, 2014). En tal sentido, el desarrollo de las fibras más fuertes estaría asociado a temperatura ambiente más cálida durante el período de crecimiento de las cápsulas (Pettigrew, 2008).

## CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES

El empleo de las carpas de polietileno sobre el canopeo del algodón creciendo a campo se puede conseguir un incremento de las temperaturas máximas diarias durante el inicio reproductivo del cultivo.

De acuerdo a la hipótesis y los objetivos específicos planteados, se obtienen las siguientes conclusiones:

Las plantas sometidas a estrés por altas temperaturas en ambos genotipos de algodón, independientemente del nivel de fertilización, cumplieron el ciclo en un menor tiempo.

La aplicación con nitrógeno incrementó el área foliar, la altura de planta y el número de nudos en ambos genotipos, siendo mayores en el ciclo largo. En los dos genotipos las altas temperaturas producen una merma en el área foliar y en la altura de planta, sin afectar el número de nudos.

El incremento de la temperatura disminuyó el rendimiento bruto en los genotipos de algodón como consecuencia del menor peso de las cápsulas. La pérdida de rendimiento fue más importante en el genotipo de ciclo largo, debido a un mayor destino de fotoasimilados al crecimiento vegetativo respecto a los genotipos de ciclo corto.

En los cultivos de algodón sometidos a episodios de altas temperaturas durante el inicio de la etapa reproductiva, la fertilización nitrogenada temprana no alcanzó a mitigar o revertir la disminución del rendimiento mediante la producción y/o partición de asimilados.

El porcentaje de retención en la primera posición disminuye cuando el cultivo es sometido a altas temperaturas e incrementa la retención de sitios reproductivos en la tercera posición, siendo esto mayor en el genotipo de ciclo corto. La fertilización mejora la retención de las cápsulas en la primera posición en los genotipos de ciclo largo.

El rendimiento de fibra al desmote disminuye cuando es sometido a condiciones de altas temperaturas y nutrición nitrogenada, debido a la menor retención de cápsulas en la primera posición y aumento de la cápsula en la tercera posición. Las cápsulas en la tercera posición son de menor tamaño ocasionado por un menor período de llenado. La fertilización disminuye el rendimiento de fibra debido al mayor tamaño de la semilla.

Las propiedades tecnológicas que definen la calidad de fibra tuvieron comportamientos diferenciales en función de las altas temperaturas y la fertilización nitrogenada.

Se rechaza la hipótesis planteada “Ante un episodio de estrés por altas temperaturas durante la etapa reproductiva del cultivo de algodón, los genotipos fertilizados con nitrógeno en prefloración producen mayor rendimiento y alcanzan mejores parámetros de calidad de fibra respecto a aquéllos sin el agregado de nitrógeno”.

Este conocimiento generado permitirá conocer el comportamiento de la fertilización nitrogenada en algodón antes cambios climáticos que produzcan una elevación de la temperatura.

Se debe continuar con las investigaciones acerca de los efectos del estrés térmico por altas en diferentes el período reproductivo y las posibles repuestas a distintos fertilizantes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKHTAR, N., G. ABBAS, K. HUSSAIN, N. AHMAD y S. RASHID. 2013. Impact of heat induced sterility on some genotypes of upland cotton under field conditions. *International Journal of Agriculture and Applied Sciences*, 5: 2-4.
- ALI, N. 2015. Nitrogen utilization features in cotton crop. *American Journal of Plant Sciences*, 6(07), 987.
- ALI, H. y R.A. HAMEED. 2011. Growth, yield and yield components of American cotton (*Gossypium hirsutum* L.) as affected by cultivars and nitrogen fertilizer. *Chemical analysis*, p: 15.
- AL-KHATIB, K. y A. PAULSEN. 1999. High-temperature effects on photosynthetic processes in temperate and tropical cereal. *Crop Science*, 39: 119-125.
- ALWARD, R.D., J.K. DETLING y D.G. MILCHUNAS. 1999. Grassland vegetation changes and nocturnal global warming. *Science*, 283: 229-231.
- ANDRADE, F.H. y V.O. SADRAS. 2009. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 3ª Edición. Capítulo 3. p: 41-68.
- APARICIO, N., D. VILLEGAS, J.L. ARAUS, J. CASADESUS y C. ROYO. 2002. Relationship between growth traits and spectral vegetation indices in durum wheat. *Crop Science*, 42: 1547-1555.
- AYISSAA, T. y F. KEBEDE. 2011. Effect of nitrogenous fertilizer on the growth and yield of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) varieties in middle Awash, Ethiopia. *J. Drylands*, 4, 248-258.
- BANGE, M.P. y S.P. MILROY. 2000. Timing of crop maturity in cotton: Impact of dry matter production and partitioning. *Field Crops Research*, 68: 143-155.
- BANGE, M.P. y S.P. MILROY. 2004. Growth and dry matter partitioning of diverse cotton genotypes. *Field Crops Research*, 87: 73-87.
- BASINSKII, J.J. 1975. Nitrogen supply, N uptake and cotton yield. *Cotton Grow. Review*, 52: 1-10.

