



*Doctorado en Recursos Naturales  
Facultad de Ciencias Agrarias  
Universidad Nacional del Nordeste*

Progreso genético de variedades cultivadas de algodón en  
Argentina en los últimos 50 años

*Tesis presentada para optar al título de Doctor de la Universidad Nacional del  
Nordeste - Área de Recursos Naturales*

Año de presentación: 2022

Gonzalo Joel Scarpin  
Ingeniero Agrónomo  
EEA Reconquista (Santa Fe)  
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)



Director de Tesis

**Ing. Agr. (Dr.) Marcelo Javier Paytas**

INTA Reconquista

Co-Director de Tesis

**Ing. Agr. (Dr.) Carlos Acuña**

Universidad Nacional del Nordeste



## **Dedicatoria**

A Carolina, sostén de toda esta etapa de mi vida y compañera en todos los momentos, especialmente en los más difíciles. Gracias por estar siempre y por tu amor incondicional, sin vos todo hubiera sido más difícil.

A Kuki por el apoyo de siempre y por brindarme la posibilidad de estudiar.

A Titi, quien estoy seguro que siempre me acompañó para el logro de este gran objetivo.

## **Agradecimientos**

A mi director y amigo Marcelo, quien me brindó la posibilidad de ingresar a la institución y me dio la confianza para llevar adelante este y tantos otros proyectos. Gracias por el tiempo, dedicación, consejos, conocimientos y acompañamiento desde el primer momento.

A Pablo, Martín, Fernando y Roxana, mis compañeros del equipo de algodón de INTA con quienes trabajamos desde el primer momento y tomaron este trabajo como propio. También a Antonela, Robertino y Gonzalo, quienes se sumaron en la última etapa de la tesis y cuyos aportes fueron fundamentales para conseguir este logro. Gracias por el tiempo invertido en los ensayos, informes y publicaciones, sin importar la hora y el día. Este logro, como ustedes saben, es del equipo.

A mi codirector Carlos, quien desde el primer momento colaboró con sus conocimientos, gracias por la dedicación y el tiempo.

A INTA, por brindarme la posibilidad de continuar con mi formación profesional.

A mis compañeros del área de producción vegetal del INTA Reconquista, quienes colaboraron con sus aportes para la tesis. En este sentido un agradecimiento especial para Luciano y Diego, quienes dedicaron su tiempo para la cosecha de los ensayos y, para Anita, quien además de los aportes técnicos y de cosecha, colaboró siempre al mantenimiento de los ensayos con su envidiada azada tramontina. Gracias a todos por el apoyo y consejos brindados.

A Tulio, Marcelo P, Marcelo S, Hugo, Daniel y Andrés, auxiliares de campo quienes posibilitaron la siembra, mantenimiento y cosecha de los ensayos. Gracias por el tiempo, la dedicación y las risas compartidas durante los momentos de trabajo.

A los estudiantes de universidades extranjeras que realizaron sus pasantías y colaboraron con este proyecto, especialmente para Daniel Rodela, Carlos Troncoso, Carlos Felipe Cordeiro, Iago Fernandez y Rafael Senna. Gracias por su colaboración en los ensayos y por su amistad, sepan que siempre van a tener un amigo en Argentina.

A mis hermanos y sus familias, por el apoyo y acompañamiento y a Carolina por el trabajo conjunto en la toma de muestras, cosecha y redacción de la presente tesis.

Por último, quiero dejar una frase de Theodore Roosevelt, la cual conocí gracias al Gran Orlando Pilatti y me marcó desde ese momento:

***“Haz lo que puedas, con lo que tengas, donde estés”***

## **Publicaciones derivadas de la tesis**

Publicaciones en revistas con referato:

- Gonzalo J. Scarpin, Pablo N. Dileo, H. Martin Winkler, Antonela E. Cereijo, Fernando G. Lorenzini, Roxana A. Roeschlin, Robertino J. Muchut, Carlos Acuña, Marcelo Paytas. Genetic progress in cotton lint and yield components in Argentina. Field Crops Res. 275. doi:10.1016/j.fcr.2021.108322

Publicaciones en revistas de divulgación:

- Scarpin, G., Winkler, H., Dileo, P., Roeschlin, R., Paytas, M. Progreso genético de cultivares de algodón utilizados en los últimos 50 años en Argentina (Revista APPA N° 18. Septiembre 2018).
- Scarpin, G., Dileo, P., Winkler, H., Paytas, M., Rodela, D., Lorenzini, F. progreso genético: desmote y calidad de fibra (Revista APPA N° 19. Septiembre 2019).

## Índice general

Dedicatoria.....	V
Agradecimiento.....	VI
Publicaciones derivadas de la tesis.....	VII
Índice general.....	VIII
Índice de tablas.....	XIV
Índice de figuras.....	XVII
Abreviaturas.....	XXVII
Resumen.....	XXIX
Abstract.....	XXXI
Introducción general.....	1
<b>I. Origen del cultivo.....</b>	<b>2</b>
<b>II. Producción mundial y rendimientos.....</b>	<b>3</b>
<b>III. Producción nacional y rendimientos.....</b>	<b>7</b>
<b>IV. El cultivo de algodón.....</b>	<b>10</b>
<i>i. Morfología de la planta de algodón.....</i>	<i>11</i>
<i>ii. Desarrollo y ciclo del cultivo.....</i>	<i>18</i>
<i>iii. Crecimiento.....</i>	<i>23</i>
<i>iv. Componentes de rendimiento.....</i>	<i>24</i>
<b>V. Mejoramiento genético de algodón en el mundo.....</b>	<b>26</b>
<b>VI. Mejoramiento genético de algodón en Argentina.....</b>	<b>27</b>
<b>VII. Progreso genético de algodón en el mundo.....</b>	<b>29</b>
<b>VIII. Problemática.....</b>	<b>32</b>
<b>IX. Objetivos.....</b>	<b>33</b>
<i>i. Objetivo general.....</i>	<i>33</i>
<i>ii. Objetivos específicos.....</i>	<i>33</i>
<b>X. Hipótesis.....</b>	<b>33</b>

<b>XI. Resultados esperados</b> .....	34
CAPÍTULO 1 .....	35
Progreso genético de rendimiento de algodón y sus componentes .....	35
<b>1.1 Introducción</b> .....	36
<b>1.2 Objetivos específicos</b> .....	38
<b>1.3 Materiales y métodos</b> .....	38
<i>1.3.1 Cultivares</i> .....	38
<i>1.3.2 Localización del experimento</i> .....	39
<i>1.3.3 Experimentos</i> .....	40
<i>1.3.4 Arreglo estadístico</i> .....	42
<i>1.3.6 Análisis estadístico</i> .....	44
<b>1.4 Resultados</b> .....	46
<i>1.4.1 Análisis de la varianza de los componentes de rendimiento</i> .....	46
<i>1.4.2 Progreso genético de los componentes de rendimiento</i> .....	48
<i>1.4.3 Componentes de la varianza</i> .....	52
<i>1.4.4 Correlación entre componentes</i> .....	52
<i>1.4.5 Relación entre componentes</i> .....	55
<b>1.5 Discusión</b> .....	63
<i>1.5.1 Análisis de la varianza de los componentes de rendimiento de algodón</i> .....	63
<i>1.5.2 Progreso genético de algodón en Argentina</i> .....	64
<i>1.5.3 Componentes de la varianza</i> .....	68
<i>1.5.4 Relación entre los componentes de rendimiento</i> .....	69
<b>1.6 Conclusión</b> .....	72
CAPÍTULO 2 .....	73
Progreso genético de calidad de fibra y subproductos de la semilla de algodón.....	73

<b>2.1</b>	<b>Introducción</b> .....	74
2.1.1	<i>Desarrollo de las fibras de algodón</i> .....	74
2.1.2	<i>Evaluación de la calidad de fibra</i> .....	76
2.1.3	<i>Parámetros de calidad de fibra medidos por el “HVI”</i> .....	77
2.1.4	<i>Definición de los parámetros de calidad de fibra</i> .....	79
2.1.5	<i>Subproductos originados en la semilla de algodón</i> .....	81
2.1.6	<i>Calidad de fibra y subproductos de la semilla en estudios locales</i> .....	84
2.1.7	<i>Calidad de fibra y subproductos de la semilla en estudios de progreso genético</i> .....	86
<b>2.2</b>	<b>Objetivos</b> .....	87
<b>2.3</b>	<b>Metodología</b> .....	87
2.3.1	<i>Parámetros de calidad tecnológica de fibra de algodón</i> .....	88
2.3.2	<i>Contenido de aceite y proteínas en semilla de algodón</i> .....	88
2.3.3	<i>Análisis estadístico</i> .....	89
<b>2.4</b>	<b>Resultados</b> .....	90
2.4.1	<i>Parámetros de calidad de fibra, contenido de proteína y aceite en semilla</i> .....	90
2.4.2	<i>Ganancia genética de los parámetros de calidad de fibra</i> .....	92
2.4.3	<i>Ganancia genética de los componentes de la semilla</i> .....	93
2.4.4	<i>Componentes de la varianza para los parámetros de calidad de fibra y subproductos de la semilla de algodón</i> .....	94
2.4.5	<i>Correlación entre los parámetros de calidad</i> .....	95
2.4.6	<i>Relación entre los parámetros de calidad y las variables de rendimiento</i> .....	97
2.4.7	<i>Contenido de subproductos de la semilla de algodón</i> .....	99
2.4.8	<i>Relación entre el contenido de subproductos de la semilla y los componentes de rendimiento</i> .....	100
<b>2.5</b>	<b>Discusión</b> .....	103

2.5.1	<i>Análisis de la varianza de los parámetros de calidad tecnológica de fibra y subproductos de la semilla de algodón</i> .....	103
2.5.2	<i>Progreso genético de los parámetros de calidad tecnológica de fibra y subproductos de la semilla de algodón</i> .....	104
2.5.3	<i>Componentes de la varianza</i> .....	107
2.5.4	<i>Relaciones entre componentes de calidad, subproductos de la semilla y rendimiento</i> .....	109
<b>2.6</b>	<b>Conclusión</b> .....	112
CAPÍTULO 3 .....		113
Efecto de las condiciones ambientales sobre el rendimiento, la calidad de fibra y los subproductos en algodón .....		113
<b>3.1</b>	<b>Introducción</b> .....	114
<b>3.2</b>	<b>Objetivos</b> .....	116
<b>3.3</b>	<b>Materiales y métodos</b> .....	116
3.3.1	<i>Condiciones ambientales</i> .....	117
3.3.2	<i>Fenología</i> .....	117
3.3.3	<i>Análisis estadístico</i> .....	117
<b>3.4</b>	<b>Resultados</b> .....	118
3.4.1	<i>Condiciones meteorológicas</i> .....	118
3.4.2	<i>Sumas térmicas y fenología</i> .....	126
3.4.3	<i>Sumas térmicas y progreso genético</i> .....	127
3.4.4	<i>Condiciones ambientales durante el periodo crítico (PeC) y las variables de rendimiento, calidad de fibra y semilla</i> .....	129
<b>3.5</b>	<b>Discusión</b> .....	133
3.5.1	<i>Sumas térmicas y ciclo de las variedades utilizadas en el país</i> .....	133

3.5.2	<i>Sumas térmicas y su relación con el año de lanzamiento y el rendimiento de fibra</i>	135
3.5.3	<i>Condiciones ambientales, periodo crítico y variables respuesta</i>	136
<b>3.6</b>	<b>Conclusión</b>	139
CAPÍTULO 4		141
Dinámica de asimilados fuente-destino y su relación con el año de lanzamiento y las variables de rendimiento		141
<b>4.1</b>	<b>Introducción</b>	142
<b>4.2</b>	<b>Objetivos</b>	145
<b>4.3</b>	<b>Materiales y métodos</b>	146
4.3.1	<i>Materia seca y partición de asimilados</i>	146
4.3.2	<i>Características morfológicas</i>	148
4.3.3	<i>Dinámica de floración</i>	149
4.3.4	<i>Análisis estadístico</i>	151
<b>4.4</b>	<b>Resultados</b>	152
4.4.1	<i>Análisis y comparación de las variables de crecimiento y partición de asimilados</i>	152
4.4.2	<i>Análisis y comparación de las variables morfológicas en diferentes momentos de muestreo y ambientes estudiados</i>	159
4.4.3	<i>Análisis y comparación de las variables relacionadas a la dinámica de floración y a los índices de la partición de asimilados</i>	163
4.4.4	<i>Progreso genético de las variables relacionadas al crecimiento, morfología y dinámica de floración</i>	166
4.4.5	<i>Relación entre el rendimiento de fibra y las variables estudiadas en este capítulo</i>	172
<b>4.5</b>	<b>Discusión</b>	176

4.5.1	<i>Parámetros de crecimiento, morfológicos y de dinámica de floración durante los diferentes momentos de muestreo</i>	176
4.5.2	<i>Progreso genético de las variables complementarias al rendimiento</i>	186
4.5.3	<i>Herramientas para el diseño de una arquitectura de planta deseada para alcanzar altos rendimientos</i>	190
<b>4.6</b>	<b>Conclusión</b>	192
	Consideraciones finales	194
	<b>Resumen de los análisis realizados en la presente tesis</b>	195
	<b>Perspectivas en términos de investigación</b>	203
	<b>Consideraciones finales</b>	203
	BIBLIOGRAFÍA	205
	MATERIAL SUPLEMENTARIO	230

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Área cosechada (ha) y producción (t) de algodón en los principales países del mundo para las campañas 2018/19 y 2019/20. Fuente de datos: ICAC World Cotton Database. ....	4
<b>Tabla 2.</b> Superficie destinada al cultivo de algodón en las provincias Argentinas productoras desde la campaña 2009/10 hasta la 2018/19. Fuente de datos: Estimaciones agrícolas, MAGYP.....	9
<b>Tabla 3.</b> Grados día (GD) promedio acumulado que se requiere para lograr cada una de las etapas fenológicas del cultivo del algodón en un experimento puntual realizado en Australia. T° base: 12 °C. Adaptado de Constable y Shaw (1988).....	19
<b>Tabla 4.</b> Progreso genético informados debido al desarrollo de cultivares de algodón, así como el programa de mejoramiento, el tipo y la ubicación de estudio, los años de lanzamiento de los cultivares, el rango de rendimiento informado en kg ha <sup>-1</sup> de fibra y los motivos atribuidos al progreso genético. Adaptado de Conaty y Constable (2020). ....	30
<b>Tabla 5.</b> Variedades y líneas avanzadas utilizadas en el experimento y sus respectivos parentales. Referencias: BG: Bollgard, RR: Roundup Ready. + disponibles en el mercado, * solamente se cultivaron en C2. ....	39
<b>Tabla 6.</b> Características químicas del suelo (0-20 cm) determinadas mediante su análisis en laboratorio de suelos del INTA Reconquista para los experimentos 1 y 2.....	41
<b>Tabla 7.</b> Características químicas del suelo (0-20 cm) determinadas mediante su análisis en laboratorio de suelos del INTA Reconquista para los experimentos 3 y 4.....	41
<b>Tabla 8.</b> Análisis de la varianza para los componentes de rendimiento en las fechas de siembra (FS) y variedades (V) ordenadas según año de lanzamiento. F/C: fibra cápsula <sup>-1</sup> (g); F/S: fibra semilla <sup>-1</sup> (mg); IS: índice de semilla (g); NSC: número de semilla cápsula <sup>-1</sup> ; PC: peso cápsula <sup>-1</sup> (g); NC: número de cápsula m <sup>-2</sup> ; RB: rendimiento bruto (kg ha <sup>-1</sup> ); %F: porcentaje de fibra; RF: rendimiento de fibra (kg ha <sup>-1</sup> ). $\sigma^2$ : varianza. *: p<0,05; **: p<0,01 y ***: p<0,001.....	47
<b>Tabla 9.</b> Componentes de varianza (como porcentaje de la varianza total) asociado al ambiente (A), variedad (V), interacción entre estos factores (A * V), el bloque dentro del ambiente y la varianza del error o residual. Referencias: F/C: fibra cápsula <sup>-1</sup> ; F/S: fibra semilla <sup>-1</sup> ; IS: índice de semilla; NSC: número de semilla cápsula <sup>-1</sup> ; PC: peso cápsula <sup>-1</sup> ; NC:	

número de cápsula  $m^{-2}$ ; RB: rendimiento bruto; %F: porcentaje de fibra; RF: rendimiento de fibra..... 52

**Tabla 10.** Análisis de la varianza para los parámetros de calidad tecnológica de fibra, en las fechas de siembra (FS) y variedades (V) evaluadas en el experimento. Las variedades fueron ordenadas según el año de lanzamiento. UHML: largo medio de fibra de la mitad superior; UI: uniformidad de largo de fibra; SFI: índice de fibras cortas; Str: resistencia de fibra; Mic: micronaire; SCI: índice de hilabilidad; MG: materia grasa; Prot: proteína; s/d: sin datos.  $\sigma^2$ : se refiere a la varianza. \*:  $p < 0,05$ ; \*\*:  $p < 0,01$  y \*\*\*:  $p < 0,001$ . ..... 91

**Tabla 11.** Componentes de la varianza (como porcentaje de la varianza total) asociado con ambiente (A), variedad (V), la interacción entre estos factores (A \* V), el bloque dentro del ambiente, y la varianza del error o residual. Referencias: UHML: largo medio de fibra de la mitad superior; UI: uniformidad de largo de fibra; SFI: índice de fibras cortas; Str: resistencia de fibra; Mic: micronaire; SCI: índice de hilabilidad; MG: materia grasa; Prot: proteína... 95

**Tabla 12.** Condiciones meteorológicas tales como: precipitaciones (PP) en mm, evapotranspiración potencial (ETP) en mm, suma de radiación global (Rad) en  $m^{-2}$  y temperatura media ( $T_m$ ), máxima media ( $T_{m\acute{a}x}$ ) y mínima media ( $T_{m\acute{m}n}$ ) en  $^{\circ}C$ , observadas para los meses de octubre a mayo, tanto para la primer (C1 – 2017 y 2018) como para la segunda (C2 – 2018 y 2019) campaña y el registro histórico (H) de la estación experimental de INTA Reconquista (1970 – 2021). ..... 120

**Tabla 13.** Datos promedios de las principales variables meteorológicas registradas durante los experimentos separadas según el ambiente (A) en el cual las variedades fueron evaluadas. A1: fecha de siembra temprana de la 1<sup>er</sup> campaña; A2: fecha de siembra tardía de la 1<sup>er</sup> campaña; A3: fecha de siembra temprana de la 2<sup>da</sup> campaña; A4: fecha de siembra tardía de la 2<sup>da</sup> campaña; ..... 122

**Tabla 14.** Fechas y grados día (GD) de siembras, emergencias y cosechas. DDE: días desde la emergencia..... 126

**Tabla 15.** Resultados del ANOVA para materia seca ( $g m^{-2}$ ) en las variables según Variedad (V), Momento (M) y Fecha de siembra (FS) evaluados en el experimento. Ta: materia seca (MS) de tallo, RR: MS de rama reproductiva y peciolo, RV: MS de rama vegetativa, H: MS de hoja, Bo: MS de bochas cerradas, PF: MS de pimpollos y flores, Pe: MS de perillas, SF:

MS de semillas y fibra, MSt: MS total, MSv: MS vegetativa, MSr: MS reproductiva.  $\sigma^2$ : se refiere a la varianza. \*:  $p < 0,05$ ; \*\*:  $p < 0,01$  y \*\*\*:  $p < 0,001$ . ..... 157

**Tabla 16.** Resultados del ANOVA para las variables morfológicas en Variedades (V), Momentos (M) y Fecha de siembra (FS) evaluados en el experimento. A: altura, NN: número de nudos, DEN: distancia entre nudos, NRV: número de ramas vegetativas, NRR: número de ramas reproductivas, NIPRR: número de 1<sup>er</sup> rama reproductiva, AIPRR: altura vertical a 1<sup>er</sup> rama reproductiva, DPP: distancia horizontal a 1<sup>er</sup> rama reproductiva, IAF: índice de área foliar, AFE: área foliar específica.  $\sigma^2$ : se refiere a la varianza. \*:  $p < 0,05$ ; \*\*:  $p < 0,01$  y \*\*\*:  $p < 0,001$ . ..... 161

**Tabla 17.** Resultados del ANOVA para las variables relacionadas a la dinámica de floración en Variedades (V), Momentos (M) y Fecha de siembra (FS) evaluados en el experimento. RG: retención global, R1P: retención en 1<sup>era</sup> posición, R2P: retención en 2<sup>da</sup> posición, NP: número de posiciones, NP1P: número de posiciones en 1<sup>era</sup> posición, NP2P: número de posiciones en 2<sup>da</sup> posición, AR: alocación reproductiva, IC: índice de cosecha.  $\sigma^2$ : se refiere a la varianza. \*:  $p < 0,05$ ; \*\*:  $p < 0,01$  y \*\*\*:  $p < 0,001$ . ..... 164

**Tabla 18.** Resumen de los análisis estadísticos realizados durante el experimento. Referencias: rendimiento de fibra (RF), porcentaje de fibra (%F), rendimiento bruto (RB), número de cápsulas  $m^{-2}$  (NC), peso promedio por cápsula (PC), fibra por cápsula (F/C), número de semillas por cápsula (NSC), índice de semilla (IS), fibra por semilla (F/S), UHML: largo medio de fibra de la mitad superior, Srt: resistencia de fibra, Mic: micronaire, Prot: contenido de proteína, MG: porcentaje de aceite, tallo (Ta), ramas reproductivas y peciolo (RR), hojas (H), ramas vegetativas (RV), semillas y fibras (SF), materia seca total (MSt), MS vegetativa (MSv), MS reproductiva (MSr), índice reproductivo/vegetativo (R/V), alocación reproductiva (AR), índice de cosecha (IC), altura (A), número de nudos (NN), distancia entre nudos (DEN), nudo de la primera estructura reproductiva (NIPRR), altura de la primera rama reproductiva (AIPRR), distancia horizontal a la primera estructura reproductiva (DPP), retención global (RG), retención en 1<sup>era</sup> posición (R1P), retención 2<sup>da</sup> posición (R2P), número de posición  $m^{-2}$  (NP), número de posiciones en 1<sup>era</sup> posición  $m^{-2}$  (NP1P) y número de posiciones en 2<sup>da</sup> posición  $m^{-2}$  (NP2P). ns: no significativo, \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$  y \*\*\*:  $p < 0,001$ . ..... 196

## Índice de figuras

- Figura 1.** Superficie mundial cosechada (área gris), producción (barras amarillas) y rendimiento promedio mundial (círculos rojos) de algodón desde la campaña 1969/70 hasta 2019/20. Fuente de datos: Comité Consultivo internacional de Algodón (ICAC)..... 4
- Figura 2.** Distribución de la superficie sembrada en la campaña 2017/18 en el mundo. Colores de verdes más intensos indican mayores hectáreas sembradas. Fuente de datos: ICAC World Cotton Database..... 5
- Figura 3.** Rendimiento de fibra en las campañas 2019/20 en los países con mayor rendimiento y la Argentina. Línea horizontal indica rendimiento promedio mundial: 771 kg ha<sup>-1</sup>. Fuente de datos: ICAC World Cotton Database..... 7
- Figura 4.** Superficie nacional sembrada (área gris), producción (barras amarillas) y rendimiento promedio nacional (círculos rojos) de algodón desde la campaña 1969/70 hasta 2018/19. Fuente de datos: Estimaciones agrícolas, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGYP)..... 8
- Figura 5.** Distribución provincial y departamental de superficie destinada al cultivo de algodón en Argentina en la campaña 2018/19. Colores rojos más intensos indican mayor superficie según escala representada. Fuente de datos: Estimaciones agrícolas, MAGYP.. 10
- Figura 6.** Descripción botánica de la planta de algodón. A: Arquitectura general de la planta de algodón. Imagen adaptada de Ritchie et al. (2004). B: Tipos de hojas de la planta de algodón. Imagen adaptada de Ritchie et al. (2004). C: Estructuras reproductivas de la planta de algodón. Imagen adaptada de Oosterhuis (1990)..... 14
- Figura 7.** Diagrama del momento de la apertura de cada una de las flores por posición fructífera. Imagen adaptada de Ritchie et al. (2004). Números entre paréntesis indican número de nudo del tallo principal, mientras que, número en negrita indica el día de apertura de la flor en cada una de las estructuras reproductivas..... 16
- Figura 8.** Proceso de fertilización de las flores y de desarrollo de las cápsulas del algodón. A-D: Seguimiento visual de la fertilización de las flores. E: Desarrollo y maduración de la cápsula posterior a la fecundación de la flor. Imágenes adaptadas de Ritchie et al. (2004) y publicadas en: <http://www-plb.ucdavis.edu/labs/rost/cotton/cothome.html>..... 18
- Figura 9.** Esquema del ciclo ontogénico del cultivo de algodón. Se representa los principales eventos fenológicos según la escala adaptada por Paytas y Ploschuk (2013). ..... 23

<b>Figura 10.</b> Vista aérea de disposición de parcelas en los experimentos 3 (izquierda) y 4 (derecha). .....	42
<b>Figura 11.</b> Esquema ilustrativo de los componentes de rendimiento analizados en el apartado 2.6.6. Referencias: NC: número de cápsulas por unidad de superficie, PC: peso promedio cápsula <sup>-1</sup> , NSC: número de semilla cápsula <sup>-1</sup> , IS: índice de semillas, F/S: fibra semilla <sup>-1</sup> , RB: rendimiento bruto, RF: rendimiento de fibra, %F: porcentaje de fibra, AR: alocaación reproductiva, IC: índice de Cosecha. ....	44
<b>Figura 12.</b> Tasa estimada de progreso genético para rendimiento de fibra (RF), en cultivares de algodón en 4 ambientes, desde 1965 hasta la actualidad. ....	49
<b>Figura 13.</b> Tasas estimadas de progreso genético para: a) rendimiento bruto (RB) y b) porcentaje de fibra (%F) en cultivares de algodón, en 4 ambientes, desde 1965 hasta la actualidad. ....	50
<b>Figura 14.</b> Tasas estimadas de progreso genético para cultivares de algodón, en 4 ambientes, desde 1965 hasta la actualidad: a) número de cápsulas m <sup>-2</sup> (NC), b) peso cápsula <sup>-1</sup> (PC), c) g de fibra semilla <sup>-1</sup> (F/S), d) índice de semilla, en g (IS), e) número de semilla cápsula <sup>-1</sup> (NSC) y f) g de fibra cápsula <sup>-1</sup> (F/C). Líneas solidas representan regresiones significativas. En los gráficos d) y e) se presentó interacción entre FS y AL, por lo tanto, los puntos y líneas grises corresponden a FS tardía, mientras que, puntos blancos y línea punteada negra corresponden a FS temprana. ....	51
<b>Figura 15.</b> Panel de correlaciones parciales entre rendimiento de fibra (RF) y sus componentes de rendimiento: porcentaje de fibra (%F), rendimiento bruto (RB), número de cápsulas m <sup>-2</sup> (NC), peso promedio cápsula <sup>-1</sup> (PC), fibra cápsula <sup>-1</sup> (F/C), índice de semilla (IS), número de semillas cápsula <sup>-1</sup> (NSC) y fibra semilla <sup>-1</sup> (F/S). En el triángulo superior derecho se encuentran los valores de las correlaciones de Pearson y su significancia, siendo *: p<0,05; **: p<0,01 y ***: p<0,001. El triángulo inferior izquierdo muestra la distribución entre cada una de las variables analizadas de a pares. Cada punto representa el promedio de una variedad en un ambiente siendo los puntos rojos (FSI) y amarillos (FSII) la campaña I y los puntos verdes (FSI) y azules (FSII) la campaña II. ....	54
<b>Figura 16.</b> Relaciones entre variables. a) Relación entre rendimiento bruto (RB en kg ha <sup>-1</sup> ) y rendimiento de fibra (RF en kg ha <sup>-1</sup> ) y b) relación entre porcentaje de fibra (%F) y RF. Círculos representan los datos de la primera campaña (C1) y triángulos representan los datos	

de la segunda campaña de ensayos (C2). Por su parte, los símbolos rellenos de negro son las fechas de siembra tempranas (FSI), mientras que los símbolos blancos son fechas de siembra tardías (FSII). Líneas sólidas grises indican la regresión lineal entre las variables. Por su parte las líneas cortadas corresponden a C2, mientras que las líneas punteadas a C1. Líneas en tonos rojizos indican diferentes %F para los rendimientos dados.....56

**Figura 17.** Regresión lineal entre: a) número de cápsulas  $m^{-2}$  (NC) y rendimiento bruto (RB en  $kg\ ha^{-1}$ ) y b) peso promedio cápsula $^{-1}$  (PC) y RB. Círculos representan los datos de la primera campaña (C1) y triángulos representan los datos de la segunda campaña de ensayos (C2). Por su parte, los símbolos rellenos de negro son las fechas de siembra tempranas (FSI), mientras que los símbolos blancos son fechas de siembra tardías (FSII). Líneas sólidas grises indican la regresión lineal entre las variables. Líneas en tonos rojizos indican diferentes PC para los NC y RB dados. ....57

**Figura 18.** Relación lineal entre peso promedio cápsula $^{-1}$  (PC) y número de cápsulas  $m^{-2}$  (NC). Círculos representan los datos de la primera campaña (C1) y triángulos representan los datos de la segunda campaña de ensayos (C2). Por su parte, los símbolos rellenos de negro son las fechas de siembra tempranas (FSI), mientras que los símbolos blancos son fechas de siembra tardías (FSII). Líneas grises indican la regresión lineal entre las variables para C1 (línea punteada) y C2 (línea cortada). ....58

**Figura 19.** Regresión lineal entre: a) fibra cápsula $^{-1}$  (F/C) y porcentaje de fibra (%F); b) fibra semilla $^{-1}$  (F/S) y %F; c) índice de semilla (IS) y %F y d) número de semillas cápsula $^{-1}$  (NSC) y %F. Círculos representan los datos de la primera campaña (C1) y triángulos representan los datos de la segunda campaña de ensayos (C2). Por su parte, los símbolos rellenos de negro son las fechas de siembra tempranas (FSI), mientras que los símbolos blancos son fechas de siembra tardías (FSII). Líneas sólidas grises indican regresión lineal, en c) líneas cortadas son FSI para C1 (naranja) y C2 (verde); d) línea cortada (FSII) y línea punteada (FSI). ....60

**Figura 20.** Regresión lineal entre: a) fibra cápsula $^{-1}$  (F/C) y fibra semilla $^{-1}$  (F/S); b) F/C e índice de semilla (IS); c) F/C y número de semilla cápsula $^{-1}$  (NSC); d) F/S y NSC; e) F/S e IS y f) IS y NSC. Círculos representan los datos de la primera campaña (C1) y triángulos representan los datos de la segunda campaña de ensayos (C2). Por su parte, los símbolos rellenos de negro son las fechas de siembra tempranas (FSI), mientras que los símbolos

blancos son fechas de siembra tardías (FSII). Línea llena indican regresión lineal para todos los ambientes ..... 62

**Figura 21.** Tasas estimadas de progreso genético para: a) largo medio de fibra de la mitad superior (UHML), b) resistencia de fibra (Str), c) uniformidad de largo de fibra (UI), d) índice de hilabilidad (SCI), e) índice de fibras cortas (SFI) y f) micronaire (Mic), utilizando cultivares, desde 1965 hasta la actualidad, en 4 ambientes. Líneas solidas representan regresiones significativas, líneas cortadas representan regresiones no significativas. En gráfico f) se presentó interacción entre FS y AL, por lo tanto, los puntos y líneas solida gris corresponden a FSII, mientras que, puntos blancos y línea punteada gris corresponden a FSI.

..... 93

**Figura 22.** Tasas estimadas de progreso genético para los subproductos de la semilla evaluados: a) materia grasa (MG), b) proteína (Prot), utilizando cultivares, desde 1965 hasta la actualidad, en 4 ambientes. Líneas cortadas representan regresiones no significativas. .. 94

**Figura 23.** Panel de correlaciones parciales entre los parámetros de calidad de fibra. Referencias: UHML: largo medio de fibra de la mitad superior; UI: uniformidad de largo de fibra; SFI: índice de fibras cortas; STR: resistencia de fibra; Mic: micronaire; SCI: índice de hilabilidad. En el triángulo superior derecho se encuentran los valores de las correlaciones de Pearson y su significancia, siendo \*:  $p < 0,05$ ; \*\*:  $p < 0,01$  y \*\*\*:  $p < 0,001$ . El triángulo inferior izquierdo muestra la distribución entre cada una de las variables analizadas de a pares. Cada punto representa el promedio de una variedad en un ambiente siendo los puntos rojos (FSI) y amarillos (FSII) la campaña I y los puntos verdes (FSI) y azules (FSII) la campaña II. .... 96

**Figura 24.** Panel de correlaciones parciales entre rendimiento de fibra (RF) y sus componentes de rendimiento: porcentaje de fibra (%F), rendimiento bruto (RB), número de cápsulas  $m^{-2}$  (NC), peso promedio cápsula $^{-1}$  (PC), fibra cápsula $^{-1}$  (F/C), número de semillas cápsula $^{-1}$  (NSC), índice de semilla (IS), fibra semilla $^{-1}$  (F/S), UHML: largo medio de fibra de la mitad superior; Str: resistencia de fibra y Mic: micronaire. En el triangula superior derecho se encuentran los valores de las correlaciones de Pearson y su significancia, siendo \*:  $p < 0,05$ ; \*\*:  $p < 0,01$  y \*\*\*:  $p < 0,001$ . El triángulo inferior izquierdo muestra la distribución entre cada una de las variables analizadas de a pares. Cada punto representa el promedio de una variedad

en un ambiente siendo los puntos rojos (FSI) y amarillos (FSII) la campaña I y los puntos verdes (FSI) y azules (FSII) la campaña II. .... 98

**Figura 25.** Gráfico de cajas de los principales subproductos de la semilla, cuantificados en el experimento en porcentaje del contenido total. MG: % de aceites o materia grasa. El punto rojo indica la media, mientras que la barra vertical indica la mediana para cada compuesto. .... 100

**Figura 26.** Panel de correlaciones parciales entre rendimiento de fibra (RF) y sus componentes de rendimiento: porcentaje de fibra (%F), número de cápsulas  $m^{-2}$  (NC), peso promedio cápsula $^{-1}$  (PC), fibra cápsula $^{-1}$  (F/C), número de semillas cápsula $^{-1}$  (NSC), índice de semilla (IS), fibra semilla $^{-1}$  (F/S), contenido de proteína (Prot), aceite (MG), ac. Palmítico (16:0), ac. Esteárico (18:0), ac. Oleico (18:1) y ac. Linoleico (18:2). En el triángulo superior derecho se encuentran los valores de las correlaciones de Pearson y su significancia, siendo \*:  $p < 0,05$ ; \*\*:  $p < 0,01$  y \*\*\*:  $p < 0,001$ . El triángulo inferior izquierdo muestra la distribución entre cada una de las variables analizadas de a pares. Cada punto representa el promedio de una variedad en un ambiente siendo los puntos rojos (FSI) y amarillos (FSII) la campaña I y los puntos verdes (FSI) y azules (FSII) la campaña II. .... 102

**Figura 27.** Comparación entre los promedios históricos (1970-2020) y valores observados de las principales variables climáticas, durante los años 2017, 2018 y 2019 de cultivo en Reconquista, Santa Fe, Argentina. a) precipitación acumulada ( $mm.mes^{-1}$ ), b) evapotranspiración potencial (ETP,  $mm.mes^{-1}$ ), c) radiación global (Rad,  $MJ.m^{-2}.mes^{-1}$ ), d) temperatura máxima media mensual ( $^{\circ}C$ ), e) heliofanía efectiva (HE,  $hs.día^{-1}.mes^{-2}$ ) y f) temperatura mínima media mensual ( $^{\circ}C$ ). Círculos negros corresponden a C1 y triángulos blancos a C2..... 121

**Figura 28.** Precipitaciones (barras azules), temperatura máxima (líneas cortadas rojas), temperatura mínima (líneas cortadas azules) y radiación global (cuadrados amarillos), desde el 1° de octubre de 2017, en INTA Reconquista. Se indican los momentos de siembra y periodo de floración de la fecha de siembra temprana (FS I) y tardía (FS II). .... 124

**Figura 29.** Precipitaciones (barras azules), temperatura máxima (líneas cortadas rojas), temperatura mínima (líneas cortadas azules) y radiación global (cuadrados amarillos), desde el 1° de octubre de 2018, en INTA Reconquista. Se indican los momentos de siembra y periodo de floración de la fecha de siembra temprana (FS I) y tardía (FS II). .... 125

<b>Figura 30.</b> Tiempo en grados día (GD) registrado para alcanzar los diferentes estados fenológicos en las variedades utilizadas en el ensayo ordenadas según largo del ciclo. Referencias: 1P: primer pimpollo visible, 1F: primera flor blanca abierta; CO: cut-out y 1C: primera cápsula abierta. ....	127
<b>Figura 31.</b> Relación entre el año de lanzamiento del cultivar y los grados día (GD) necesarios para alcanzar los estados fenológicos de: a) primer pimpollo visible (1P), b) primera flor blanca abierta (1F), c) cut-out (CO) y d) primera cápsula abierta (1C). ....	128
<b>Figura 32.</b> Relación entre los grados día (GD) necesarios para alcanzar los estados fenológicos de: a) primer pimpollo visible (1P), b) primera flor blanca abierta (1F), c) cut-out (CO) y d) primera cápsula abierta (1C) y el rendimiento de fibra (RF) promedio para todos los ambientes. ....	129
<b>Figura 33.</b> Relación entre el rendimiento de fibra (RF) en kg ha <sup>-1</sup> y: a) promedio de temperatura mínima media (Temp. mín) durante el periodo crítico (PeC) en °C; b) promedio de temperatura máxima media (Temp. máx) durante el PeC en °C y suma de c) radiación global (Rad) en MJ.m <sup>-2</sup> , d) heliofanía (HE) en horas, e) evapotranspiración potencial (ETP) en mm y f) precipitaciones durante PeC en mm. Círculos representan los datos de la primera campaña y triángulos representan los datos de la segunda campaña de ensayos. Por su parte, los símbolos rellenos de negro son las fechas de siembra tempranas, mientras que, los símbolos blancos son fechas de siembra tardías. ....	131
<b>Figura 34.</b> Regresión lineal entre: a) porcentaje de proteína (Prot) y el promedio de temperatura mínima media (Temp. mín) durante el periodo crítico (PeC) en °C; b) Prot y promedio de temperatura máxima media (Temp. máx) durante el PeC en °C, c) porcentaje de materia grasa (MG) y radiación global (Rad) en MJ m <sup>-2</sup> , d) MG y heliofanía (HE) en horas, e) MG y evapotranspiración potencial (ETP) en mm. Círculos representan los datos de la primera campaña y triángulos representan los datos de la segunda campaña de ensayos. Por su parte, los símbolos rellenos de negro son las fechas de siembra tempranas, mientras que, los símbolos blancos son fechas de siembra tardías. ....	132
<b>Figura 35.</b> Esquema de cada parcela en cada uno de los experimentos, detallando los lugares de cosecha y cortes de plantas para materia seca. ....	147
<b>Figura 36.</b> Arquitectura de una planta de algodón y características morfológicas medidas en el apartado 2.6.4. Referencias: NIPRR: Nudo de Inserción de la Primer Rama Reproductiva;	

DPP: Distancia a la Primera Posición; N: Nudo; R: Rama reproductiva; RV: Rama Vegetativa; NN: Número de Nudos; RR: Número de Ramas Reproductivas; DEN: Distancia Entre Nudos; A: Altura de la planta. Imagen adaptada de Bourland et al. (1992). ..... 149

**Figura 37.** Esquema ilustrativo de realización de dinámica de floración en planta de algodón. Para cada nudo y posición se registran los pimpollos, flores o cápsulas retenidas. C: cápsula retenida; A: aborto; %RG: porcentaje de retención global, determinado por la relación entre el total de estructuras reproductivas retenidas y el total de posiciones reproductivas generadas por planta. Imagen adaptada de Guthrie y Kerby (1993). ..... 151

**Figura 38.** Figura principal: Materia seca total (MSt) promedio para todos los cultivares en los diferentes momentos de muestreo. M0: 0 días desde emergencia (DDE). M1: 50 DDE. M2: 100 DDE. M3: 150 DDE. Círculos negros y blancos indican campaña 1 para fecha de siembra temprana (línea sólida gris) y tardía (línea punteada azul), respectivamente. Triángulos negros y blancos indican campaña 2 para fecha de siembra temprana (línea punteada gris) y tardía (línea sólida azul), respectivamente. Figura secundaria: Materia seca vegetativa (líneas punteadas verdes) y reproductiva (líneas sólidas marrones) para los tres muestreos en los ambientes 1 (A1), 2 (A2), 3 (A3) y 4 (A4). ..... 153