- BAUER, P.J., J.J. CAMBERATO y S.H. ROACH. 1993. Cotton yield and fiber quality responses to green manures and nitrogen. *Agronomy Journal*, 85: 1019-1023.
- BIANCONI, A. 2008. Fertilización del algodón. En: Melgar R. y Díaz Zorita M., Fertilización de cultivos y pasturas. Buenos Aires: Hemisferio Sur S.A. 2ª Edición, p: 363-372.
- BIBI, A.C., D.M. OOSTERHUIS y E.D. GONIAS. 2008. Photosynthesis, quantum yield of photosystem II, and membrane leakage as affected by high temperatures in cotton genotypes. *Journal Cotton Science*, 12: 150-159.
- BLAISE, D. 2006. Yield, Boll Distribution and Fibre Quality of Hybrid Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) as influenced by Organic and Modern Methods of Cultivation. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 192: 248-256.
- BONDADA, B.R. y D.M. OOSTERHUIS. 2001. Canopy Photosynthesis, Specific Leaf Weight, and Yield Components of Cotton under Varying Nitrogen Supply. *Journal of Plant Nutrition*, 24: 469-477.
- BONDADA, B.R., D.M. OOSTERHUIS, R.J. NORMAN y W.H. BAKER. 1996. Canopy Photosynthesis, Growth, Yield, and Boll 15 N Accumulation Under Nitrogen Stress in Cotton. *Crop Science*, 36: 127-133.
- BONHOMME, R. 2000. Bases and limits to using “degree.days” units. *European Journal of Agronomy*, 13: 1-10.
- BOQUET, D. J. 2005. Cotton in ultra-narrow row spacing; plant density and nitrogen fertilizer rates. *Journal of Agronomy*, 97: 279–287.
- BRADOW, J.M. y G.H. DAVIDONIS. 2000. Quantitation of fiber quality and the cotton production-processing interface: a physiologist’s perspective. *Journal cotton science*, 4 (1), 34-64.
- BRANDÃO, Z.N. y J.H. ZONTA. 2016. Hemispherical photography to estimate biophysical variables of cotton. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20 (9), 789-794.
- BRAY, R.H. Y L.T. KURTZ. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science*, 59: 39-45.

- BROWN H.B. 2002. Cotton history, species, varieties, morphology, breeding. Culture, Disease, marketing and uses. 2<sup>a</sup> edition. Chawla offset printers, New Delhi.
- BURKE, J.J., J. VELTEN, y M.J. OLIVER. 2004. In vitro analysis of cotton pollen germination. *Agronomy journal*, 96: 359-368.
- CALDERINI, D. F., L.G. ABELEDO, R. SAVIN y G. A. SLAFER. 1999. Final grain weight in wheat as affected by short periods of high temperature during pre- and post-anthesis under field conditions. *Australian Journal of Plant Physiology* 26, p: 453-458.
- CASUSO, M., J. TARRAGÓ y M.J. GALDEANO. 2016. Producción de algodón: Recomendaciones para el manejo de plagas y de cultivo. 1<sup>a</sup> edición. INTA.
- CENCIG, G.F. 2013. Influencia de la temperatura en llenado de grano como factor determinante de la presencia de granos verdes en soja. Tesis de Magíster. Área de Producción Vegetal. Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. Argentina. p: 66.
- CHAUDHRY, R. y A. GUITCHOUNTS. 2003. Cotton Facts. International Cotton Advisory Committee (ICAC). Washington, D.C., United States of America, p: 158.
- CHAVES-BARRANTES, N.F. y M.V. GUTIÉRREZ-SOTO. 2017. Respuestas al estrés por calor en los cultivos. I. aspectos moleculares, bioquímicos y fisiológicos. *Agronomía Mesoamericana*, 28.
- CICCHINO, M.; J.I. EDREIRA, M. URIBELARREA y M.E. OTEGUI. 2010. Heat stress in field-grown maize: response of physiological determinants of grain yield. *Crop science*, 50: 1438-1448.
- CLARKSON, D.T. 1985. Factors affecting mineral nutrient acquisition by plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 36: 77-115.
- CLAWSON, E. L., J. T. COTHREN y D. C BLOUIN. (2006). Nitrogen fertilization and yield of cotton in ultra-narrow and conventional row spacings. *Agronomy Journal*, 98 (1), 72-79.
- CONSTABLE, G.A. 1977. Growth and distribution of dry matter in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Australian Journal of Agricultural Research*, 28: 249-256.