**Figura 39.** Barras apiladas de materia seca (MSt) particionada según órgano: tallo (Ta-barra marrón), rama reproductiva y peciolos (RR – barra naranja), hojas (H – barra verde claro), rama vegetativa (RV – barra verde oscuro), pimpollos y flores (PF – barras fucsias), bochas cerradas (Bo - barras azules), perilla (Pe – barras negras) y semilla y fibra (SF – barras rosas), para los muestreos realizados 50 (M1), 100 (M2) y 150 (M3) días desde la emergencia para los 4 ambientes estudiados. A1: fecha de siembra temprana en campaña 2017/18; A2: fecha de siembra tardía en campaña 2017/18; A3: fecha de siembra temprana en campaña 2018/19 y A4: fecha de siembra tardía en campaña 2018/19. .... 155

**Figura 40.** Tasas estimadas de progreso genético para materia seca total (MSt) de algodón, utilizando cultivares desde 1965 hasta la actualidad, en 4 ambientes de estudios, para 3 muestreos realizados durante el ciclo del cultivo: a) M1: 50 días desde la emergencia (DDE), b) M2: 100 DDE y c) M3: 150 DDE. Los puntos blancos no se tuvieron en cuenta para la regresión y corresponden al año de lanzamiento 1965 y 1980 para M1 y M2, respectivamente. Líneas sólidas representan regresiones significativas. .... 166

**Figura 41.** Tasas de progreso genético para materia seca vegetativa (MSv) para: a) primer momento de muestreo (M1), b) segundo momento de muestreo (M2) y c) tercer momento de muestreo (M3), y para materia seca reproductiva (MSr) para d) M1, e) M2 y f) M3. El punto blanco en a) no se tuvo en cuenta para la regresión y corresponde al año de lanzamiento de 2009. Líneas solidas representan regresiones significativas. .... 167

**Figura 42.** Tasas de progreso genético para el índice reproductivo/vegetativo (R/V) para: a) primer momento de muestreo (M1), b) segundo momento de muestreo (M2) y c) tercer momento de muestreo (M3), d) alocaación reproductiva (AR) para M3 y e) índice de cosecha (IC) para M3. El punto blanco en e) no se tuvo en cuenta para la regresión y corresponde al año de lanzamiento de 2009. Líneas solidas representan regresiones significativas..... 168

**Figura 43.** Tasas de progreso genético para variables relacionadas a la morfología de las plantas, para el muestreo de 150 días desde emergencia (M3) en: a) altura (A), b) número de nudos (NN), c) distancia entre nudos (DEN), d) nudo de la primera estructura reproductiva (NIPRR), e) altura de la rama de la primera estructura reproductiva (AIPRR) y f) distancia horizontal a la primera estructura reproductiva (DPP). Líneas solidas representan regresiones significativas..... 169

**Figura 44.** Tasas de progreso genético para variables relacionadas a la dinámica de floración: retención global (RG) para: a) primer momento de muestreo (M1), b) segundo momento de muestreo (M2) y c) tercer momento de muestreo (M3), d) retención en la primera posición para M3 (R1P), e) retención en la segunda posición (R2P) y f) número de posiciones m<sup>-2</sup>. El punto blanco en a, b y c no se tuvo en cuenta para la regresión y corresponde al año de lanzamiento de 2009. Líneas solidas representan regresiones significativas. .... 171

**Figura 45.** Panel de correlaciones parciales entre rendimiento de fibra (RF) en kg ha<sup>-1</sup> y el peso seco en g m<sup>-2</sup> de las variables de crecimiento y partición correspondientes al muestreo de los 150 días desde la emergencia (M3). Referencias: Tallo (Ta), ramas reproductivas y peciolo (RR), hojas (H), ramas vegetativas (RV), perilla (Pe), semillas y fibras (SF), materia seca total (MSt), MS vegetativa (MSv), MS reproductiva (MSr), índice reproductivo/vegetativo, alocaación reproductiva (AR) e índice de cosecha (IC). En el triángulo superior derecho se encuentran los valores de las correlaciones de Pearson y su significancia, siendo \*: p<0,05; \*\*: p<0,01 y \*\*\*: p<0,001. El triángulo inferior izquierdo muestra la distribución entre cada una de las variables analizadas de a pares. Cada punto

representa el promedio de una variedad en un ambiente siendo los puntos rojos (FSI) y amarillos (FSII) la campaña I y los puntos verdes (FSI) y azules (FSII) la campaña II. ... 173

**Figura 46.** Panel de correlaciones parciales entre rendimiento de fibra (RF) en kg ha<sup>-1</sup> y las variables morfológicas correspondientes al muestreo de los 150 días desde la emergencia (M3). Referencias: altura (A), número de nudos (NN), distancia entre nudos (DEN), nudo de la primera estructura reproductiva (NIPRR), altura de la primera rama reproductiva (AIPRR) y distancia horizontal a la primera estructura reproductiva (DPP). En el triángulo superior derecho se encuentran los valores de las correlaciones de Pearson y su significancia, siendo \*: p<0,05; \*\*: p<0,01 y \*\*\*: p<0,001. El triángulo inferior izquierdo muestra la distribución entre cada una de las variables analizadas de a pares. Cada punto representa el promedio de una variedad en un ambiente siendo los puntos rojos (FSI) y amarillos (FSII) la campaña I y los puntos verdes (FSI) y azules (FSII) la campaña II. .... 174

**Figura 47.** Panel de correlaciones parciales entre rendimiento de fibra (RF) en kg ha<sup>-1</sup> y las variables relacionadas a los estudios de dinámica de floración correspondientes al muestreo de los 150 días desde la emergencia (M3). Referencias: retención global (RG), retención en 1<sup>era</sup> posición (R1P), retención 2<sup>da</sup> posición (R2P), número de posición m<sup>-2</sup> (NP), número de posiciones en 1<sup>era</sup> posición m<sup>-2</sup> (NP1P) y número de posiciones en 2<sup>da</sup> posición m<sup>-2</sup> (NP2P) En el triángulo superior derecho se encuentran los valores de las correlaciones de Pearson y su significancia, siendo \*: p<0,05; \*\*: p<0,01 y \*\*\*: p<0,001. El triángulo inferior izquierdo muestra la distribución entre cada una de las variables analizadas de a pares. Cada punto representa el promedio de una variedad en un ambiente siendo los puntos rojos (FSI) y amarillos (FSII) la campaña I y los puntos verdes (FSI) y azules (FSII) la campaña II. ... 175

**Figura 48.** Gráficos de dispersión entre la retención global (RG) en % y la materia seca (MS) para los momentos de muestreo de 50 días después de la emergencia (a y d), 100 días después de la emergencia (b y e) y 150 días después de la emergencia (c y f) para la primera (a, b, c) y segunda (d, e, f) campañas de estudio. Círculos verdes indican materia seca vegetativa (MSv) y triángulos blancos la materia seca reproductiva (MSr). La línea negra sólida y punteada indican regresiones de MSv y MSr con RG, respectivamente. \* indican que la regresión es significativa. .... 182

**Figura 49.** Figura principal: Materia seca (MS) promedio para todos los cultivares en los diferentes momentos de muestreo. M1: 50 días desde emergencia (DDE). M2: 100 DDE. M3:

150 DDE según sea materia seca total (MSt- símbolos grises), materia seca vegetativa (MSv – símbolos verdes) y materia seca reproductiva (MSr – símbolos blancos) para fecha de siembra temprana (FSI – círculos) y fecha de siembra tardía (FSII – cuadrados). Figura secundaria: índice reproductivo/vegetativo (R/V) para los tres momentos antes mencionados para fecha de siembra temprana (FSI) y tardía (FSII). ..... 184

**Figura 50.** Panel de variables que registraron correlaciones parciales significativas y positivas con el rendimiento de fibra (RF) clasificadas según sean componentes de rendimiento, parámetros de calidad, variables de mapeo o extraídas de los análisis de partición y morfología. Referencias: RB: rendimiento bruto, NC: número de cápsulas  $m^{-2}$ , PC: peso promedio.cápsula $^{-1}$ , %F: porcentaje de fibra, F/C: fibra cápsula $^{-1}$ , F/S: fibra semilla $^{-1}$ , IS: índice de semilla, Prot: contenido de proteína en semilla, Mic: micronaire, RG: retención global, R1P: retención en primera posición, NP1P: número de posiciones en primera posición, NIPRR: nudo de la primera estructura reproductiva, IC: índice de cosecha, AR: alocaión reproductiva, R/V: índice reproductivo/vegetativo SF: peso seco de semilla y fibra en M3, MSr: materia seca reproductiva en M3, y Pe: materia seca de perilla en M3. .... 198

**Figura 51.** Panel de variables que registraron correlaciones parciales significativas y negativa con el rendimiento de fibra (RF) clasificadas según sean componentes de rendimiento, parámetros de calidad, variables de mapeo o extraídas de los análisis de partición y morfología. Referencias: MSv: materia seca vegetativa, H: materia seca de hoja en M3, RR: materia seca de ramas reproductiva y peciolo en M3, RV: materia seca de ramas vegetativas en M3, Ta: materia seca de tallo en M3, MSt: materia seca total en M3, A: altura, NP: número de posiciones en M3, DEN: distancia entre nudos en M3, DPP: distancia a primera posición en M3, NN: número de nudos, 18:1 ácido Oleico y 18:0 ácido Esteárico. .... 199

**Figura 52.** Croquis de todos los componentes que aportan al rendimiento de fibra (RF). Referencias: %F: porcentaje de fibra, RB: rendimiento bruto, NC: número de cápsulas  $m^{-2}$ , Pl. $m^{-2}$ : plantas  $m^{-2}$ , NP: número de posiciones, RG: retención global de estructuras reproductivas, F/C: fibra capsula $^{-1}$ , IS: índice de semilla, F/S: fibra semilla $^{-1}$ , NSC: número de semilla capsulas $^{-1}$ . Los recuadros indican los coeficientes de correlación parcial de Pearson informados en el capítulo 1 del presente manuscrito. .... 202

## Abreviaturas

ha: hectárea	Rd: reflectancia de la fibra
t: tonelada	+ b: pigmentación de la fibra
E: emergencia	PP: precipitaciones
DDA: días desde antesis	ETP: evapotranspiración potencial
1P: 1 <sup>er</sup> pimpollo visible	Rad: radiación global
1F: 1 <sup>era</sup> flor blanca abierta	HE: heliofanía
CO: cut-out	Tm: temperatura media
1C: 1 <sup>era</sup> cápsula abierta (1B)	Tmáx: temperatura media máxima
T <sub>b</sub> : temperatura base	Tmín: temperatura media mínima
FS: fecha de siembra	GD: grados día
FSI: fecha de siembra temprana	PeC: período crítico
FSII: fecha de siembra tardía	DE: desvío estándar
V: variedad	Ta: tallo
A: ambiente	RR: rama reproductiva
RB: rendimiento bruto	RV: rama vegetativa
RF: rendimiento de fibra	Ho: hojas
%F: porcentaje de fibra	PF: pimpollo y flores
PC: peso promedio cápsula <sup>-1</sup>	Bo: cápsulas cerradas
NC: número de cápsulas m <sup>-2</sup>	Pe: perilla
NSC: número de semillas cápsula <sup>-1</sup>	SF: semilla + fibra
F/S: fibra semilla <sup>-1</sup>	MSt: materia seca total
F/C: fibra cápsula <sup>-1</sup>	MSr: materia seca reproductiva
IS: índice de semilla	MSv: materia seca vegetativa
SCI: índice de hilabilidad	A: altura
UHML: longitud media mitad superior	NN: número de nudos
UI: porcentaje de uniformidad de fibra	DEN: distancia entre nudos promedio
SFI: índice de fibras cortas	NRV: número de ramas vegetativas
Str: resistencia de fibra	NRR: número de ramas reproductivas
Elg: elongación de fibra	NIPRR: número de 1 <sup>er</sup> rama reproductiva
Mic: micronaire	

DPP: distancia horizontal a 1<sup>er</sup> rama  
reproductiva  
AIPRR: altura vertical a 1<sup>er</sup> rama  
reproductiva  
IAF: índice de área foliar  
AFE: área foliar específica  
RG: retención global  
R1P: retención en primera posición  
R2P: retención en segunda posición  
NP: número de posiciones  
NP1P: número de posiciones en primera  
posición  
NP2P: número de posiciones en segunda  
posición  
R/V: relación reproductivo/vegetativo  
AR: alocaión reproductiva  
IC: índice de cosecha

## Resumen

El programa de mejoramiento genético de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) de INTA comenzó en 1923 y desde ese momento generó más de 40 variedades comerciales de algodón y numerosas líneas avanzadas. Los estudios de progreso genético se han utilizado para evaluar la mejora histórica de diferentes rasgos y para proporcionar información sobre posibles mejoras en futuros cultivares. Estos estudios fueron realizados en diferentes programas de mejoramiento de algodón en el mundo y en varios cultivos en Argentina, excepto en el cultivo de algodón. En este contexto, el objetivo de este trabajo fue determinar el progreso genético de variedades de algodón cultivadas en Argentina en los últimos 50 años, tanto en rendimiento, como en variables de crecimiento, desarrollo, calidad de fibra, proteína y aceite; identificando las principales bases ecofisiológicas responsables de tales logros. El estudio fue conducido durante 2 campañas (2017/18 y 2018/19) incluyendo 20 cultivares de algodón en 4 ambientes, determinados por 2 fechas de siembra por campaña, con años de lanzamiento desde 1965 hasta la actualidad. Para cumplir con el objetivo del presente estudio se cuantificaron el rendimiento de fibra junto con diez componentes del mismo. Asimismo, fueron determinados parámetros de calidad tecnológica de fibra, contenidos de materia grasa, proteínas y la composición de ácidos grasos en semilla. Además, durante el ciclo del cultivo se realizaron 3 cortes de materia seca, donde se midieron treinta variables morfológicas, de desarrollo y crecimiento, junto con mapeos de floración. El progreso genético en rendimiento de fibra fue de  $3,24 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  sin diferencias entre fechas de siembra. Este incremento estuvo traccionado por un aumento significativo del rendimiento bruto, porcentaje de fibra, número de cápsulas  $\text{m}^{-2}$  y fibra semilla<sup>-1</sup>. El ambiente, representado como la combinación entre campaña y fecha de siembra, fue el factor que determinó la mayor parte de la variación en el rendimiento y sus principales componentes, a excepción del porcentaje de fibra, donde el componente genético fue más importante. Por otro lado, ninguno de los componentes de calidad de fibra y/o semilla registró progresos significativos en los cultivares y ambientes evaluados, destacándose el hallazgo de relaciones lineales entre algunas variables meteorológicas registradas durante el periodo crítico del cultivo, y el contenido de materia grasa y proteína en semilla. Los cultivares modernos registraron una tendencia a presentar menores requerimientos de grados día para llegar a la madurez fisiológica y, entre las variables de crecimiento medidas, se destacaron una

disminución en la materia seca total y un incremento, tanto del índice de cosecha como del porcentaje de retención de estructuras reproductivas, en los cultivares modernos. El presente trabajo permitió la estimación del progreso genético de algodón en Argentina y dilucidó los cambios involucrados que posibilitaron tal incremento. Asimismo, sienta las bases en diferentes variables y mecanismos involucrados en el rendimiento, calidad, crecimiento y desarrollo en el cultivo de algodón en Argentina.

## **Abstract**

The Argentinian cotton (*Gossypium hirsutum* L.) breeding program was established in 1923 and since then it has released more than 40 commercial varieties of cotton and numerous germplasm lines. Genetic progress studies have been used to evaluate the historical enhancement of different traits and to provide insights into possible improvements in future cultivars. In this context, the present study aims to estimate the genetic progress not only for lint yield (LY) and its main components, but also in terms of growth, development, lint quality and seed quality among cotton cultivars released in Argentina since 1965, throughout different environmental conditions, identifying the main bases responsible for such achievements. This study was conducted over a 2-year period (2017/18 and 2018/19) and included 20 cotton cultivars grown in 4 different environments determined by 2 sowing dates per season. To meet the objective of this study, lint yield was quantified with 10 yield components. Likewise, parameters of technological lint and seed quality were determined. In addition, during the crop cycle, different dry matter evaluations were made, where 30 variables were measured. The rate of genetic progress in LY was  $3.24 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$  with no differences among the environments evaluated. LY improvement was accompanied by an increase in seed cotton yield (SCY), lint percentage (LP), number of boll  $\text{m}^{-2}$  (NB) and lint seed<sup>-1</sup> (LS). Environment was the dominant factor governing LY and its main components and lint and seed quality, except for LP. Partial Pearson correlation showed that LY and almost all its components were all positively correlated. In addition, none of the lint and seed quality variables showed significant genetic progress in the cultivars and environments evaluated. Also, it is important to mention the finding of linear relationships between some meteorological variables recorded during the critical period for crop yield determination and the content of protein and oil in the seeds. On the other hand, modern cultivars showed a tendency to present lower days degree<sup>-1</sup> to reach physiological maturity and, among the growth variables measured, a decrease in total dry matter and an increase in both the harvest index and the retention percentage of reproductive structures were observed in modern cultivars. The information from this study would be an important tool for crop management and futures breeding programs in Argentina.

# Introducción general

La palabra algodón (*Gossypium hirsutum* L.) deriva del árabe “*quotn*”, “*kutum*” o “*gutum*” que refiere a un cultivo que produce fibras hilables en sus semillas (Lee, 1984). En la actualidad, el algodón es la fibra textil natural más importante del mundo, extendiendo una de las mayores industrias textiles que tiene un impacto económico anual de al menos U\$\$ 600 billones en todo el mundo (Khan et al., 2020). Además, en algunos países se lo conoce como “oro blanco” debido a la cantidad de ingresos que genera en las regiones donde se produce (Iqbal et al., 2013).

Es cultivado principalmente para la obtención de fibras, aunque también se destaca como fuente de productos oleaginosos y alimenticios. En aquellos países que producen y consumen la materia prima, su participación es muy importante en los procesos de crecimiento económico, y contribuye al desarrollo sustentable con responsabilidad social (Paytas y Ploschuk, 2013).

## **I. Origen del cultivo**

La historia del algodón comienza 10 a 20 millones de años atrás con la evolución del género *Gossypium* (Seelanan et al., 1997; Wendel y Albert, 1992). El género *Gossypium* perteneciente a la familia *Malvaceae* y a la tribu *Gossypieae*, comprende aproximadamente 50 especies de arbustos y pequeños árboles distribuidos a través de los trópicos y subtrópicos (Wendel y Albert, 1992). Varias de estas especies son bien conocidas, como el cultivo comercial de algodón, sin embargo, la mayoría son menos conocidas y se dan como elementos de la vegetación autóctona en varias partes del mundo como en Australia, México y África (Fryxell, 1986).

El género *Gossypium* tiene una larga historia de estudios taxonómicos y evolutivos. Gran parte de esta atención ha sido estimulada por el hecho de que el género incluye cuatro especies domesticadas: alopoliploides del “Nuevo Mundo”, *Gossypium hirsutum* y *Gossypium barbadense* ( $2n = 4x = 52$ ), y los diploides del “Viejo Mundo” *Gossypium arboreum* y *Gossypium herbaceum* ( $2n = 2x = 26$ ) (Wendel et al., 2010). Estas cuatro especies han sido cultivadas como fibra o semilla durante al menos 5000 años (Chowdhury y Buth, 1971; Lee, 1984). Además, cada una de estas especies parece haberse derivado independientemente de los antecesores originales, logrando una domesticación múltiple sin precedentes en la evolución de las plantas cultivadas (Lee, 1984).

En la actualidad, *G. arboreum* sigue siendo un cultivo importante en la India, mientras que *G. herbaceum*, importante en épocas anteriores, se cultiva actualmente en las zonas más secas de África y Asia. *G. barbadense*, comúnmente conocido como algodón extra-largo, egipcio o pima, entre otros nombres, suministra entre el 3 y el 5% de la producción mundial actual de fibra y, *G. hirsutum*, conocido más comúnmente como algodón *upland*, contribuye con cerca del 95% de la producción mundial actual (Lee y Fang, 2015).

En las cuatro especies cultivadas, la domesticación ha convergido en un fenotipo similar: arbustos pequeños, compactos, sin respuesta al fotoperiodo, con frutos y semillas grandes, con capas de semillas permeables y una marcada diferenciación entre las capas de linter y de fibra (Fryxell, 1979). Por el contrario, sus antecesores son arbustos perennes, rectos, extendidos, o pequeños árboles, con pequeños frutos y semillas, con capas de semillas impermeables y una pobre diferenciación entre las capas de linter y de fibra (Wendel et al., 2010).

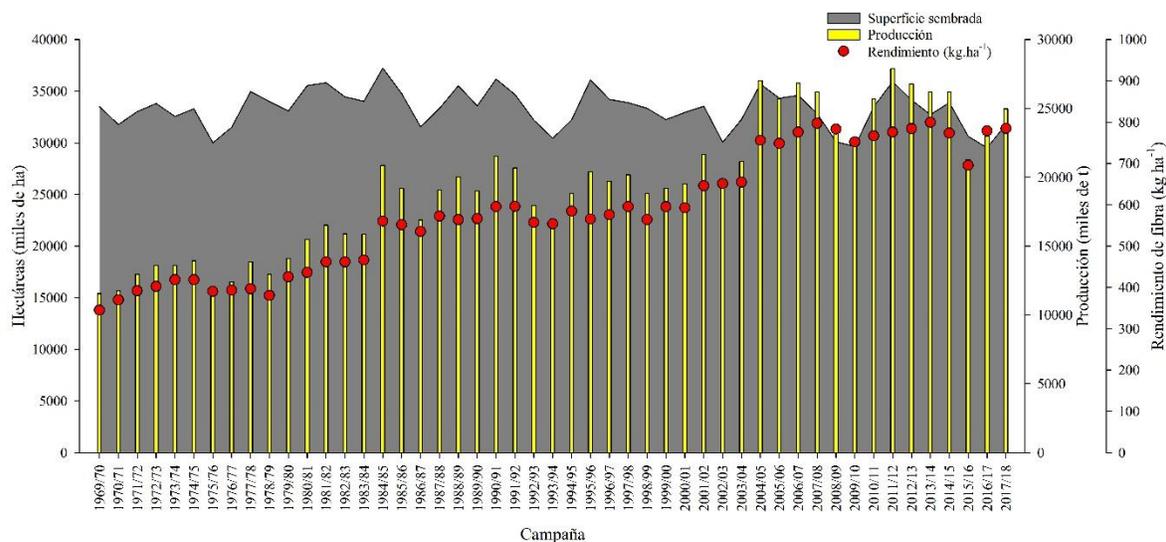
## **II. Producción mundial y rendimientos**

El algodón se cultiva en zonas subtropicales y tropicales estacionalmente secas, tanto en el hemisferio norte como en el sur, aunque la mayor parte de la producción mundial tiene lugar al norte del ecuador (OECD, 2019). La principal zona de producción se ubica en la banda comprendida entre 37° latitud N y 32° latitud S; aunque se extiende también a 45° latitud N en China (Chaudhry y Guitchounts, 2003).

El algodón es cultivado en aproximadamente el 2,4% de la superficie cultivable del mundo (Blaise, 2006) y su producción a nivel mundial se ha cuadruplicado en las décadas que van de 1950/51 hasta 2004/05, pasando de 7 millones de t en la campaña 1950/51 a 27 millones de t en el 2004/05, con una tasa de crecimiento promedio de 2,5% por año, que representa 290.000 t por año (Wakelyn y Chaudhry, 2010).

La superficie mundial de algodón ha fluctuado en la historia reciente entre 28 y 36 millones de ha, con un promedio de 32,2 millones de ha en los últimos 50 años (Figura 1). No obstante, la producción fue incrementándose año tras año, hasta llegar a una meseta desde mediados de los años 2000 (Wakelyn y Chaudhry, 2010). Este incremento de la producción, desde 10 millones de t en la década del 1970, hasta 25 millones de t en la actualidad, fue impulsado fundamentalmente por el aumento del rendimiento promedio mundial de fibra. Este creció

desde 350 kg ha<sup>-1</sup> en la campaña 1969/70 hasta 785 kg ha<sup>-1</sup> en la campaña 2017/18, que se corresponde a 1,54% de incremento anual de rendimiento de fibra en el mundo. A pesar de este marcado incremento, Wakelyn y Chaudhry (2010) destacaron que el progreso promedio mundial de rendimiento de fibra de algodón, pasó por dos periodos de meseta, el primero fue desde el año 1989 hasta 2000 y el segundo comenzó en 2005 y se extiende hasta nuestros días.



**Figura 1.** Superficie mundial cosechada (área gris), producción (barras amarillas) y rendimiento promedio mundial (círculos rojos) de algodón desde la campaña 1969/70 hasta 2019/20. Fuente de datos: Comité Consultivo internacional de Algodón (ICAC).

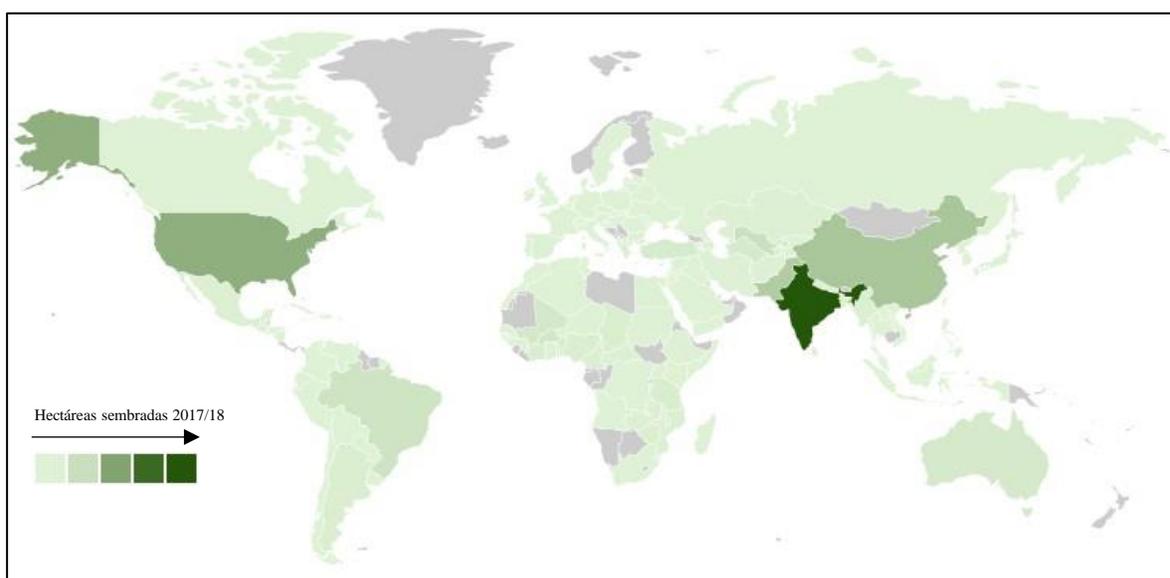
Por otro lado, en los últimos años la superficie se distribuyó de manera diferencial entre los países (Tabla 1), donde se observa que, India es el país con la mayor superficie cultivada en el mundo (38%), seguido por Estados Unidos, China, Pakistán y Brasil. Entre los 5 principales países, antes mencionados, acumularon el 73% de la superficie mundial. Conjuntamente, se puede notar que Argentina ocupó en estas campañas el puesto 14 entre los máximos productores de algodón del mundo con 385.000 ha y 358.000 t de fibra de algodón (Tabla 1). Asimismo, en la Figura 2 se puede observar con colores resaltados los países del mundo donde se produce algodón.

**Tabla 1.** Área cosechada (ha) y producción (t) de algodón en los principales países del mundo para las campañas 2018/19 y 2019/20. Fuente de datos: ICAC World Cotton Database.

País / Campaña	2018/19		2019/20	
	Superficie sembrada (ha)	Producción (t)	Superficie sembrada (ha)	Producción (t)
1 - India	12.600.000	5.350.000	12.700.000	6.000.000

2 - Estados Unidos	4.130.000	3.999.000	4.177.000	4.377.000
3 - China	3.367.000	6.040.000	3.300.000	5.800.000
4 - Pakistán	2.325.000	1.670.000	2.631.000	1.350.000
5 - Brasil	1.618.000	1.685.000	1.662.000	1.658.000
6 - Uzbekistán	900.000	712.000	900.000	712.000
7 - Mali	698.000	395.000	782.000	390.000
8 - Burkina Faso	646.000	283.000	735.000	283.000
9 - Benín	656.000	449.000	700.000	450.000
10 - Turkmenistán	534.000	300.000	545.000	307.000
11 - Turquía	520.000	977.000	520.000	815.000
12 - Tanzania	420.000	193.000	441.000	247.000
13 - Costa de Marfil	392.000	514.000	426.000	514.000
<b>14 - Argentina</b>	<b>333.000</b>	<b>257.000</b>	<b>385.000</b>	<b>358.000</b>
15 - Nigeria	250.000	205.000	250.000	205.000
16 - Camerún	250.000	132.000	250.000	140.000
17 - Grecia	243.000	308.000	250.000	317.000
18 - Myanmar	239.000	152.000	246.000	158.000
19 - Kazajistán	113.000	75.000	117.000	78.000
20 - Australia	343.000	485.000	90.000	170.000
Resto del mundo	2.386.000	1.512.521	2.517.000	1.594.063
<b>Total</b>	<b>32.963.000</b>	<b>25.693.521</b>	<b>33.624.000</b>	<b>25.923.063</b>

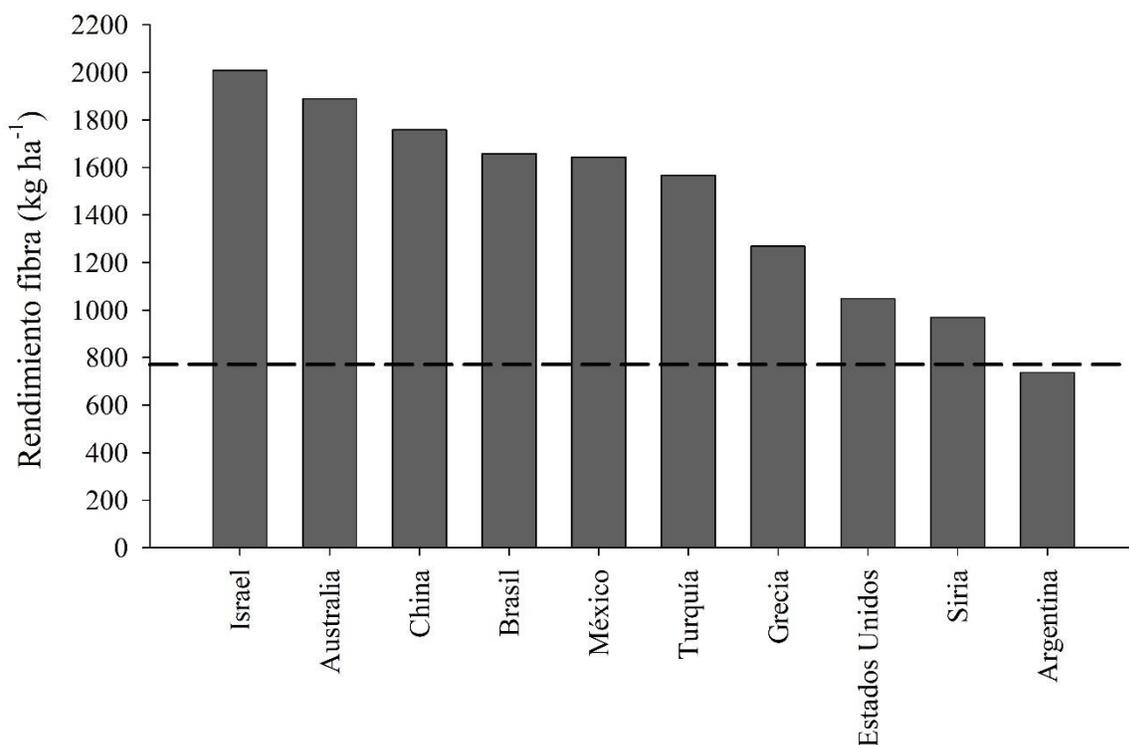
Con respecto a la producción mundial, se puede notar que, aunque India es el país con mayor área cosechada, su producción se encuentra próxima a los demás principales países productores. El motivo de esta diferencia, se relaciona al rendimiento por unidad de superficie de India, el cual es mucho menor que en los demás principales países productores.



**Figura 2.** Distribución de la superficie sembrada en la campaña 2017/18 en el mundo. Colores de verdes más intensos indican mayores hectáreas sembradas. Fuente de datos: ICAC World Cotton Database.

En este sentido, los rendimientos son variables según los países y las regiones, si bien el promedio mundial en 2020/21 fue de 775 kg ha<sup>-1</sup>, la diferencia entre los principales países productores fue significativa. Para citar un ejemplo, Israel registró un rendimiento cercano a 2000 kg ha<sup>-1</sup> de fibra; mientras que India obtuvo un rendimiento de 472 kg ha<sup>-1</sup> en la misma campaña. Del mismo modo, se puede observar que Argentina se encuentra cercana del promedio mundial, pero muy relegada de los países con mayores rendimientos de fibra por unidad de superficie (Figura 3).

Las grandes diferencias de rendimiento que existen entre los países se deben a diversas razones, entre las que se pueden enumerar: ambiente (radiación solar, precipitaciones, humedad relativa, temperaturas, entre otras), mejoramiento genético de las variedades utilizadas, riego complementario y/o suplementario, aptitud de los suelos donde se desarrolla el cultivo, mecanización, fertilización, biotecnología, manejo de plagas, entre otras. En este sentido, el principal impulsor del crecimiento de la productividad agrícola ha sido el progreso tecnológico, incluso en el aumento del rendimiento. Sin embargo, la mejora de la productividad también aumenta la presión sobre los recursos naturales, lo que suscita preocupación acerca de la sostenibilidad del crecimiento futuro y la capacidad de la agricultura para responder a los desafíos del cambio climático (Chaudhry y Guitchounts, 2003).



**Figura 3.** Rendimiento de fibra en las campañas 2019/20 en los países con mayor rendimiento y la Argentina. Línea horizontal indica rendimiento promedio mundial: 771 kg ha<sup>-1</sup>. Fuente de datos: ICAC World Cotton Database.

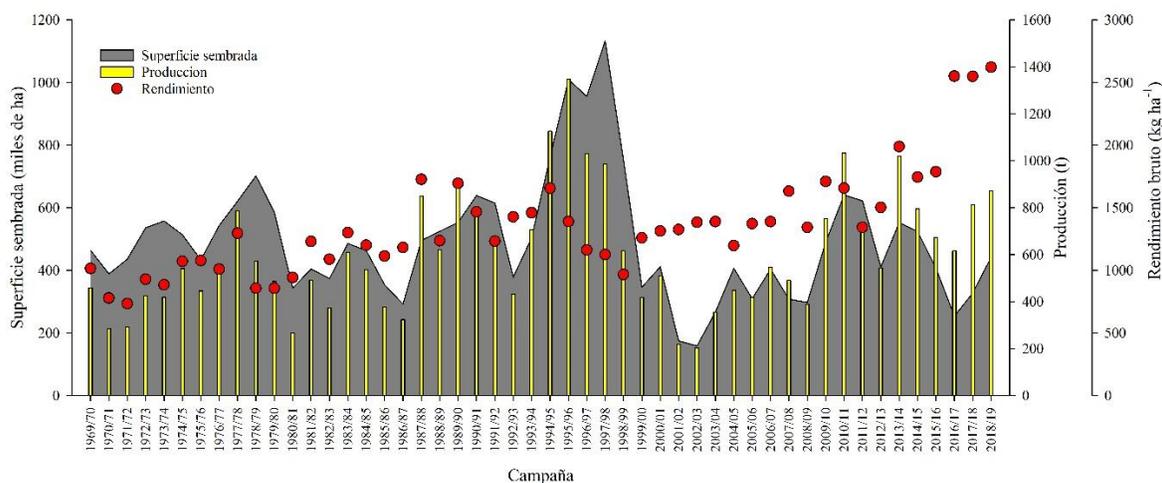
### III. Producción nacional y rendimientos

La producción de algodón en Argentina se inició en el siglo XVI, en la provincia de Santiago del Estero, utilizando semillas provenientes de Chile. Posteriormente fue propagándose rápidamente hacia otras regiones del país abarcando las provincias de La Rioja, Catamarca y Tucumán, donde la industria doméstica textil y de hilado fueron nutriéndose del desarrollo del cultivo (Carlino, 2013).

El cultivo de algodón se generalizó en Argentina a partir de la década del 30', llegando a ocupar, en ese período, un lugar entre los 10 países con mayor producción en el mundo (Delssín, 2003). Desde esa fecha hasta la actualidad, la principal característica de la industria algodonera en Argentina fue la marcada oscilación interanual de producción. Tal como se puede observar en la Figura 4, el récord histórico de superficie nacional sembrada fue de 1.133.150 ha en la campaña 1997/98, sin embargo, en la campaña 2002/03 la producción de algodón quedó casi extinguida con 158.209 ha. Con respecto a los rendimientos, es importante destacar que, a diferencia de las estadísticas mundiales, en Argentina los datos se

contabilizan en rendimiento bruto, sin tener en cuenta el porcentaje de fibra. En este sentido, se observa un incremento progresivo a lo largo de la historia, siendo más pronunciado en los últimos 20 años, y fundamentalmente en las últimas campañas (Figura 4). Este aumento de rendimiento a lo largo de la historia, representa un incremento del 2,36% anual, teniendo en cuenta que es una evolución de rendimiento bruto. Es importante mencionar en este aspecto que, para obtener el rendimiento de fibra, debemos multiplicar el rendimiento en bruto con el % de fibra, el cual en Argentina tiene un promedio nacional alrededor de 30% (Zorzón, 2020).

Las principales razones de estos cambios a lo largo de la historia fueron: contextos internacionales desfavorables, aumento del costo de la mano de obra, disminuciones en la rentabilidad del productor, costos de oportunidad respecto de los cultivos competidores (girasol, soja y maíz, entre otros), ausencia de políticas gubernamentales, plagas, problemática de calidad en la cosecha y la falta de cultivares adaptados a cada región aldonera del país (Paytas et al., 2017).



**Figura 4.** Superficie nacional sembrada (área gris), producción (barras amarillas) y rendimiento promedio nacional (círculos rojos) de algodón desde la campaña 1969/70 hasta 2018/19. Fuente de datos: Estimaciones agrícolas, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGYP).

En la Argentina, la región aldonera se concentra principalmente entre los 25° y los 31° de latitud sur, con nuevas áreas de siembra hacia el norte y el sur de dichas latitudes. Las provincias que generan la mayor producción del país son Chaco, Santa Fe, Santiago del Estero y Formosa, y en menor porcentaje Salta, Corrientes, Catamarca, Córdoba, Entre Ríos y San Luis (Paytas y Ploschuk, 2013).

Es importante destacar que en las últimas campañas (2016-2020) se ha registrado un incremento tanto en el área sembrada como en la producción nacional, con un promedio de aumento de superficie sembrada de 73.500 ha por campaña. Algunos de los motivos de este crecimiento son los buenos resultados obtenidos por los productores, en términos de rendimiento en campañas anteriores, la disminución de la rentabilidad en cultivos competidores y la implementación de prácticas de manejo para el control del picudo del algodón (Scarpin et al., 2020a).