CONSTABLE, G.A. y A.J. SHAW. 1988. Temperature requirements for cotton, Division of Plant Industries, New South Wales Department of Agriculture and Fisheries.

COTTEE, N.S., D.K. TAN, M.P. BANGE, J.T COTHREN y L.C. CAMPBELL. 2010. Multi-Level Determination of Heat Tolerance in Cotton (L.) under Field Conditions. *Crop Science*, 50: 2553-2564.

DI RIENZO J.A., F. CASANOVES, M.G. BALZARINI, L. GONZALEZ, M. TABLADA, y C.W. ROBLEDO. 2014. InfoStat, versión 2014, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

ECHEVERRÍA, H.E. y F.O. GARCÍA. 2014. Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. INTA. Buenos Aires, Argentina. 2ª edición. p: 658-659.

EDREIRA, J.I.R., y M.E. OTEGUI. 2012. Heat stress in temperate and tropical maize hybrids: Differences in crop growth, biomass partitioning and reserves use. *Field Crops Research*, 130: 87-98.

EKINCI, R., S. BASBAĞ, E. KARADEMIR y İ. KARADEMIR. 2017. The effects of high temperature stress on some agronomic characters in cotton. *Pakistan Journal of Botany*, 49: 503-508.

ESPINO, L.M., M.A. SEVESO y M.A. SABATIER. 1983. Mapa de suelos de la provincia de Santa Fe. Tomo II. Santa Fe, Argentina. MAG Santa Fe e INTA EERA Rafaela.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2005. Cotton. <http://www.fao.org/3/y5143s/y5143s15.htm>

FARIÑA NÚÑEZ, J.R. 2006. Efecto de la fertilización de arranque en el desarrollo de la planta de algodón. En: Proyecto nacional de algodón. 3ª Reunión anual, p: 75-78.

FREELAND JR, T.B., B. PETTIGREW, P. THAXTON y G.L ANDREWS. 2006. Agrometeorology and cotton production. Chapter 13. In *guide to agricultural meteorological practices*, p: 1-17.

- FRITSCHI F.B., B.A. ROBERTS, R.L. TRAVIS, D.W. RAINS y R.B. HUTMACHER. 2003. Response of irrigated Acala and Pima cotton to nitrogen fertilization. *Agronomy Journal* 95: 133-146.
- GAMBAUDO, S. y H. FONTANETTO. 2009. Tablas de consulta para el manejo y la nutrición de suelos y cultivos. En: Compendio de trabajos e investigaciones. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Rafaela. Publicaciones misceláneas, p: 62.
- GAYTÁN, A., A. PALOMO y S. GODOY. 2001. Eficiencia en la producción y distribución de biomasa en variedades precoces de algodón. *Revista Fitotecnia Mexicana* N° 24, 197-202.
- GERIK, T. J., R. G. LEMON, K. L. FAVER, T. A. HOELEWYN y M. JUNGMAN. 1998. Performance of ultra-narrow row cotton in Central Texas. *Proceedings of the Beltwide Cotton Conference*, Volume 2: 1406-1409.
- GIORGI, R., R. TOSOLINI, V. SAPINO, C. LEÓN y A. CHIAVASSA. 2009. Capacidad productiva de las tierras de la provincia de Santa Fe para uso agrícola y pasturas de alfalfa. [http://rafaela.inta.gov.ar/mapas/capacidad\\_productiva/index.htm](http://rafaela.inta.gov.ar/mapas/capacidad_productiva/index.htm)
- GIRMA, K., R.K. TEAL, K.W. FREEMAN, R.K. BOMAN y W.R. RAUN. 2007. Cotton lint yield and quality as affected by applications of N, P, and K fertilizers. *Journal Cotton Science*, 11, 12-19.
- GODOY, A.S. y G.A. PALOMO. 1999. Genetic analysis of earliness in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.). I. Morphological and phenological variables. *Euphytica* 105:155–160.
- GREGORET, O. 2015. Siembra de algodón en Santa Fe. Publicación anual Asociación para la promoción de la producción algodонера, 15: 16-18.
- GREGORET, O. 2018. Siembra de algodón en Santa Fe. Publicación anual Asociación para la promoción de la producción algodонера, 17: 8-13.
- HALEVY, J. y M. BAZELET. 1992. Fertilización del algodón para rendimientos altos. *Boletín* N° 2. Edición revisada en castellano, Instituto Internacional de la Potasa, p: 64.
- HALLIKERI, S.S., H.L. HALEMANI, V.C. PATIL, Y.B. PALLED, B.C. PATIL y I.S. KATAGERI. 2010. Effect of Nitrogen Levels, Split Application of Nitrogen and