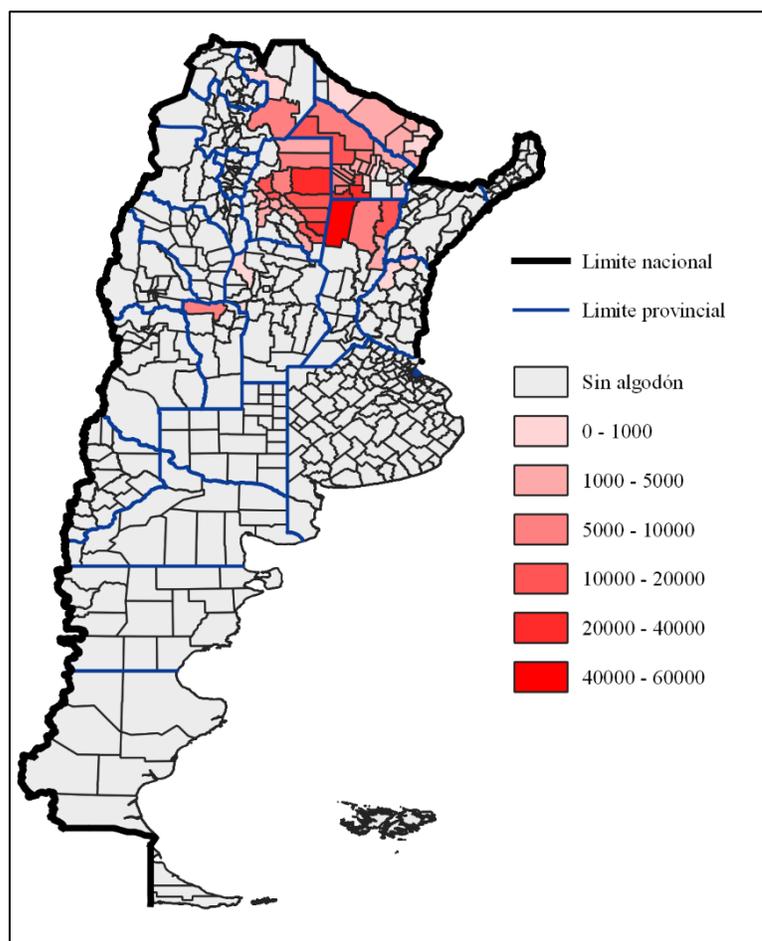
Por otro lado, de acuerdo a la información suministrada por el Ministerio de Agroindustria de la Nación (MAGYP), el área algodonera nacional en el ciclo 2019/20 (la última campaña informada para la fecha de escritura de la presente tesis) fue de 444.410 ha (Tabla 2) y las provincias más importantes en superficie sembrada fueron: Santiago del Estero (190.650 ha), Chaco (184.827 ha) y Santa Fe (44.800 ha); y en menor porcentaje, Salta (8.408 ha), Formosa (8.000 ha), San Luis (6.000 ha), Córdoba (1430 ha), Entre Ríos (1.430 ha), y Corrientes (95 ha). Además, en la misma Tabla se puede observar la información de superficie de algodón sembrada en cada una de las provincias de las últimas campañas. El cambio más importante que se puede analizar, es que, Santiago del Estero, hace 10 años representaba solo el 16% de la superficie nacional, y en las últimas campañas, pasó a ser la principal provincia productora de algodón en Argentina. Por otro lado, la provincia de Chaco, que en la campaña 2009/10 sembraba cerca del 70% de la producción nacional, pasó a tener en las últimas campañas, un porcentaje menor al 35% del área total del país. Además, se observa que Santa Fe, invariablemente ocupó el tercer lugar entre las provincias con mayor área sembrada y, por último, Formosa campaña tras campaña reduce la superficie de siembra, mientras que las provincias de San Luis y Córdoba, amplían la superficie de modo gradual.

**Tabla 2.** Superficie destinada al cultivo de algodón en las provincias Argentinas productoras desde la campaña 2009/10 hasta la 2018/19. Fuente de datos: Estimaciones agrícolas, MAGYP.

Provincia/Campaña	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20
Catamarca	500	500	60	0	0	0	0	0	400	0	0
Chaco	336.300	403.600	260.470	147.200	297.600	252.300	185.800	73.930	123.575	157.607	184.827
Córdoba	150	100	100	70	91	350	330	750	830	950	1.430
Corrientes	1.390	1.290	900	455	480	530	900	900	210	250	95
Entre Ríos	200	250	780	850	1.050	1.100	1.300	1.400	1.600	1.100	200
Formosa	18.030	20.000	26.500	19.000	12.500	18.000	9.960	4.500	8.500	8.000	8.000
Salta	6.240	9.280	10.336	3.000	9.000	9.800	15.340	14.930	4.150	10.492	8.408
San Luis	1.000	700	3.000	2.800	2.800	2.800	2.500	4.100	5.120	6.500	6.000

Santa Fe	45.000	88.300	143.500	112.000	113.100	108.300	53.300	37.500	53.000	74.200	44.800
Santiago del Estero	80.600	116.745	176.500	125.275	115.625	130.500	136.700	115.300	130.080	182.004	190.650
Total país	489.410	640.765	622.146	410.650	552.246	523.680	406.130	253.310	327.465	441.103	444.410

Por último, en la Figura 5 se representan todos los departamentos en las provincias de Argentina donde se cultivó algodón en la campaña 2018/19. El departamento con mayor superficie sembrada en el país fue el 9 de Julio en la provincia de Santa Fe, con 55.000 ha, seguido por el departamento Mayor Fontana (Chaco) y Moreno (Santiago del Estero) con 37.500 y 36.305 ha sembradas, respectivamente.



**Figura 5.** Distribución provincial y departamental de superficie destinada al cultivo de algodón en Argentina en la campaña 2018/19. Colores rojos más intensos indican mayor superficie según escala representada. Fuente de datos: Estimaciones agrícolas, MAGYP.

#### IV. El cultivo de algodón

El cultivo de algodón tiene quizás la estructura morfológica más compleja que cualquier otro cultivo importante (Mauney, 1986). El mismo se caracteriza por ser una planta de tipo

perenne, pero cultivada como anual en sistemas comerciales, a través de prácticas de manejo agronómico, además, se define por tener un hábito de crecimiento indeterminado, lo que significa que el cultivo puede desarrollar simultáneamente tallo, hojas, flores, cápsulas y semillas. Presenta un desarrollo vegetativo y reproductivo que sigue patrones regulares y ordenados (Hearn y Constable, 1984a).

*i. Morfología de la planta de algodón*

La planta de algodón presenta una raíz principal pivotante junto con raíces secundarias que siguen una orientación horizontal (McMichael et al., 2011). Esta raíz primaria, penetra rápidamente en el suelo y puede alcanzar una profundidad de hasta 25 cm o más para cuando los cotiledones se extienden. El crecimiento de la raíz durante la etapa inicial de la vegetación puede ser de entre 1 hasta 5 cm por día, dependiendo de las condiciones (Oosterhuis, 1990). Por otro lado, las raíces secundarias pueden extenderse de la parte principal, hasta una distancia superior a los 2 m (Taylor y Klepper, 1974). El tamaño de este sistema radicular y la profundidad de exploración dependen, tanto del vigor de la planta, como así también de la textura física, fertilidad, temperatura y contenido de agua del suelo (Pearson et al., 1970; Taylor y Gardner, 1963; Taylor y Ratliff, 1969). Consecuentemente, la distribución final de las raíces de algodón dentro de un perfil de suelo puede variar considerablemente dependiendo de las condiciones particulares a las cuales las plantas están sujetas (McMichael et al., 2011). Por otro lado, el sistema radicular de las plantas de algodón comienza su rápido crecimiento luego de la germinación y continúa creciendo e incrementando su extensión hasta la etapa en la cual empiezan a formarse pequeñas cápsulas (Taylor y Klepper, 1974). A partir de este momento, la longitud total de las raíces comienza a disminuir a medida que mueren las raíces más viejas. Luego de este período, nuevas raíces continúan formándose, pero el resultado neto es una disminución de la longitud total de raíces (Hons y McMichael, 1986). Por último, la actividad de las raíces comienza a disminuir a medida que se desarrolla la etapa de fijación de cápsulas y los carbohidratos se dirigen hacia el desarrollo del fruto (McMichael, 1986).

La planta posee un prominente tallo principal erecto, que consiste en una serie de nudos y entrenudos, con hábito de crecimiento monopodial e indeterminado, que resultan de la elongación y desarrollo del meristema apical (Oosterhuis, 1990). El número de nudos y el

largo de los entrenudos está determinado, tanto por factores genéticos como por ambientales, entre los que se pueden nombrar las condiciones meteorológicas (precipitaciones, radiación solar, temperatura, entre otros), el contenido de agua y los nutrientes del suelo y las enfermedades e insectos que pueden afectar a la planta (Mauney, 2016). En cada nudo, las primeras estructuras vegetativas que aparecen son las hojas y en la base de cada hoja, se diferencian yemas axilares que son responsables de generar ramas. Los nudos se desarrollan en el tallo a una tasa que depende de la temperatura y del tipo y ubicación de la ramificación, no obstante, en promedio, un nudo aparece en el tallo cada 3 a 6 días (Reddy, 1994). Además, estas estructuras vegetativas (hojas y ramas) se disponen alternadamente en el tallo con un orden de tipo espiral, con una distancia en el plano horizontal entre cada una de las ramas de 3/8 pulgadas, lo que equivale a 0,95 cm (Ritchie et al., 2004).

La planta de algodón genera dos tipos de ramas: monopodiales o vegetativas y simpodiales o reproductivas. Algunos cultivares pueden tener ambas ramas, mientras que otras pueden tener solo las ramas reproductivas (Chaudhry y Guitchounts, 2003).

- Las ramificaciones vegetativas o monopodiales, continúan el crecimiento del meristema apical y, en general, son más largas que las ramas reproductivas. Estas son estructuralmente similares al tallo principal y pueden llegar a producir flores y cápsulas, solo después de que se produzca la ramificación en la rama (Oosterhuis, 1990). El número de ramas vegetativas producidas por la planta, depende del genotipo, ambiente y del espaciamiento entre plantas. Amplios espaciamentos y un adecuado suministro de agua y nutrientes incrementan el número de ramas vegetativas (Li et al., 2019). Además, es necesario destacar que las ramas vegetativas se desarrollan un tiempo después que las ramas fructíferas y, estas se desenvuelven en nudos directamente debajo del nudo en el que se desarrolló la primera rama fructífera. En sistemas de producción actuales en el país (surco estrecho y alta densidad), este tipo de ramificación no son deseables debido a que generan inconvenientes en la cosecha y no aportan significativamente al rendimiento y calidad a obtener.
- Las ramificaciones reproductivas o simpodiales, se forman en el nudo junto con una hoja verdadera y un pimpollo. El desarrollo de esta rama finaliza en un pimpollo, pero una segunda hoja y una nueva estructura reproductiva se desarrollan en la axila de la

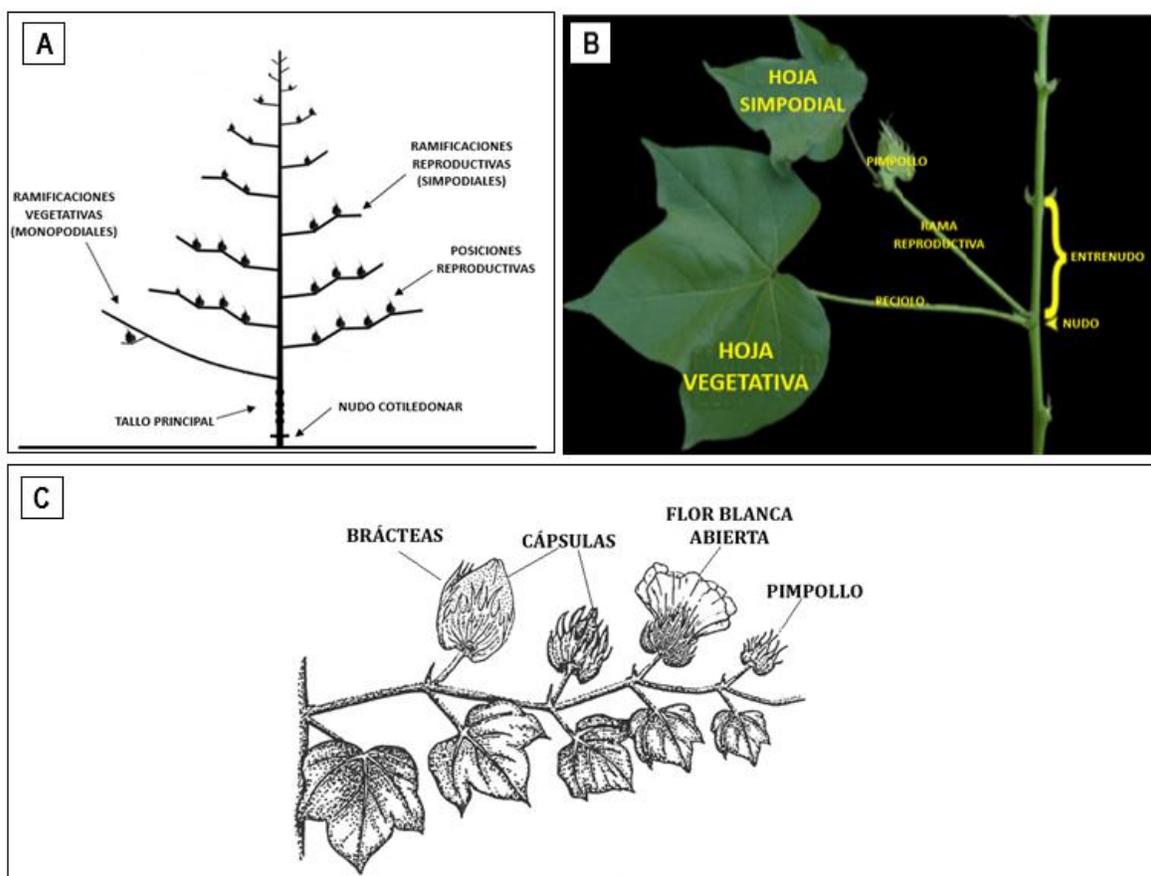
primera hoja y se extienden simétricamente lejos de la misma por el alargamiento del internudo de la rama (Oosterhuis, 1990). La repetición de este proceso produce varios pimpollos, hojas e internudos, que resultan en la típica apariencia de zig-zag de la rama fructífera (Figura 6A). La primera rama fructífera se produce normalmente entre el quinto y séptimo nudo del tallo principal (sin contar el nudo cotiledonar), no obstante, este patrón se ve afectado en gran medida por el cultivar, la temperatura y la densidad de la planta (Mauney, 1986).

La longitud tanto de las ramas vegetativas como reproductivas hace variar la arquitectura general de la planta. Ramas cortas a lo largo de todo el tallo generan una forma de planta de tipo columnar, mientras que, ramas largas en la base junto con ramas sucesivamente más cortas hacia la parte superior generan la forma de planta de tipo piramidal (Niles, 1958).

Por otro lado, durante el crecimiento de la planta de algodón, las hojas son las primeras estructuras vegetativas en aparecer y dentro de la especie *G. hirsutum*, pueden llegar a variar en tamaño, forma, textura y pilosidad (Ritchie et al., 2004). La planta de algodón presenta dos tipos de hojas: cotiledonales y verdaderas. Las hojas cotiledonales emergen antes que las hojas verdaderas, tienen una forma redondeada y presentan una vida corta (Chaudhry y Guitchounts, 2003). Las mismas aparentan estar situadas de manera opuesta en el tallo principal, no obstante, una siempre está situada ligeramente por encima de la otra. Las hojas cotiledonales tienen una vida máxima de 40 días, siendo común que una caiga antes que la otra, con un margen de entre tres a diez días (Oosterhuis, 1990). Las hojas verdaderas son pecioladas, con pelos y poseen de 3 a 5 márgenes lobulados, estos lóbulos pueden ser más o menos profundos. Las variedades que poseen los lóbulos profundos en todas las hojas de la planta son llamadas de tipo *okra* o *súper okra*, dependiendo de la profundidad de los lóbulos (Bourland et al., 1992). Del mismo modo, las hojas se pueden diferenciar en hojas vegetativas o monopodiales, que surgen directamente del tallo principal, y hojas simpodiales que surgen en las ramas reproductivas, donde cada una de las anteriores suministra la fuente primaria de carbohidratos para alimentar las estructuras reproductivas correspondientes (Figura 6B). Las hojas se desarrollan a partir del primordio del meristema apical, situado entre los dos cotiledones, y más tarde a partir de brotes axilares del tallo principal (Mauney, 2016). El crecimiento del meristema principal es relativamente lento al principio, en comparación con el crecimiento de la raíz, de tal manera que aproximadamente a los 30 días desde la siembra,

sólo se despliegan y son visibles unas 4 o 5 hojas verdaderas. Sin embargo, cuando la primera hoja verdadera se despliega, la planta ya ha diferenciado entre 6 a 7 hojas más en el meristema apical (Oosterhuis, 1990). Por último, las hojas presentan estomas principalmente en la cara abaxial de la hoja y se disponen en el tallo con una filotaxis de tipo espiral, al igual que las ramas (Ritchie et al., 2004).

Una vez que la planta culmina la etapa primaria de desarrollo vegetativo, surgen las primeras estructuras reproductivas, llamadas pimpollos o botones florales. Los pimpollos consisten en pequeñas estructuras piramidales de color verde, rodeadas por 3 hojas especializadas llamadas “brácteas” (epicáliz), que según el genotipo pueden presentar diferentes tamaños, y que protegen la estructura reproductiva ante agentes bióticos dañinos (Figura 6C). Las mismas se insertan por encima de los nectarios ubicados alrededor de la base del pimpollo, poseen cortes profundos (dientes) y tienen la característica de no cambiar de color hasta que la cápsula esté lista para abrirse.

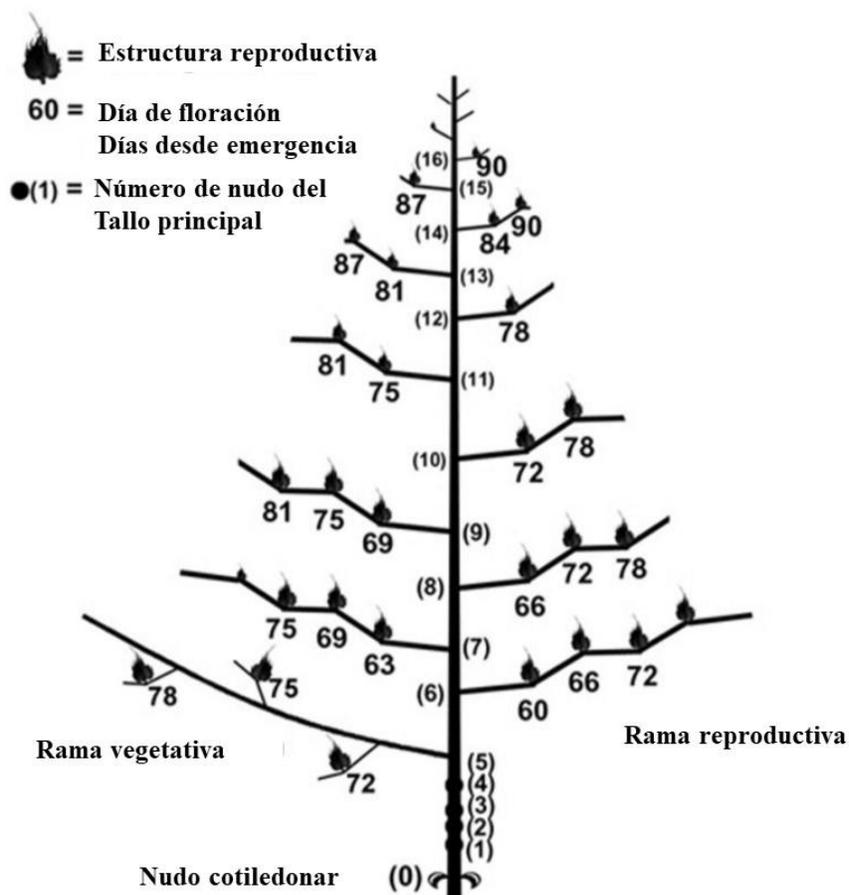


**Figura 6.** Descripción botánica de la planta de algodón. A: Arquitectura general de la planta de algodón. Imagen adaptada de Ritchie et al. (2004). B: Tipos de hojas de la planta de algodón. Imagen adaptada de Ritchie et al. (2004). C: Estructuras reproductivas de la planta de algodón. Imagen adaptada de Oosterhuis (1990).

Por otra parte, la evolución de los pimpollos deriva en flores penduladas perfectas, es decir, estas poseen estructuras reproductivas tanto masculinas como femeninas. Asimismo, se caracterizan por tener un gran tamaño (5 a 9 cm) y poseer nectarios florales y extra-florales (Moffet, 1983). Los nectarios son glándulas ubicados tanto dentro como fuera de las flores que excretan fluido dulce. La cantidad y desarrollo de estos puede variar considerablemente entre las diferentes especies y variedades (Niles, 1958). Dentro de la flor, el ovario normalmente tiene de cuatro a cinco carpelos, con 8 a 12 óvulos cada uno. Además, el número de óvulos fertilizados se corresponde al número de semillas en cada lóculo si los óvulos fertilizados no son abortados (Chaudhry y Guitchounts, 2003).

El proceso de floración en el algodón tiene suma importancia para la producción, ya que aquellas flores polinizadas serán las que produzcan fruto y posteriormente fibra cosechable. Además, es importante mencionar que, en condiciones normales de cultivo aproximadamente el 60% de pimpollos y frutos inmaduros son abortados prematuramente, algo que no es común en cápsulas de mayor tamaño (Oosterhuis, 1999).

En la planta de algodón, las flores aparecen y se abren con una predecible secuencia, como se puede observar en la Figura 7. La primera flor en abrirse es la ubicada en la rama reproductiva de la parte inferior de la planta y más cercana al tallo, aproximadamente tres días después, la próxima flor que se abre es la que está presente en la misma posición relativa, pero de la rama superior. Por otra parte, seis días después de que se abre la primera flor, se abrirá la que está situada en la misma rama, en la posición próxima exterior. Este patrón se mantiene en toda la planta y se denominan, conceptos de floración vertical y horizontal en algodón (Oosterhuis, 1999). Este modelo de fructificación es una característica importante ya que permite determinar sobre la planta el momento de ocurrencia de cualquier tipo de restricción o estrés y del mismo modo determinar su duración (Landivar et al., 1996). En este punto resulta útil mencionar que las ramas vegetativas no siguen un orden lógico de apertura de flores, como se presenta en las ramas reproductivas.



**Figura 7.** Diagrama del momento de la apertura de cada una de las flores por posición fructífera. Imagen adaptada de Ritchie et al. (2004). Números entre paréntesis indican número de nudo del tallo principal, mientras que, número en negrita indica el día de apertura de la flor en cada una de las estructuras reproductivas.

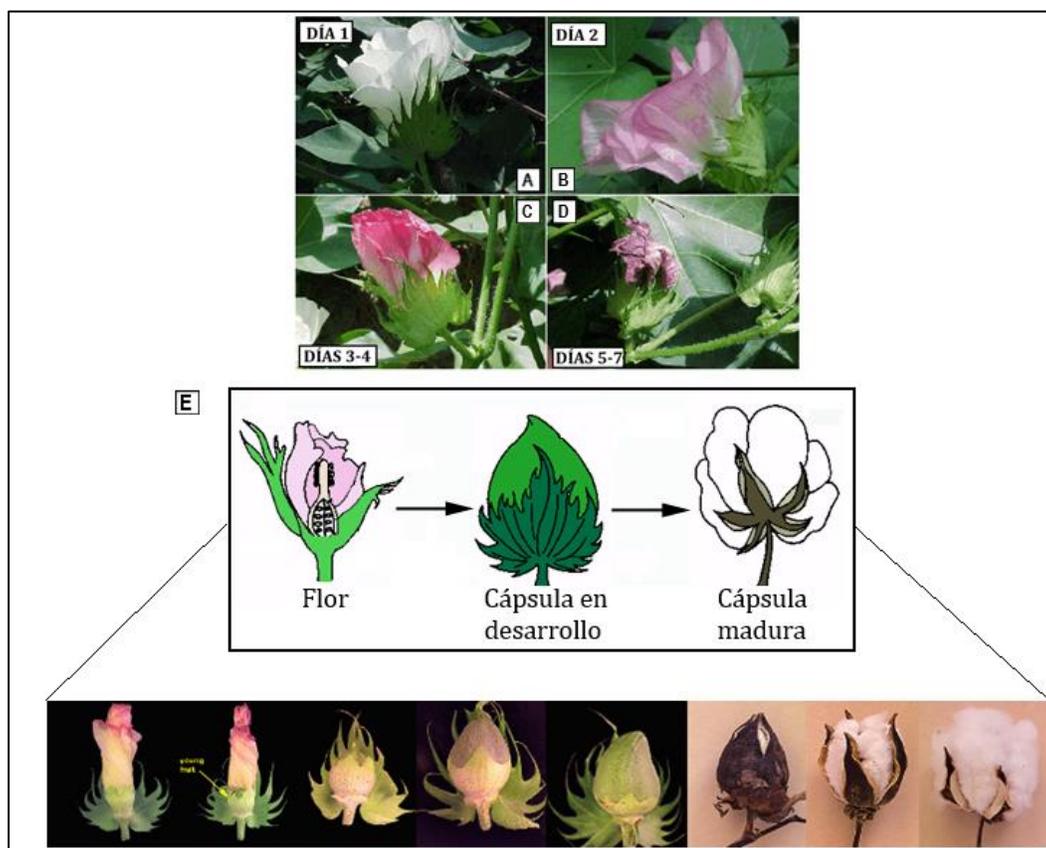
El proceso de fertilización de las flores se inicia en el primer día de apertura de la flor blanca (Figura 8A) que una vez abierta, presenta una corola de color blanco cremoso a crema-amarillento claro. Esta corola de color blanco cremoso se vuelve de color rosado hacia el final del primer día. Durante el segundo día la corola cambia a un atractivo color rojo (Figura 8B y 8C), mientras que, entre el tercer y quinto día se marchita y generalmente cae (Figura 8D), llevándose con ella los estambres y la parte superior del pistilo (Niles, 1958). El algodón es principalmente auto-fecundado con granos de polen que tienen la característica de ser de gran tamaño, pegajosos y pesados, particularidades que hacen difícil su dispersión por medio del viento (Moffet, 1983), generándose por flor unos 20.000 granos de polen (Ter-Avanesian, 1978). Por otro lado, como las flores ostentan un gran tamaño y son llamativas para los insectos, ante la presencia de adecuados insectos polinizadores, las mismas pueden

presentar una baja tasa de polinización cruzada (Llewellyn et al., 2007; McGregor, 1976; Tanda, 1984).

El proceso de polinización se produce poco después de la antesis, pero la fecundación se produce entre 12 y 20 h más tarde. Para asegurar la retención de una cápsula, al menos un óvulo debe ser fertilizado, no obstante, en determinadas situaciones incluso un número mínimo de óvulos fertilizados por flor puede no ser suficiente para mantener la cápsula en la planta (Chaudhry y Guitchounts, 2003). El óvulo fertilizado se convierte en una semilla, cuya epidermis da lugar a muchos pelos unicelulares de la semilla (tricomas epidérmicos) de dos tipos: pelos largos denominados "fibra " y pelos cortos más gruesos denominados "linteres" (Applequist et al., 2001). Las fibras de algodón son únicas entre los vegetales debido a que derivan desde células epidérmicas simples o unicelulares (Smith, 1995). Además, es importante destacar que, la iniciación del desarrollo de la fibra no depende de la polinización o fertilización, debido a que el mismo comienza cuando la flor se abre (Gore, 1932). Asimismo, una vez producida la polinización de las flores, comienza el proceso de desarrollo de los frutos del algodón, también llamados "bochas" o "cápsulas". En promedio, cada fruto maduro está dividido en tres, cuatro o cinco lóculos, con cada uno de las cápsulas conteniendo entre 29 a 34 semillas rodeadas por los largos pelos o fibras (Yasuor et al., 2007). Este proceso de desarrollo de los frutos en el cultivo de algodón puede ser definido en 3 etapas (Ritchie et al., 2004):

- Fase de elongación. Durante este período ocurre la elongación de la fibra de algodón, se alcanza el máximo volumen de la cápsula y se desarrollan las semillas. La fibra producida es fruto del crecimiento de la epidermis de la semilla, es decir, cada fibra representa una única célula elongada de la epidermis de la semilla crecida.
- Fase de llenado. En este punto, cesa la elongación de la fibra, y comienza la deposición de pared celular secundaria en cada una de las fibras. La celulosa de la futura pared secundaria se deposita a lo largo de cada una de las fibras.
- Fase de maduración. Durante esta fase toma lugar la maduración, tanto de la fibra como de las semillas, y ocurre la dehiscencia de la cápsula. Este proceso consiste en la desecación de las paredes de la misma, provocando una ruptura entre las uniones de cada uno de los carpelos. Finalmente, se encuentran cápsulas maduras y abiertas, mostrando lóculos con semillas rodeadas por una densa cantidad de fibra (Figura 8E).

Por último, la semilla madura de algodón tiene una forma ovalada y puntiaguda, con un tamaño de aproximadamente 8-12 mm de longitud, que consiste principalmente en una cáscara y un núcleo, con una fina membrana que separa ambos.



**Figura 8.** Proceso de fertilización de las flores y de desarrollo de las cápsulas del algodón. A-D: Seguimiento visual de la fertilización de las flores. E: Desarrollo y maduración de la cápsula posterior a la fecundación de la flor. Imágenes adaptadas de Ritchie et al. (2004) y publicadas en: <http://www-plb.ucdavis.edu/labs/rost/cotton/cothome.html>

ii. *Desarrollo y ciclo del cultivo*

Tanto la iniciación como la duración de los distintos estados del desarrollo en el cultivo de algodón dependen de la interacción del genotipo con las condiciones ambientales, siendo la temperatura el factor ambiental de mayor importancia para esta característica (Bourland et al., 1992). La tasa de desarrollo es función directa y lineal de la temperatura, desde una temperatura base hasta una óptima. La inversa de la pendiente de dicha relación constituye la estimación del tiempo térmico (TT) que la etapa requiere. En algodón, los factores fotoperiodo y vernalización no tienen un rol significativo debido a la escasa o nula respuesta a los mismos (Paytas y Ploschuk, 2013). Esto nos indica que esta especie necesita acumular una cierta cantidad de unidades térmicas para que se cumplan las etapas de su desarrollo.

Esta acumulación térmica se expresa como grados día ( $^{\circ}\text{C d}$ ) y puede calcularse progresivamente durante el período de cultivo, constituyendo un excelente indicador de su tasa de desarrollo (Landivar et al., 1996). El uso de los grados-día posibilita predecir la secuencia fenológica del cultivo en forma más precisa que al considerar los días calendario (Peterlin, 1994), y provee una excelente herramienta para evaluar agrónomicamente las condiciones del cultivo.

En el cultivo de algodón no existe una temperatura base universal para el cálculo de la suma térmica de los grados-día, sino que, coexisten dos fórmulas comúnmente utilizadas. Por un lado, la bibliografía australiana considera como temperaturas base  $12^{\circ}\text{C}$  (Constable y Shaw, 1988) y, por otro lado, la bibliografía estadounidense considera la temperatura base del cultivo de algodón como  $15,5^{\circ}\text{C}$  (Bradow y Bauer, 1997; Edmisten, 1997). Trabajos realizados en Argentina por Angeloni et al. (2001) determinaron que la temperatura base de  $12^{\circ}\text{C}$  se ajustó de una mejor manera a la zona y variedades de estudio. En la Tabla 3 se presentan las sumas térmicas medias acumuladas que se requiere para alcanzar cada una de las etapas fenológicas del cultivo del algodón según Constable y Shaw (1988).

**Tabla 3.** Grados día (GD) promedio acumulado que se requiere para lograr cada una de las etapas fenológicas del cultivo del algodón en un experimento puntual realizado en Australia.  $T^{\circ}$  base:  $12^{\circ}\text{C}$ . Adaptado de Constable y Shaw (1988).

Etapa del cultivo	GD ( $^{\circ}\text{C d}$ )
Emergencia	80
Cinco hojas verdaderas	330
Primer pimpollo	505
Primera flor	777
Pico de floración	1302
Primera capsula abierta	1527
60% de capsulas abiertas	2050

Por otro lado, tal como se observa en la Figura 9, según Paytas y Ploschuk (2013), en el desarrollo del cultivo de algodón se pueden diferenciar tres grandes etapas: Vegetativa (0 a 35 días después de la emergencia, DDE), Reproductiva (35 a 90 DDE) y Madurez (90 a 140 DDE). 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 sub-etapas: i) primer pimpollo a primera flor y ii) primera flor a fin de floración efectiva. Por último, la etapa de madurez comienza con el fin de la floración efectiva y termina con la madurez fisiológica del cultivo.

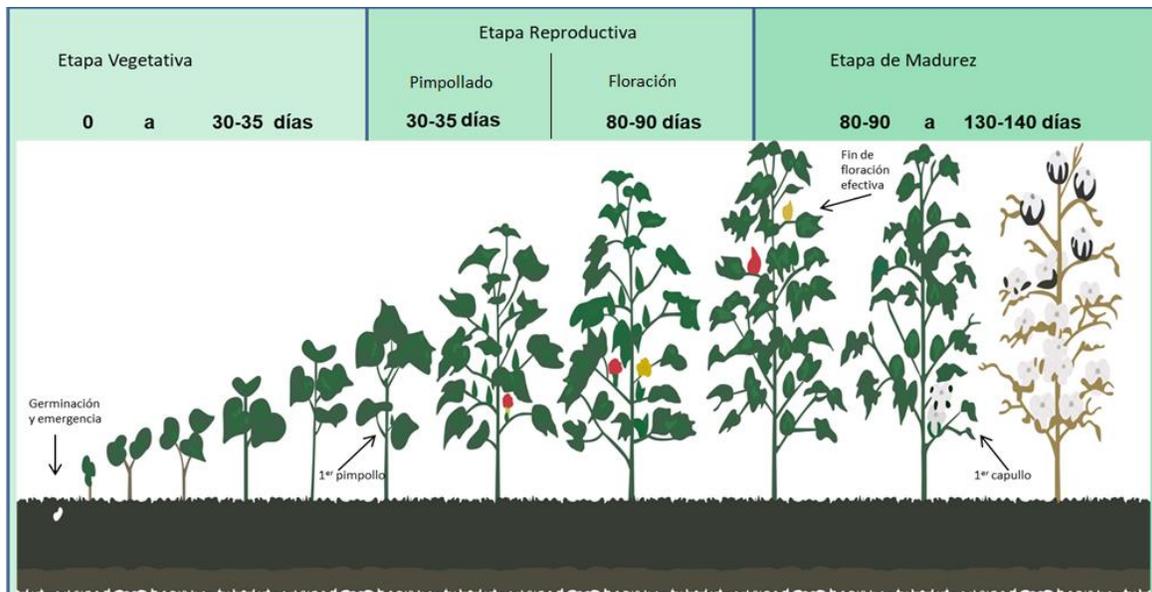
- Etapa vegetativa: Comienza con la germinación de la semilla, continúa durante la expansión de los cotiledones y la formación de hojas verdaderas, y se prolonga hasta la aparición del primer pimpollo. Las prioridades de la planta en esta etapa son el crecimiento de la raíz con una distribución jerarquizada de carbohidratos hacia ese órgano, determinando así una mayor exploración del suelo (Paytas y Ploschuk, 2013).
  - *Germinación y emergencia*: comienza con el ingreso de humedad dentro de la semilla hasta el embrión. Bajo condiciones favorables para la germinación, la radícula emerge en dos o tres días. Luego, el órgano situado entre la radícula y los cotiledones (hipocótilo) crece rápidamente arqueándose cerca de los cotiledones. Con la continua expansión del hipocótilo, los cotiledones y el epicótilo son arrastrados por encima de la superficie, produciéndose la emergencia (Oosterhuis, 1990). Los factores ambientales que afectan la duración de esta fase son la temperatura, la disponibilidad hídrica, la profundidad de siembra y las condiciones de suelo (compactación, rizosfera, patógenos, entre otros). La temperatura del suelo regula básicamente los procesos de germinación y emergencia, siendo 18 °C la temperatura de suelo recomendada para la germinación y establecimiento del cultivo (Constable y Shaw, 1988).
  - *Emergencia - Primer Pimpollo*: luego de la emergencia y exposición a la luz, los cotiledones son capaces de fotosintetizar y producir carbohidratos para el crecimiento inicial de las plántulas (Hearn y Constable, 1984a). Gran parte del desarrollo temprano de la planta de algodón se centra en el desarrollo de un importante sistema de raíces, mientras que el crecimiento de las primeras hojas verdaderas es relativamente lento antes del desarrollo del canopeo (Oosterhuis, 1990).
- Etapa reproductiva: Ocurre en promedio entre los 35 a 90 DDE. Esta etapa puede dividirse en dos fases, por un lado, la etapa de pimpollado y, por otro lado, la floración

propriadamente dicha. En este punto es importante mencionar que, debido a su hábito de crecimiento indeterminado, la planta de algodón continúa en esta etapa con crecimiento vegetativo al mismo tiempo que con el crecimiento reproductivo (Mauney, 1986).

- *Primer Pimpollo - Primera Flor Abierta*: esta fase presenta una duración que oscila entre 21 a 27 días y está determinada por la temperatura (Baker et al., 1991). Las prioridades de la planta en esta etapa están orientadas hacia la elongación del tallo, la expansión foliar y la formación de pimpollos y ramas reproductivas (Paytas y Ploschuk, 2013). La temperatura sigue siendo el factor de mayor incidencia en el crecimiento y desarrollo de la planta, cuyo rango óptimo se encuentra entre 25 y 40 °C (Reddy, 1994).
- *Primera Flor - Fin de floración*: la fase de floración se extiende desde la aparición de la primera flor hasta el final de la floración efectiva, durando entre 28 a 35 días, dependiendo de la temperatura, disponibilidad de agua y de nutrientes (Mondino et al., 2006). Durante esta fase, ocurre la máxima intercepción de radiación solar, y existe competencia por los productos fotosintéticos ya que, el crecimiento vegetativo y reproductivo se dan en simultáneo, sin embargo, como en esta etapa también ocurre la fecundación de las flores abiertas y la formación y desarrollo de las cápsulas, el 60% de los carbohidratos generados se destina a alimentar dichas fructificaciones (Paytas y Ploschuk, 2013). En cuanto a la distribución de la energía asimilada, a través de la fotosíntesis para el crecimiento reproductivo, la prioridad la tienen las fructificaciones ubicadas en las posiciones más cercanas al tallo, en cada rama reproductiva, es decir, las “primeras posiciones” (Oosterhuis, 1999). A medida que se fecundan más flores y se generan más cápsulas, aumenta la demanda de carbohidratos, pero disminuye la disponibilidad de los mismos para las cápsulas más jóvenes. Además, debido a que los productos fotosintéticos generados en esta etapa no se destinan en gran medida al crecimiento vegetativo, no se incrementa la ganancia de carbono, y por ello, no pueden alimentarse las cápsulas jóvenes, y ocurre el proceso de “abortos” o “derrames” (Mauney, 1986). Los abortos son provocados ya que

la planta no tiene la capacidad nutricional para retener las cápsulas en formación y prioriza aquellas cápsulas formadas anteriormente (Constable y Rawson, 1980). La etapa reproductiva finaliza con el Fin de Floración Efectiva o Cut Out, que se define como el tiempo al cual surge la última flor blanca a ser cosechada, o también, cuando por encima de la última flor blanca abierta existen 5 nudos (Bourland et al., 1992).

- Etapa de madurez: la etapa de maduración de las capsulas se extiende por un periodo de seis a siete semanas, dependiendo de la carga fructífera fijada por la planta y de las condiciones ambientales, culminando con la apertura de capullos (Mondino et al., 2006). Durante esta etapa, la prioridad de la planta es el llenado de las cápsulas en crecimiento (Paytas y Ploschuk, 2013). Para cada cápsula en particular, en esta fase se pueden diferenciar tres sub-fases principales (Paytas y Ploschuk, 2013): crecimiento, maduración y apertura de las mismas. El crecimiento tiene una duración aproximada de 20 a 25 días. Una vez alcanzado el tamaño máximo de las cápsulas, la madurez de las mismas se produce entre 28 y 30 días, luego de los cuales se produce su apertura. En esta fase, es muy importante la disponibilidad de alta radiación asociada con una baja humedad relativa del ambiente para favorecer el quebrado y apertura de los capullos (Mondino et al., 2006). Por otra parte, durante esta etapa, el activo crecimiento de las semillas actúa como un gran destino de asimilados (Paytas y Ploschuk, 2013).



**Figura 9.** Esquema del ciclo ontogénico del cultivo de algodón. Se representa los principales eventos fenológicos según la escala adaptada por Paytas y Ploschuk (2013).

### iii. Crecimiento

El crecimiento de los cultivos se define como el aumento irreversible en masa y en el tamaño de los distintos órganos de la planta. Si bien el crecimiento se origina a partir de la división celular y del aumento del volumen celular, estos procesos son el resultado de la producción, utilización y acumulación de las diferentes sustancias que componen los tejidos vegetales, siendo la fotosíntesis el proceso fundamental que determina el crecimiento de las plantas (De la Fuente et al., 2006). En el cultivo de algodón, el crecimiento vegetativo puede cuantificarse a través de la medición de la altura de planta, el número de nudos, la materia seca total y/o calcularse a través de índices como el del área foliar y el largo promedio de los entrenudos del tallo principal; mientras que el crecimiento fructífero puede cuantificarse a través del número de frutos fijados, el peso promedio de las cápsulas y el rendimiento. Estos crecimientos pueden relacionarse a través del índice de partición o índice de cosecha, el cual indica la proporción del peso total de materia seca producida, que el cultivo destinó a la producción de fibras y semillas (Mondino et al., 2006). Además, el crecimiento está asociado con la acumulación de materia seca, la cual, en un periodo determinado, es el producto de la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) por la duración de la etapa considerada. La duración de cada una de las etapas, está determinada por la tasa de desarrollo que puede ser modulada por diversos factores, tal como fue descrito anteriormente en este apartado (Paytas y Ploschuk, 2013).