Detopping on Seed Cotton Yield and Fibre Quality in Bt-Cotton. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 23, 418-422.

HATFIELD, J.L., K.J. BOOTE, B.A. KIMBALL, L.H. ZISKA, R.C. IZAURRALDE, D. ORT y D. WOLFE. 2011. Climate impacts on agriculture: implications for crop production. *Agronomy Journal*, 103(2): 351-370.

HEALEY, K.D. y K.G. RICKERT. 1998. Shading material changes the proportion of diffuse radiation in transmitted radiation. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 38: 95-100.

HEALEY, K.D., K.G. RICKERT, G.L. HAMMER, y M.P. BANGE. 1998. Radiation use efficiency increases when the diffuse component of incident radiation is enhanced under shade. *Australian Journal of Agricultural Research*, 49: 665-672.

HODGES, H.F., K.R. REDDY, J.M. MCKINION y V.R. REDDY. 1993. Temperature effects on cotton. *Mississippi Agricultural & Forestry Experiment Station, Mississippi State, MS*. p: 1-15.

HONS, F.M., M.L. MCFARLAND, R.G. LEMON, R.L. NICHOLS, R.K. BOMAN, V.A. SALADINO y J.R. STAPPER. 2004. Managing nitrogen fertilization in cotton. *Texas Coop. Ext. Bull.*

IBALO, S., M.R. MELGRATTI y O. INGARAMO. 2005. Respuesta de la variedad Guazuncho 3 INTA a distintas dosis de fertilizantes. En: Proyecto nacional de algodón. 2ª Reunión anual. p: 43-46.

INGARAMO, O., F. PEREIRA, W. LOSADA, I. ZACH. 2006. Fertilización nitrogenada en algodón sembrado en surcos estrechos en la EEA Las Breñas. En: Proyecto nacional de algodón. 3ª Reunión anual. p: 106-109.

IPCC, 2007. Cambio Climático 2007: Informe de síntesis. Intergubernamental Panel on Climate Change. Ginebra, Suiza.

JOST, P.H. y J.T. COTHER. 2001. Phenotypic alterations and crop maturity differences in ultra-marrow row and conventionally spaced cotton. *Crop Science*, 41: 1150-1159.

- KERBY, T.A., K.G. CASSMAN y M. KEELEY. 1990. Genotypes and plant densities for narrow-row cotton systems. II. Leaf area and dry matter partitioning. *Crop Science*, 30: 649-653
- KHADER, S.E.S.A. y A.H. PRAKASH. 2007. Nutritional and physiological disorders of cotton. Model Training Course on “Cultivation of Long Staple Cotton (ELS)” December 15-22, 2007, Central Institute for Cotton Research, Regional Station, Coimbatore.
- KHAN, A.I. y H.A. SADAQAT. 2008. Heat tolerance is variable in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and can be exploited for breeding better yielding cultivars under high temperature regimes. *Pakistan Journal of Botany*, 40: 2053-2058.
- KIM, H.J. y B.A. TRIPLETT. 2001. Cotton fiber growth in planta and in vitro. Models for plant cell elongation and cell wall biogenesis. *Plant Physiol.* 127:1361–1366.
- KLEIN, J.A., J. HARTE y X.Q. ZHAO. 2007. Experimental warming, not grazing, decreases rangeland quality on the Tibetan plateau. *Ecological Applications*, 17: 541-557.
- KRIEG, D.R. 2002. Cotton yield and quality, genetic vs. environmental affectors. In J. McRae and D.A. Richter (ed.) *Proc. 2002 Beltwide Cotton Conferences*, Atlanta, GA. 8-12 Jan.
- LANDIVAR J. y K. HAKE. 1998. *Cotton Management Guide*. Deltapine Seed. Chapter 2: 21-38.
- LEFLER H.R., 1996. Development of cotton fruit: I. Accumulation and distribution of dry matter. *Agronomy Journal*. 68:855-857
- LIAKATAS, A., D. ROUSSOPOULOS y W. J. WHITTINGTON. 1998. Controlled-temperature effects on cotton yield and fibre properties. *Journal Agriculture Science*, 130: 463-471.
- LIU, C.Z., J.Z. SHUN y J.L. LIU. 1992. Invitro interspecific fertilization, embryo development and formation of hybrid seedlings between *Gossypium hirsutum* and *G. arboretum*. *Euphytica*, 60: 79-88.