El modelo al cual se ajustan los cultivos y que resume y describe la relación entre la materia seca que puede producir un cultivo y la captura y uso de la radiación por parte del cultivo se describe en la Ecuación 1:

$$MSt = R * ei * EUR \quad \text{Ecuación 1}$$

donde MSt es la materia seca producida por un cultivo a lo largo de su ciclo,  $R$  es la radiación incidente durante el periodo de crecimiento,  $ei$  es la eficiencia de intercepción y  $EUR$  es la eficiencia en el uso de la radiación (De la Fuente et al., 2006). Variaciones producidas en cualquiera de los factores mencionados, en las distintas etapas del cultivo enumeradas, producirán variaciones en la tasa de crecimiento y, por lo tanto, en la acumulación de materia seca.

El cultivo de algodón, durante el periodo de floración, presenta una TCC de entre 17 a 19 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> (Kerby et al., 1987). Sin embargo, asumiendo condiciones potenciales, Baker y Hesketh (1969) reportaron que el algodón teóricamente podría tener una TCC de 42 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> y un rendimiento potencial de 3650 kg ha<sup>-1</sup> de fibra. Por otro lado, Mondino (2000) publicó TCC de 10, entre 10-15, entre 15-20 y entre 20-25 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> para las etapas vegetativas, pimpollado, floración y la etapa de crecimiento de frutos (inicio de madurez), respectivamente.

#### *iv. Componentes de rendimiento*

Primeramente, es necesario mencionar que el algodón, a pesar de ser cultivado como anual, se diferencia porque exhibe gran parte de la fisiología leñosa perenne xerofítica que se encuentra en algunos de sus antepasados (Hearn, 1980; Hearn y Constable, 1984a). Además, otra diferencia con la mayoría de los cultivos es que el principal producto de la cosecha de algodón es la fibra en lugar de la semilla, pero debido a la estrecha asociación que existe entre las mismas, algunos investigadores apoyan el concepto de biomasa de la semilla de algodón para referirse al rendimiento del algodón (rendimiento bruto), mientras que otros se refieren sólo al rendimiento de la fibra de algodón (rendimiento fibra).

Asimismo, al ser el algodón un cultivo indeterminado, el número de sitios de fructificación y la tasa de producción de nuevos sitios de fructificación dependen principalmente del crecimiento vegetativo y de las relaciones entre las posiciones de las ramas monopodiales y simpodiales (Mauney, 1986). Además, las relaciones entre el rendimiento de fibra de algodón

y sus componentes son complejas debido a que, los mismos están influenciados por la variación genética, ambiental y la interacción entre estos factores (Worley et al., 1974).

Según Heitholt (1999), existen varias formas de relacionar el rendimiento y sus componentes en el cultivo de algodón:

- En primer lugar, desde una forma general, el rendimiento de fibra puede ser considerado como el producto de la materia seca aérea total por unidad de área y el porcentaje de esa biomasa que es fibra (es decir, el índice de cosecha).
- En segundo lugar, el rendimiento puede definirse como el producto del número de cápsulas producidas por unidad de superficie y el peso promedio de cada una de ellas. De estos dos componentes, los aumentos del rendimiento tienen una mayor asociación con el número de cápsulas (Pettigrew, 1994; Worley et al., 1974).
- En tercer lugar, el rendimiento de fibra puede definirse como el producto de la biomasa de algodón en bruto y la fracción de fibra en el algodón en bruto (biomasa de fibra/ biomasa de algodón en bruto), lo que comúnmente se conoce como porcentaje de fibra. Ambos componentes (biomasa de algodón en bruto y porcentaje de fibra) están estrecha y positivamente asociados con el rendimiento de fibra, pero la correlación entre el rendimiento de fibra y el rendimiento bruto de algodón es comúnmente más alta (Wells y Meredith, 1984a, b).
- En cuarto lugar, el rendimiento de fibra puede expresarse como el producto del número de semillas por unidad de área y la fibra por semilla.
- En quinto lugar, el rendimiento de biomasa también se puede expresar en función de las características de crecimiento del cultivo durante la temporada de crecimiento. Entre estas características se encuentran la TCC, la duración de la temporada de crecimiento y la división en partes reproductivas. Usando estas características, el rendimiento se puede describir como una función del PAR (radiación fotosintéticamente activa) total por unidad de área, el porcentaje del PAR capturado, la eficiencia en el uso de la radiación y un factor de partición (índice de cosecha).

Por último, el periodo crítico para la definición del rendimiento en un cultivo se define como la etapa donde el cultivo presenta la mayor sensibilidad a los factores ambientales, y donde el impacto de algún estrés en esta etapa hace que la caída del rendimiento sea máxima (Kezer y Robertson, 1927). En el cultivo de algodón, según Paytas y Ploschuk (2013), la etapa de

mayor requerimiento de recursos para lograr la retención de cada una de las estructuras reproductivas se encuentra centrada en su floración (10 días antes y 10 después de la floración de cada estructura). Por lo tanto, el período crítico del cultivo para la determinación del número de bochas retenidas que llegarán a cosecha, se ubica en una ventana de tiempo comprendida entre 10 días antes de la apertura de la primera flor hasta 10 días después del fin de la floración efectiva (cut out). La duración aproximada de este período es de 45 días.

## **V. Mejoramiento genético de algodón en el mundo**

El mejoramiento genético puede ser definido como la evolución de las plantas dirigida por el hombre, que da lugar a un aumento sustancial de los rendimientos de los cultivos (Roupakias y Mavromatis, 2010). Como se mencionó en el apartado de origen del cultivo, son cuatro las especies cultivadas de algodón, por lo tanto, cada una de ellas tiene su propia historia de mejoramiento. En esta sección, solo se presentará el mejoramiento de *G. hirsutum*, la especie utilizada en los experimentos del presente trabajo.

El centro de domesticación de *G. hirsutum* probablemente se encuentra en la península de Yucatán de México (Brubaker y Wendel, 1994). Estas primeras formas semi-domesticadas se dispersaron en el resto de Mesoamérica, así como en el norte de Sudamérica y en el Caribe (Iqbal et al., 2001). La raza perenne salvaje “yacatanense” posiblemente represente la forma más primitiva de lo que hoy conocemos de la especie (Giband et al., 2010).

El inicio del mejoramiento genético de algodón de esta especie en el mundo comenzó con los primeros esfuerzos de selección en Estados Unidos, a través de la introducción de semillas desde las Antillas, México, Brasil y Perú donde el algodón ya era cultivado (Giband et al., 2010). Antes de 1800, los primeros estados de desarrollo de variedades modernas de *G. hirsutum* estuvieron caracterizados por introducciones de algodones asiáticos (*G. herbaceum* y *G. arboreum*), *G. hirsutum* del este de México y los stocks “sea island” (*G. barbadense*) del Caribe (Gómez et al., 2007). No obstante, en el comienzo de la historia del mejoramiento del cultivo, dos tipos de semilla lograron establecerse: el primero con semillas desnudas color negro que se podían desmotar fácilmente a mano; mientras que el segundo tipo contenía linter verde fuertemente adherido, lo que dificultaba el proceso de desmote (Giband et al., 2010). Las variedades de semillas verdes generalmente eran superiores a las variedades de semillas negras, por ello, a medida que se produjeron mejoras

en el proceso de desmote, las variedades de semillas verdes fueron preferidas (Gómez et al., 2007). Con el progreso de la industria textil, estas variedades pasaron a ser inadecuadas y de 1806 en adelante fueron remplazadas por entradas de ‘latifolium’ recolectadas en las tierras altas de México (stock “Highland”) que fueron transportadas allí desde el sur de México y Guatemala (Brubaker y Wendel, 1994; Wendel et al., 1992).

Los stocks “Highland” de México se cultivaron juntos con las variedades de semilla verde en la región de Mississippi en los años 1810 (Niles y Feaster, 1984). Cruzamientos entre estas líneas resultaron en desarrollos de híbridos que mostraron características intermedias entre los progenitores (Giband et al., 2010). Estos materiales tenían cápsulas más grandes, eran más fáciles de cosechar, poseían una mejor calidad de fibra y eran resistentes a la enfermedad de podredumbre de cápsula. Este algodón fue considerado como el biotipo más importante introducido en los Estados Unidos porque proveyó el germoplasma base para todas las subsiguientes variedades de algodón *upland* en los Estados Unidos y el mundo (Gómez et al., 2007).

A finales del siglo XIX y principios del siglo XX, la aparición del picudo del algodonero (*Anthonomus grandis* Boh.), resultó ser un gran desafío para el desarrollo de cultivares de algodón. Cultivares precoces y de ciclo corto, fueron buscados para limitar el daño debido a este insecto (Giband et al., 2010). Más tarde, en la primera parte del siglo XX, con la aplicación de los principios de genética para el mejoramiento de cultivos se alcanzaron incrementos de rendimiento muy altos (Bridge et al., 1971; Bridge y Meredith Jr, 1983). Este aumento se logró mediante el desarrollo de técnicas de parcelas de campo efectivas, métodos de selección y la explotación de cualquier nuevo desarrollo que pudiera contribuir a su objetivo, como la heterosis y las herramientas de la citogenética (Roupakias y Mavromatis, 2010).

## **VI. Mejoramiento genético de algodón en Argentina**

La historia del mejoramiento de algodón en la Argentina comenzó en el año 1923 cuando la Chacra Algodonera Oficial fue creada en la localidad de Sáenz Peña (Chaco), por el Ministerio de Agricultura de la Nación (MAGN). Esta chacra recibió el nombre de Estación Experimental Algodonera, iniciando el programa de experimentación y fomento del cultivo en el año 1927. La experimentación inicial se basó fundamentalmente en la evaluación de un

gran número de variedades introducidas, principalmente de Estados Unidos y del tipo *upland* (*G. hirsutum* L.), para determinar los cultivares de mejor adaptación al medio (Ricciardi, 1984). A mediados de la década de 1920 se cultivaba el algodón “Tipo Chaco”, que era una población derivada de cruzamientos naturales en campo y mezclas de semilla en desmotadoras, de distintas variedades introducidas (Poisson, 2002). Con la creación de la Junta Nacional del Algodón en 1935, se dio inicio al reemplazo de la ya decadente población “Tipo Chaco” por sucesivas selectas derivadas de materiales como Deltapine, Stoneville y Acala en la región de secano del noreste argentino (Gómez et al., 2007). Por último, a partir de 1956 con la creación y desarrollo del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), y más precisamente desde 1965 con la puesta en marcha del Programa Algodón del INTA, se pone énfasis en el mejoramiento genético del algodón, etapa que llega hasta nuestros días (Ricciardi, 1984). El listado cronológico y los cruzamientos obtenidos en el país por parte del INTA se encuentran detallados en la Tabla Suplementaria 1.

Además, hace poco tiempo desde INTA Reconquista se comenzó a trabajar en un plan de mejoramiento genético integral (Dileo et al., 2020b) que tiene como objetivo obtener variedades adaptadas al norte de la provincia de Santa Fe, con alta formación y retención de estructuras fructíferas, alto rendimiento de fibra al desmote (>40%), arquitectura compacta, rendimientos estables en diferentes ambientes, excelente perfil de calidad de fibra y buena sanidad general del cultivo. Para lograr estos objetivos, se realizaron una serie de actividades como: caracterización y evaluación de germoplasma en diferentes condiciones (Colombo et al., 2020; Dileo et al., 2018a; Espindola et al., 2018; Paytas et al., 2017; Scarpin et al., 2019a, b; 2020b; Winkler et al., 2018; 2019), evaluación de enfermedades que afectan al cultivo (Lorenzini et al., 2019; 2020a, b; Roeschlin y Paytas, 2017), aplicación de herramientas biotecnológicas para el mejoramiento genético (Dileo et al., 2018b; 2019; 2020a; Winkler et al., 2020), manejo integrado de plagas (Almada et al., 2018a, b; 2019; 2020), manejo de suelos y fertilización (Mieres et al., 2018; 2019) y también, capacitaciones a toda la cadena algodonera (Scarpin et al., 2018a).

## **VII. Progreso genético de algodón en el mundo**

La ganancia genética o el progreso genético es la adquisición o aumento de caracteres favorables, obtenidos mediante la aplicación de métodos de mejoramiento genético de una población, a través de la variación hereditaria en el tiempo.

Existen diversas formas de cuantificar este tipo de ganancia (adaptado de Abeledo et al., 2016):

- 1) Método indirecto: a través del análisis de la tendencia en productividad del mundo, un país o de la región de interés con bases de datos de instituciones públicas o privadas. Del mismo modo, pueden utilizarse datos de múltiples ambientes y ensayos de campo, que se analizan utilizando modelos lineales mixtos con la ayuda de cultivares de control comunes en todos los ambientes y años.  
Esta metodología permite la estimación de la ganancia total, pero sin discriminar entre el aporte de la tecnología o manejo y el aporte del mejoramiento. Asimismo, permite identificar períodos de interés a ser estudiados.
- 2) Método directo: a través de experimentos comparando cultivares de distintas series históricas (actuales y obsoletos) en un mismo ambiente. Esta manera nos permite la estimación de la ganancia genética del programa de mejoramiento o del país.
- 3) Método combinado: a través de la combinación de la estimación de la ganancia total y de la ganancia genética. Esta técnica es una unión entre las dos metodologías anteriores y nos permite estimar, tanto la proporción de ganancia total correspondiente, como la ganancia genética debido al manejo o tecnología.

A nivel mundial, la ganancia genética en el rendimiento de fibra, los parámetros de calidad tecnológica de la fibra y los componentes de rendimiento han sido documentadas por numerosos estudios a lo largo de la historia. En la Tabla 4 se detallan algunos de estos trabajos con información complementaria.

**Tabla 4.** Progreso genético informados debido al desarrollo de cultivares de algodón, así como el programa de mejoramiento, el tipo y la ubicación de estudio, los años de lanzamiento de los cultivares, el rango de rendimiento informado en kg ha<sup>-1</sup> de fibra y los motivos atribuidos al progreso genético. Adaptado de Conaty y Constable (2020).

Programa de mejoramiento	Lugar	Año de lanzamiento	Método	Rango de rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	Nº cultivares	Progreso genético (kg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Progreso genético (% año <sup>-1</sup> )	Motivo de incremento y comentarios	Referencia
ECGC	Tanzania	1939 – 1958	Indirecto	67 – 934	5	11,5*	5,0*	Resistencia de plantas a mancha angular ( <i>Xanthomona campestris</i> pv. <i>malvacearum</i> ) y chicharra ( <i>Empoasca sp</i> )	Peat y Brown (1961)
Múltiple: DP, ST y Coker	USA (MS)	1922 – 1962	Directo	565 – 1201	16	10,2*	2,5*	Principalmente por incremento de %F. También disminución PC e IS. Incremento micronaire	Bridge et al. (1971)
DP y Coker	USA (TN)	1933 – 1974	Directo	240 – 586	6	7,3	2,4	Incremento %F (a través de la disminución de IS) y NC.	Hoskinson y Stewart (1977)
Múltiple, incluido DP y ST	USA (MS)	1910 – 1978	Directo	492 – 1201	17	9,5	1,5*	Incremento %F y disminución IS y PC.	Bridge y Meredith Jr (1983)
ST y DP	USA (MS)	1905 – 1978	Directo	650 – 1283	12	7,1*	1,4*	Incremento %F y NB mientras disminuyo PC. Precocidad y reducida biomasa vegetativa.	Wells y Meredith (1984c)
USDA ARS (Acala)	USA (CA)	1939 – 1979	Directo	-	16	9,0	-	No mencionado	Bassett y Hyer (1985)
ST	USA (MS)	1964 – 1986	Indirecto	785 – 1457	-	9,6	-	Mayor precocidad en los cultivares	Bridge y McDonald (1987)
USDA ARS (Pee Dee)	USA (SC)	1945 – 1977	Directo	762 – 1284	20	13,8	3,1*	Incremento %F (a través de la disminución de IS) y NC.	Culp y Green (1992)
CNPA	Brasil	1976 – 1994	Indirecto	801 – 3675	46	16,1*	1,0	Basado en un set de 8 cultivares, incremento de %F y PC	de Carvalho et al. (1997)
ST y DP	USA (MS)	1938 – 1993	Directo	617 – 1088	16	6,1	1,9*	No mencionado	Meredith et al. (1997)
USDA ARS	USA (AZ, NM, TX)	1949 – 1991	Directo	432 – 1153	8	16,9	2,3*	Incremento de NC, y %F. Disminución PC e IS. <i>Gossypium barbadense</i>	Moser y Percy (1999)
CSIRO	Australia	1983 – 1998	Indirecto	-	26	12,9	1,9	Mejora rendimiento potencial (%F y NC) y mejora resistencia a enfermedades: mancha angular, Alternaria y Verticillium.	Constable et al. (2001)

OK AES	USA (OK)	1918 – 1982	Directo	132 – 672*	12	3,7 – 5,6	1,6*	Incremento PC y IS. Resistencia a enfermedades (mancha angular, Fusarium, NNR)	Bayles et al. (2005)
NM AES (Acala)	USA (NM)	1929 – 2004	Indirecto	-	35	-	1,4	Incremento %F, disminución PC e IS.	Zhang et al. (2005)
Múltiple, incluido DP y ST	USA (TX)	1905 – 2002	Directo	710 – 1485	9	8,7	1,0*	Incremento %F (a través de la disminución de semillas cápsula <sup>1</sup> e IS), junto con una mayor cantidad <sup>#</sup> de pequeñas cápsulas.	Schwartz y Smith (2008)
USDA-ARS (Pee Dee)	USA (NC, SC, GA, MS)	1935 – 2005	Directo	983 – 1519	82	2,8 <sup>^</sup>	1,4 <sup>^</sup>	Progreso genético de 28 kg ha <sup>-1</sup> o 3% por ciclo de mejoramiento.	Campbell et al. (2011)
CSIRO	Australia	1970 – 2006	Indirecto	1750 – 2150	23	18,3 ± 4,2	1,2	Progreso genético atribuido a genética (48%), manejo (28%) y GxM (24%).	Liu et al. (2013)
IRCT	Camerún	1950 – 2009	Directo	386 – 1197	10	3,3	1,7*	Secano. Mejora calidad. No hubo cambios en rendimiento de fibra, IAF, biomasa, EUF, NC, PC o IC.	Loison et al. (2016)
Provincia de Xianjiang	China	1968 - 2010	Directo	1518 - 2436	4	14,2	2,4	Progreso genético atribuido a: i) incremento NC, %F ii) tasa de fotosíntesis en cultivares a partir del 2000s.	Yang et al. (2018)

Referencias: \*: Valor calculado basado en la regresión o datos promedio proporcionados, ^: Valor estimado basado en el rendimiento promedio de fibra para un ciclo de mejoramiento y con la suposición de que un ciclo de mejoramiento es de 10 años, #: hipotético, debido a que no se presentaron datos, NC: número de cápsulas, %F: porcentaje de fibra, PC: peso por cápsula, IS: índice de semilla, NNR: nemátodo del nudo de raíz (*Meloidogyne incognita*), IAF: índice de área foliar, EUR: eficiencia en el uso de la radiación, IC: índice de cosecha, USDA-ARS: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USA), Servicio de Investigación Agrícola, AES: Estación experimental de agricultura, MS: Mississippi, TN: Tennessee, CA: California, SC: Carolina del Sur, AZ: Arizona, NM: Nuevo México, TX: Texas, OK: Oklahoma, NC: Carolina del Norte, GA: Georgia, ST: Stoneville Pedigreed Seed Co., DP: Delta y Pine Land Co., Coker: Coker Pedigreed Seed Co., IRCT: Institut de Recherches du coton et des textiles exotiques, ECGC: Empire Cotton Growing Corporation, CSIRO: Commonwealth industrial and scientific research organization y CNPA: Centro nacional de pesquisa do Algodão

Los estudios mencionados evaluaron principalmente las mejoras históricas de los cultivares y el efecto de caracteres específicos, así como proporcionaron información sobre la magnitud de las posibles ganancias futuras en la productividad y defendieron el papel de la genética durante los períodos de estancamiento o disminución de las tendencias de rendimiento (Schwartz y Smith, 2008). Aunque no todos los estudios publicados investigaron los caracteres que conducen a los progresos genéticos reportadas en el algodón, una gran proporción de ellos estudiaron cambios en los componentes del rendimiento asociados con índice de cosecha; porcentaje de fibra, número de cápsulas, tamaño de las cápsulas y semillas (Tabla 4). Si bien se han examinado los cambios en los componentes del rendimiento debidos a los programas de mejoramiento genético selectivos, son menos los estudios que han investigado los cambios correspondientes en la materia seca total o en las características de crecimiento vegetativo y reproductivo (Conaty y Constable, 2020).