- LOKHANDE, S. y K.R. REDDY. 2014. Quantifying temperature effects on cotton reproductive efficiency and fiber quality. *Agronomy Journal*, 106 (4), 1275-1282.
- LUO, Q. 2011. Temperature thresholds and crop production: a review. *Climatic Change*, 109: 583-598.
- LUO, Q., M. BANGE y L. CLANCY. 2013. Temperature increase and cotton crop phenology. In 20th International Congress on Modeling and Simulation, Adelaide, Australia, p: 607-613.
- MACDONALD S., G. NAIK y R. LANDES. 2010. Markets, institutions, and the quality of agricultural products: cotton quality in India. *Agricultural & Applied Economics Association 2010 AAEA, CAES, & WAEA Joint Annual Meeting*, Denver, Colorado, July 25-27, 2010.
- MAS, J.C.G. 1997. Factores climáticos que afectan a la producción ya la calidad de la fibra de algodón. *Agricultura: Revista agropecuaria*, 783: 815-818.
- MEEHL, G.A., T.F. STOCKER, W.D. COLLINS, P. FRIEDLINGSTEIN, A.T. GAYE, J.M. GREGORY, A. KITOH, R. KNUTTI, J.M. MURPHY, A. NODA, S.C.B. RAPER, I.G. WATTERSON, A.J. WEAVER y Z.-C. ZHAO. 2007. Global Climate Projections. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- MEREDITH, W.R., JR. 2005. Influence of cotton breeding on yield and fiber quality problems. In Ch. H. Chewing (ed.) *Proc. of the 18th Annual EFC Conf.* 6–8 June 2005. Memphis, TN.
- MOLINO, J. 2011. Estrés térmico por alta temperatura en soja (*Glycine max* (L.) Merr.): análisis de la dinámica de producción y fijación de vainas y su efecto sobre la determinación del rendimiento. Tesis de Magíster. Área Producción Vegetal. Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. Argentina. p: 91.

MONDINO, M. 2000. Efecto del distanciamiento entre surcos y la densidad de plantas sobre el desarrollo y crecimiento de dos variedades de algodón. Tesis presentada para otra al grado de Magíster Scientiae. UNML – INTA Balcarce.

MONDINO M.H. y O.A. PETERLIN, 2006. Aplicación de diferentes dosis de fertilizantes nitrogenados para mejorar el rendimiento del algodón sembrado en surcos ultra estrechos. En INTA, Proyecto nacional de algodón. 3ª Reunión anual investigaciones 2004-2006. Conclusiones y visión futura, p: 86-89.

MONDINO M.H. y O.A. PETERLIN, 2011. Efecto del fraccionamiento de las aplicaciones de nitrógeno sobre la productividad del algodón en surcos estrechos bajo riego. En INTA, Ciencia y tecnología de los cultivos industriales. Algodón, p: 110-115.

MONDINO M.H., O.A. PETERLIN y N. GÓMEZ. 2005. Influencia de diferentes dosis de nitrógeno sobre el rendimiento de algodón en surcos estrechos. En INTA, Proyecto nacional de algodón. 2ª Reunión anual investigaciones 2005. Informe de avance N° 1, p: 34-40.

MONTEITH, J.L. 1984. Consistency and convenience in the choice of units for agricultural science. *Experimental Agriculture* 20:125–137.

MORRIS, D.A. 1964. Variation in the boll maturation period of cotton. *Empire Cotton Growing. Reviews*, 44: 2-22.

MULLINS, G. L. y C.H. BURMESTER. 2010. Relation of growth and development to mineral nutrition. *Physiology of Cotton*, p: 97-105.

NOVELLO, P.; G. AYUB y O. GUDELJ. 1994. Guía para determinar el agua útil en el perfil de suelo. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Marcos Juárez. Información para Extensión N° 8, p: 11.

NOVOA, R., y R.S. LOOMIS. 1981. Nitrogen and plant production. *Soil Water and Nitrogen in Mediterranean-Type Environments*, p: 177-204.

OOSTERHUIS, D.M. 2001. Physiology and nutrition of high yielding cotton in the USA. *Informações Agronômicas*, 95: 18-24.

OOSTERHUIS, D.M., J. CHIPAMAUNGA y G.C. BATE. 1983. Nitrogen uptake of field-grown cotton. I. Distribution in plant components in relation to fertilization and yield. *Experimental Agriculture*, 19: 91-101.

OOSTERHUIS, D.M.1999. Yield response to environmental extremes in cotton. En: C. P. Dugger and D. A. Richter, Eds. "Proceeding of the 1999 Cotton Research Meeting" (), p: 30-38.

OROZCO-VIDAL, J.A., P. YESCAS-CORONADO, M.A. SEGURA-CASTRUITA, R. VALDEZ-CEPEDA, E. MARTÍNEZ-RUBÍN DE CELIS, J.A. MONTEMAYOR-TREJO y P. PRECIADO-RANGEL. 2011. Análisis de crecimiento de tres variedades de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) en una región árida de México. *Phyton* (Buenos Aires), 80: 47-52.

PAYTAS M.J. y E.L. PLOCHUK. 2013. Algodón., En: de la Fuente, E.B. et al., (Eds.), *Cultivos industriales*. Editorial Facultad de Agronomía, Buenos Aires, Argentina, Capítulo 3.3. p: 413-445.

PAYTAS, M. 2005. Evolución del índice de área foliar en distintas densidades y distancia de siembra den el cultivo de algodón. En: Proyecto nacional de algodón. 2ª Reunión anual. p: 65-68.

PETTIGREW, W.T. 2008. The effect of higher temperatures on cotton lint yield production and fiber quality. *Crop science*, 48 (1): 278-285.

PETTIGREW, W.T. 2012. Photosynthesis and carbon partitioning/source-sink relationships. Flowering and fruiting, Chapter 3, p: 25-32.

POISSON, J., I. BONACIC, O. ROYO, A. MONDINO, A. D'AGOSTINI, J. FARIÑA NUÑEZ y R. ORTIZ. 2006. Ensayos comparativos regionales de variedades de algodón. Año agrícola: 2005-2006. En: 3º Reunión Anual del Proyecto de algodón. 5 y 6 de septiembre de 2006.

PORCH, T.G. y A.E. HALL. 2013. Heat tolerance. En: C. Kole, editor, *Genomics and breeding for climate-resilient crops*. Vol. N° 2. Springer Verlag, Berlin, Germany. p: 167-202.

READ J.J., K.R. REDDY y J.N. JENKINS. 2006. Yield and fiber quality of Upland cotton as influenced by nitrogen and potassium nutrition. *European Journal of Agronomy* 24: 282-290.

REDDY, V.R., K.R. REDDY y D.N. BAKER. 1991. Temperature effect on growth and development of cotton during the fruiting period. *Agronomy Journal*, 83: 211-217.

REDDY, K.R., H.F. HODGES y V.R. REDDY. 1992. Temperature effects on cotton fruit retention. *Agronomy Journal*, 84: 26-30.

REDDY, R.K. 1996. *Weather and Cotton Growth, Present and Future*. Vol. 1061, Office of Agricultural Communications, Division of Agriculture, Forestry and Veterinary Medicine, Mississippi State University, USA., p: 23.

REDDY, K.R., G. DAVIDONIS, J. JOHNSON y B. VINYARD. 1999. Temperature regime and carbon dioxide enrichment alters cotton boll development and fiber properties. *Agronomy journal*, 91: 851-858.

REYNOLDS, M.P., S. NAGARAJAN, M.A. RAZZAQUE y O.A. AGEEB 2001. Heat Tolerance. In 'Application of Physiology in Wheat Breeding'. (Eds MP Reynolds, JI Ortiz-Monasterio and A McNab), p: 124-135.

ROCHESTER I.J., M.B. PEOPLES y G.A. CONSTABLE. 2001. Estimation of the N fertilizer requirement of cotton grown after legume crops. *Field Crops Research* 70: 43-53.

ROCHESTER I.J., G.A. CONSTABLE, D.M. OOSTERHUIS y M. ERRINGTON. (2012). Nutritional Requirements of Cotton during Flowering and Fruiting. En: Oosterhuis DM, Cothren JT (Eds.). *Flowering and Fruiting in cotton*. The Cotton Foundation Reference Book Series. The Cotton Foundation Cordova, Tennessee, U.S.A. p: 35-51.

RONDANINI, D., R. SAVIN y A. HALL. 2003. Dynamics of fruit growth and oil quality of sunflower (*Helianthus annuus* L.) exposed to brief intervals of high temperature during grain filling. *Field Crops Research*, 83: 79-90.

- ROUSSOPOULOS, D., A. LIAKATAS y W. J WHITTINGTON. 1998. Controlled-temperature effects on cotton growth and development. *The Journal of Agricultural Science*, 130(4), 451-462.
- SACKS, W.J. y C.J. KUCHARIK. 2011. Crop management and phenology trends in the U.S. corn belt: Impacts on yields, evapotranspiration and energy balance. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151: 882-894.
- SALEEM, M.F., M.F. BILAL, M. AWAIS, M.Q. SHAHID y S.A. ANJUM. 2010. Effect of nitrogen on seed cotton yield and fiber qualities of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) cultivars. *Journal of Animal and Plant Science*, 20: 23-27.
- SAUER, M., J. ARANDA, G. CANTEROS y M. ALOMA. 2015. Respuesta a la fertilización de variedad de algodón NuOpal bajo siembra directa. En: *Ciencia y tecnología de los cultivos industriales*. Año 5, N° 8, p: 193-197.
- SEILSEPOUR M. y M. RASHIDI (2011) Effect of different application rates of nitrogen on yield and quality of cotton (*G. hirsutum*). *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences* 10: 366-370.
- SCARPIN, G., P. DILEO y M. PAYTAS. 2017 a. Calidad de fibra. Calidad particionada de algodón. ¿Existe variación de la calidad de fibra dentro de una misma planta? *Asociación para la promoción de la producción algodonera*. Publicación anual N° 17, p: 37-38.
- SCARPIN, G., H. WINKLER, R. ROESCHLIN, M. PAYTAS y P. DILEO. 2017 b. Efecto de las condiciones ambientales sobre la calidad de fibra de algodón. *Voces y Ecos* N° 39, p: 32-36.
- SCHLENKER, W. y M.J. ROBERTS. 2009. Nonlinear temperature effects indicate severe damages to U.S. crop yields under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106: 155-159.
- SINGH, R.P., J. SINGH, C.B. LAL, K. SUNITA y K. ELAYARAJA. 2004. Evaluation of punjab American cotton (*Gossypium hirsutum* L.) genotypes tolerant to high temperature and their performance during spring summer season. *Annals of Agricultural Research*, 25: 268-273.

- SINGH, R.P., P.V. PRASAD, K. SUNITA, S.N. GIRI y K.R. REDDY. 2007. Influence of high temperature and breeding for heat tolerance in cotton: a review. *Advances in Agronomy*, 93: 313-385.
- SMITH, C.W. 1995. Cotton (*Gossypium hirsutum* L.). Capítulo 6. En: *Crop Production: Evolution, History and technology*. John Wiley and Sons, INC., New York. p: 287-349.
- SNIDER, J.L., D.M. OOSTERHUIS; B.W. SKULMAN y E.M. KAWAKAMI. 2009. Heat stress-induced limitations to reproductive success in *Gossypium hirsutum*. *Physiologia plantarum*, 137: 125-138.
- STONE, P.J. 1999. The effects of heat stress on cereal yield and quality. In *Crop responses and adaptations to temperature stress*. A. Basra (ed.), Food Products Press, NY.
- STONER, E.R., M.F. BAUNGARDNER, y P.H. SWAIN, 1976. Determining density of maize canopy from digitized photographic data. *Agronomy Journal*, 68: 55-59.
- TCACH, N., M. PAYTAS y I. KRESIC. 2015. Incidencia de altas temperaturas en el periodo reproductivo sobre el rendimiento del cultivo de algodón a diferentes distanciamientos. En *INTA, Ciencia y tecnología de los cultivos industriales*, 8: 136-141.
- TRÁPANI, N. y A. HALL. 1996. Effects of leaf position and nitrogen supply on the expansion of leaf of field grown sunflower. *Plant Soil*, 184: 331-340.
- TRUDGILL, D.L., A. HONEK, D. LI y N.M. STRAALLEN. 2005. Thermal time-Concepts and utility. *Annals of Applied Biology*.146:1-14.
- UGARTE C., D.F. CALDERINI y G.A. SLAFER. 2007. Grain weight and grain number responsiveness to preanthesis temperature in wheat, barley and triticale. *Field Crops Research*, 100: 240-248.
- UHART, S.A. y F.H. ANDRADE, 1995. Nitrogen and carbon accumulation and remobilization during grain filling in maize under different source/sink ratios. *Crop Science*, 35: 183-190.

WADDLE, B.A.1984. Crop Growing Practices. In: Cotton, Waddle, B.A. (Ed.). American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, USA.

WADLEIGH, C.H.1944. Growth Status of the Cotton Plant as Influenced by the Supply of Nitrogen. Arkansas Agricultural. Experiment Station Bulletin, 446: 138.

WARAICH, E.A., R. AHMAD, A. HALIM, y T. AZIZ. 2012. Alleviation of temperature stress by nutrient management in crop plants: a review. Journal of soil science and plant nutrition, 12: 221-244.

WARDLAW, I. y C. WRIGLEY. 1994. "Heat Tolerance in Temperate Cereals: an Overview". Australian Journal Plant Physiology, 21: 695-703.

WILD, A., H.P. JONES y J.H. MACDUFF. 1987. Uptake of mineral nutrients and crop growth: The use of flowing nutrient solutions. Advance in Agronomy, 41: 171-220.

WINKLER H.M., SCARPIN, G., P. DILEO, R. ROESCHLIN y M. PAYTAS. 2017. Efecto de la interacción de diferentes fechas de siembra y genotipos sobre el rendimiento y calidad de fibra del algodón. Asociación para la promoción de la producción algodонера. Publicación anual N° 18, p: 26-30.

ZEESHAN, A., T.M. KHAN y I.R. NOORKA. 2010. Diallel analysis to determine gene action for lint percentage and fibre traits in upland cotton. International Journal of Agriculture and Applied Sciences, 2: 11-14.

ZEIHER, C.; N. MATUMBA, P. BROWN y J. SILVERTOOTH. 1995. Response of upland cotton to elevated night temperatures. II. Results of controlled environmental studies. In "Proceeding of the Beltwide Cotton Confernces". National Cotton Council of America, Memphis, TN. p: 1129.

ZHANG, W., Z. WANG, S. YU, S. LI, L. CAO y D. WANG. 2002. Effect of Nitrogen on Canopy Photosynthesis and Yield Formation in High-Yielding Cotton of Xinjiang. Acta Agronomica Sinica, 28: 789-796.

## ANEXO



Figura 11. Cultivo de algodón en etapas vegetativas previo a la fertilización nitrogenada.



Figura 12. Cultivo de algodón sometido a episodios de alta temperatura.

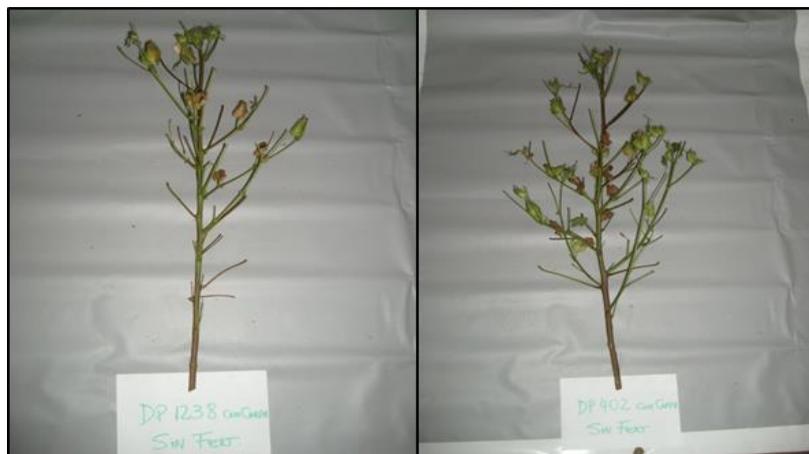


Figura 13. Plantas de algodón al momento del mapeo de las estructuras vegetativas y reproductivas.



Figura 14. Sensor del Data logger en el interior de los micro invernáculos.



Figura 15. Medición del área foliar.



Figura 16. Genotipos de algodón (DP 1238 BGR y DP 402 BGR) previo a la cosecha.



Figura 17. Proceso de desmotado de las muestras de algodón.



Figura 18. Peso de las muestras de algodón desmotado en el laboratorio.