Por otro parte, en Argentina, se realizaron estudios de progreso genético en cultivos tales como: trigo (Curin et al., 2021; Slafer y Andrade, 1989), caña de azúcar (Acreche, 2015a; 2017), maní (Haro et al., 2013; 2015; 2017), soja (de Felipe et al., 2016), maíz (Curin et al., 2020; Luque et al., 2006), girasol (de la Vega et al., 2007; Pereira et al., 1999a, b; 2000) y sorgo (Gizzi y Gambin, 2016). Este tipo de enfoques permiten un análisis retrospectivo que comprende la generación de nuevos conocimientos para la mejora continua de la productividad de los cultivos a través del tiempo.

Por último, para el caso del algodón, no existen trabajos publicados en el país con un estudio minucioso y objetivo del progreso genético para las variables de rendimiento y calidad de fibra. Además, Gómez et al. (2007) quien trabajó sobre la diversidad genética en las entradas de algodón en el banco de germoplasma de INTA, mencionó la necesidad de un estudio de progreso genético de las variedades de INTA.

### **VIII. Problemática**

Por todo lo anteriormente descripto, es fundamental llevar a cabo este trabajo para identificar y cuantificar los mecanismos ecofisiológicos involucrados que permitan explicar los cambios, tanto en la productividad como en la calidad tecnológica de fibra y composición de las semillas de los cultivares de algodón utilizados en los últimos 50 años en la Argentina. Del mismo modo, posibilitar que los resultados de estos experimentos, sean insumo para

diversos programas de mejoramiento genético de algodón, tanto de Argentina como de cualquier país del mundo, que persigan como objetivo la obtención de cultivares adaptados a diversas condiciones ambientales.

## **IX. Objetivos**

### *i. Objetivo general*

Determinar el progreso genético de variedades de algodón cultivadas en Argentina en los últimos 50 años, tanto en rendimiento como en parámetros de calidad de fibra, proteína y aceite, identificando las principales bases responsables de tales logros.

### *ii. Objetivos específicos*

- Cuantificar y comparar el rendimiento de fibra y sus principales componentes, los parámetros tecnológicos de calidad de fibra y los niveles de aceite y proteína en la semilla de variedades utilizadas en los últimos 50 años en Argentina en diferentes ambientes.
- Estimar el progreso genético tanto del rendimiento de fibra y todos los componentes de rendimiento asociados; como así también de los parámetros de calidad de fibra y calidad de semilla en el periodo analizado.
- Cuantificar el efecto tanto del genotipo como del ambiente y su interacción en los componentes de rendimiento, parámetros de calidad de fibra y calidad de semilla en el periodo analizado.
- Examinar las relaciones entre los componentes de rendimiento, parámetros de calidad de fibra y semilla en las variedades de algodón utilizadas en los últimos 50 años en Argentina en diferentes ambientes.
- Cuantificar y comparar los diferentes patrones de crecimiento, variables morfológicas y dinámicas de floración en variedades utilizados en los últimos 50 años en Argentina y asociarlos con el rendimiento de fibra.

## **X. Hipótesis**

El progreso genético en los cultivos de algodón se asocia a un incremento del número de cápsulas por planta y una mayor proporción de fibra por cápsula. A su vez, los cultivares modernos tienen una mayor capacidad para retener órganos reproductivos que hace que la

relación entre el peso de las estructuras reproductivas y vegetativas sea mayor en estos cultivares.

#### **XI. Resultados esperados**

Se espera que la calidad de fibra, aceite y proteína sea mayor en las variedades modernas debido al continuo mejoramiento genético y que los diferentes ambientes explorados por los cultivares no impacten en las estimaciones de las tasas de progreso genético a evaluar.

# CAPÍTULO 1

Progreso genético de rendimiento de  
algodón y sus componentes

## 1.1 Introducción

El algodón (*Gossypium hirsutum* L.) es uno de los principales cultivos de fibra a nivel mundial. El mismo, es importante en los procesos de crecimiento económico y contribuye al desarrollo sostenible de los países productores y consumidores de fibras (Paytas y Ploschuk, 2013). La producción comercial de algodón comenzó en Argentina a principios de la década de 1930, alcanzando un área máxima de producción de alrededor de 1,2 millones de hectáreas en la temporada 1997/98. Luego de cierta oscilación en las áreas sembradas, actualmente la producción de algodón se ha estabilizado en aproximadamente 350.000 ha con un rendimiento promedio de fibra de 750 kg ha<sup>-1</sup>. En el país, la región algodонера se concentra principalmente en la parte norte de Argentina, entre los 25° y 31° de latitud S, siendo las principales provincias productoras Chaco, Santa Fe y Santiago del Estero.

El programa de mejoramiento genético del algodón argentino se inició en Sáenz Peña (provincia del Chaco) en 1923 con la experimentación y evaluación de un gran número de variedades introducidas, principalmente de los Estados Unidos (Ricciardi, 1984). En ese momento, el principal objetivo del programa era seleccionar los mejores cultivares adaptados al entorno local. El primer genotipo local liberado fue “Tipo Chaco”, una población derivada de cruzamientos naturales y mezclas de semillas en desmotadoras, a mediados de 1920 (Poisson, 2002). Luego, esta población fue reemplazada por líneas seleccionadas de cruces entre variedades locales y extranjeras tales como “Deltapine”, “Stoneville” y “Acala” (Gómez et al., 2007). Con la creación del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), y la implementación del programa de mejoramiento genético del algodón en 1956, se ha puesto un mayor énfasis en el mejoramiento genético del cultivo en el país (Ricciardi, 1984).

El progreso genético se puede definir como el aumento de rasgos favorables obtenidos de la aplicación de métodos de mejoramiento de cultivos en una población a través de la variación hereditaria a lo largo del tiempo. Este se evalúa comparando el desempeño de los cultivares o variedades liberadas durante un número determinado de años cuando se cultivan en las mismas o diferentes condiciones ambientales y bajo prácticas de manejo uniformes (de Felipe et al., 2016). El progreso genético, así como las prácticas agronómicas, han jugado un papel importante en los incrementos de rendimiento en casi todos los países productores de algodón (Bayles et al., 2005). Varios estudios han descrito tendencias positivas para el rendimiento

de fibra, los parámetros de calidad de la fibra y otras características agronómicas de los cultivares desarrollados a lo largo del tiempo. Estos estudios estimaron tasas de progreso genético para el rendimiento de fibra desde 2,8 a 16,9 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Bridge et al., 1971; Campbell et al., 2011; Conaty y Constable, 2020). La mayoría de los estudios informaron que los cambios en el porcentaje de fibra y el número de cápsulas contribuyeron al progreso genético para la producción de fibra (Wells y Meredith, 1984; Culp y Green, 1992; Yang et al., 2019); mientras que otros sugirieron que los cambios en el peso de las cápsulas (de Carvalho et al., 1997; Bayles et al., 2005) o la resistencia a enfermedades (Peat y Brown, 1961; Constable et al., 2001) se han relacionado de una mayor manera con el progreso genético en el rendimiento de fibra.

La relación entre el rendimiento de fibra y sus componentes está influenciada por la estructura genética, las condiciones ambientales y sus interacciones (Bednarz et al., 2007). Además, el conocimiento de la relación entre los componentes de rendimiento es fundamental para diseñar un criterio de selección en los programas de mejoramiento (Campbell et al., 2012). Un enfoque común utilizado para detectar relaciones lineales entre el rendimiento de fibra y sus componentes, es el análisis de correlación de Pearson (Bechere et al., 2014). En este sentido, varios autores en la bibliografía reportaron que el número de cápsulas, el número de semillas cápsula<sup>-1</sup>, el peso de fibra por semilla y el índice de semillas se asociaron con cultivares de alto rendimiento (Bednarz et al., 2007; Campbell et al., 2012). Además, cuantificar los componentes de variación genéticos, ambientales y los resultantes de la interacción genética-ambiental, puede ser útil para la selección de cultivares en un ambiente dado (Snider et al., 2013). En este sentido, Meredith Jr et al. (2012) informaron que el rendimiento de la fibra está influenciado principalmente por el factor ambiente, lo que representa entre el 76 al 94 % de la variabilidad del rendimiento total.

En Argentina, numerosos estudios exploraron el progreso genético de cultivos como trigo (Slafer y Andrade, 1989), caña de azúcar (Acreche et al., 2015; Acreche e Igartua, 2017), maní (Haro et al., 2013; Haro et al., 2015; Haro et al., 2017), soja (Felipe et al., 2016), sorgo (Gizzi y Gambin, 2016), maíz (Luque et al., 2006; Curin et al., 2020) y girasol (Pereira et al., 1999a, b; Pereira et al., 2000; de la Vega et al., 2007), sin embargo, no se ha abordado la evaluación histórica del progreso genético en algodón. Por lo tanto, es fundamental realizar este trabajo para identificar los principales componentes del rendimiento que podrían

explicar los cambios en el rendimiento del algodón para los genotipos más utilizados en los últimos 50 años en Argentina. Asimismo, los resultados de estos experimentos, podrían ser utilizados como herramienta para diversos programas de mejoramiento de algodón destinados a obtener genotipos adaptados a diferentes condiciones ambientales en Argentina y en el mundo.

## **1.2 Objetivos específicos**

- Cuantificar y comparar el rendimiento de fibra de algodón y sus componentes en variedades utilizados en los últimos 50 años en Argentina.
- Comparar el rendimiento y sus componentes entre ambientes.
- Estimar el progreso genético de todos los componentes de rendimiento evaluados.
- Cuantificar el efecto tanto del genotipo como del ambiente y su interacción en los componentes de rendimiento y estimar el porcentaje de variabilidad explicado por cada componente.
- Examinar las relaciones entre los componentes de rendimiento.

## **1.3 Materiales y métodos**

### *1.3.1 Cultivares*

Los experimentos se realizaron con 20 cultivares de *Gossypium hirsutum*, conservados en el banco de germoplasma de la Estación Experimental Sáenz Peña del INTA ubicada en la provincia de Chaco. Los cultivares fueron seleccionados debido a los siguientes motivos:

- Importancia en el porcentaje de superficie sembrada y popularidad de la variedad en las diferentes décadas.
- Disponibilidad de semillas en el banco de germoplasma acorde al tamaño del ensayo.
- En cuanto a los cultivares extranjeros, la importancia no solo en la superficie cultivada que ocuparon sino también, la participación en numerosos cruzamientos para la obtención de variedades del INTA.
- El total de variedades comerciales disponibles en el mercado hasta la fecha del inicio del ensayo.
- Variedades avanzadas que registraron excelente comportamiento en ensayos previos realizados (Scarpin et al., 2018b). Para estas variedades, el programa de mejoramiento

genético de algodón de INTA tiene proyectado el lanzamiento al mercado de las variedades en los años mencionados en la Tabla 5. Es importante mencionar aquí que las dos líneas avanzadas incluidos en los experimentos son variedades estables.

En la Tabla 5 se especifican las variedades o líneas avanzadas utilizadas en los ensayos con el respectivo año de lanzamiento y parentales (según catalogo brindado por el banco de germoplasma).

**Tabla 5.** Variedades y líneas avanzadas utilizadas en el experimento y sus respectivos parentales. Referencias: BG: Bollgard, RR: Roundup Ready. + disponibles en el mercado, \* solamente se cultivaron en C2.

N°	Variedad	Tipo de cultivar	Año de lanzamiento	Parental 1	Parental 2
1	Stoneville 508	Extranjero - USA	1965 <sup>1</sup>	Desconocido	Desconocido
2	Deltapine 16	Extranjero - USA	1967 <sup>1</sup>	Deltapine Smoothleaf	Fox 4 - 4205
3	Toba II SP	INTA	1969 <sup>2</sup>	Selección de Toba I	
4	Chaco 510	INTA	1980 <sup>2</sup>	HAR Z 907 (IRCT – Costa de Marfil)	Acala 4-42
5	Porá	INTA	1982 <sup>2</sup>	Chaco 510	Reba P279
6	Deltapine 50	Extranjero - USA	1984 <sup>3</sup>	Deltapine 16	DES 56
7	Guazuncho 2	INTA	1989 <sup>2</sup>	Guazuncho	SP 8535
8	Chaco 520	INTA	1994 <sup>2</sup>	SP 2473-2	SP-RCH 1003
9	Guazuncho 2000 <sup>+</sup>	Comercial	2001 <sup>4</sup>	Guazuncho 2 INTA	Desconocido
10	Guazuncho 3	INTA	2004 <sup>4</sup>	SP 97898 SN	SP 8334-5
11	Oro Blanco 2	INTA	2004 <sup>4</sup>	SP 8334-5	SP 97806HO
12	Poraite	INTA	2008 <sup>4</sup>	SP 97898 SN	SP 8334 - 5
13	NuOpal <sup>+</sup>	Comercial	2009 <sup>4</sup>	DeltaOpal <sup>5</sup>	Deltapine 5690 <sup>5</sup>
14	Deltapine 402 <sup>+</sup>	Comercial	2010 <sup>4</sup>	Chaco 520 <sup>5</sup>	Coker 312-531 <sup>5</sup> Coker 312-1445 <sup>5</sup>
15	Deltapine 1238 <sup>+</sup>	Comercial	2014 <sup>4</sup>	03Q066 <sup>5</sup>	DeltaOpal B2R1 <sup>5</sup>
16	Guazuncho 4 <sup>+</sup> *	Comercial	2019 <sup>4</sup>	Guazuncho 2000 x Deltapine 404	SP 41277
17	Guaraní <sup>+</sup> *	Comercial	2019 <sup>4</sup>	Guazuncho 2000 x Deltapine 404	SP 8270
18	Porá 3 <sup>+</sup> *	Comercial	2019 <sup>4</sup>	Guazuncho 2000 x Deltapine 404	SP 6565
19	SP 41255	INTA	2024	SP 81270-7	Mij. 3
20	SP 6565	INTA	2025	CD 409	Stoneville 474

Fuente: <sup>1</sup>Bridge et al. (1971) ; <sup>2</sup>Poisson (2002) ; <sup>3</sup>Bowman et al. (2006); <sup>4</sup>INASE (www.inase.gov.ar);

<sup>5</sup>Cubecino, 2020. Comunicación personal.

### 1.3.2 Localización del experimento

Los experimentos se llevaron a cabo en la localidad de Reconquista, en la Estación Experimental Agropecuaria (EEA Reconquista) del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), el cual está ubicado en las siguientes coordenadas geográficas: latitud: 29°15'56"S; longitud: 59°44'32"O; y altitud: 50 m sobre el nivel del mar. Esta área presenta relieve plano y el suelo pertenece a la unidad cartográfica RTA 4, donde el subgrupo dominante es Argiudol Acuértico (Giorgi et al., 2011). El clima es de transición, subtropical subhúmedo-subhúmedo seco, con una distribución de las precipitaciones que concentra el 70% desde octubre a marzo (Giorgi et al., 2008; Zuil, 2011).

### *1.3.3 Experimentos*

Los experimentos se llevaron a cabo en condiciones de campo, durante las campañas 2017/18 (C1) y 2018/19 (C2), en dos fechas de siembra por campaña. En cada temporada, se realizó una siembra temprana (FSI) el 30/10 tanto en el 2017 (Experimento 1) como en el 2018 (Experimento 3) y otra fecha de siembra tardía (FSII) el 28/11/2017 (Experimento 2) y 01/12/2018 (Experimento 4) para la campaña 2017/18 y 2018/19, respectivamente.

En cada experimento, los ensayos se realizaron en un lote preparado de manera convencional, efectuándose una siembra de manera manual. El motivo de la elección de este tipo de siembra fue debido a que las variedades de algodón que provenían del banco de germoplasma, no estaban ácidas deslindadas, lo que imposibilita la siembra de manera mecánica.

La distancia entre surcos designada fue de 52,5 cm, siendo el sistema utilizado el de surco estrecho con una densidad de plantas de 12 a 15 pl m<sup>-2</sup>. Cada parcela consistió de 8 m de largo con 4 surcos de algodón en cada una de ellas, siendo la superficie de cada parcela de 16,8 m<sup>2</sup>. Los surcos centrales se destinaron para la recolección del algodón, mientras que en los surcos exteriores de cada parcela se realizaron cortes de plantas para muestreos. Cabe destacar que cada una de las fechas de siembra tenía sembrada 8 surcos de bordura en todos los exteriores.

Antes de la siembra, se realizaron aplicaciones de insecticida y fungicida a las semillas para evitar problemas de ataque de insectos o enfermedades en la emergencia y para equiparar los tratamientos con las semillas comerciales. En el estado fenológico de tercera hoja expandida, se realizó un raleo manual de las plantas, con el objeto de uniformizar el número de plantas por parcela en los diferentes tratamientos.

En todos los experimentos se realizó una fertilización inicial de 100 kg ha<sup>-1</sup> de fosfato diamónico (18-46-0) y una re-fertilización al voleo de 100 kg ha<sup>-1</sup> de urea (46-0-0) en el estado de seis hojas expandidas. Las cantidades fueron calculadas según necesidades de fertilización del cultivo de algodón, para rendimientos de algodón en bruto de 3000 kg ha<sup>-1</sup> según IPNI (International Plant Nutrition Institute) y la oferta de nutrientes del sitio donde fueron llevados a cabo los experimentos (Tabla 6 y 7).

**Tabla 6.** Características químicas del suelo (0-20 cm) determinadas mediante su análisis en laboratorio de suelos del INTA Reconquista para los experimentos 1 y 2.

M.O (%)	P (mg kg <sup>-1</sup> )	pH (1:2,5)	NH <sub>4</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	NO <sub>3</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	Na <sup>+</sup> (cmol kg <sup>-1</sup> )	K <sup>+</sup> (cmol kg <sup>-1</sup> )	Ca <sup>+2</sup> (cmol kg <sup>-1</sup> )	Mg <sup>+2</sup> (cmol kg <sup>-1</sup> )	CIC (cmol kg <sup>-1</sup> )
1,86	23,6	5,90	2,7	66,2	0,35	0,60	8,96	1,52	12,0

**Tabla 7.** Características químicas del suelo (0-20 cm) determinadas mediante su análisis en laboratorio de suelos del INTA Reconquista para los experimentos 3 y 4.

M.O (%)	P (mg kg <sup>-1</sup> )	pH (1:2,5)	NH <sub>4</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	NO <sub>3</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	Na <sup>+</sup> (cmol kg <sup>-1</sup> )	K <sup>+</sup> (cmol kg <sup>-1</sup> )	Ca <sup>+2</sup> (cmol kg <sup>-1</sup> )	Mg <sup>+2</sup> (cmol kg <sup>-1</sup> )	CIC (cmol kg <sup>-1</sup> )
1,64	36,2	5,80	2,3	49,5	0,20	0,60	7,80	1,10	11,0

Se realizaron riegos complementarios solamente en los experimentos 1 y 2, correspondientes a la campaña 2017/18. Por un lado, el experimento 1 recibió una lámina de 240 mm, repartida en 5 oportunidades durante el ciclo y, por otro lado, el experimento 2 recibió una lámina de 50 mm en una oportunidad. Los experimentos 3 y 4 no demandaron aplicaciones de riegos complementarios debido a que las precipitaciones se registraron de manera frecuente durante esa campaña. El criterio para la aplicación del riego fue a través de un modelo de balance hídrico que tenía en cuenta los registros de humedad en el suelo, los aportes de las precipitaciones y las pérdidas por evaporación del suelo y transpiración del cultivo.

Las malezas fueron manejadas a través del uso de herbicidas pre-emergentes aplicados el día de la siembra. Los ingredientes activos utilizados fueron diuron y s-metolaclor con dosis de 1,5 y 1,2 l ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Para complementar el control de los herbicidas pre-emergentes, se realizaron carpidas manuales durante todo el ciclo del cultivo en cada uno de los ambientes. Con respecto a los insectos, los mismos fueron controlados a través de aplicaciones dirigidas según las practicas recomendadas del protocolo para la producción de fibra de PROCALGODON (2008).

### 1.3.4 Arreglo estadístico

El arreglo estadístico de las parcelas fue de bloques completamente aleatorizados para cada experimento, con cuatro repeticiones para cada variedad en cada ambiente (Figura 10). Las fechas de siembra en cada una de las campañas fueron dispuestas de manera contiguas con ocho surcos de bordura entre fechas de siembra.



**Figura 10.** Vista aérea de disposición de parcelas en los experimentos 3 (izquierda) y 4 (derecha).

### 1.3.5 Mediciones realizadas

El cálculo del rendimiento y sus componentes fue realizado con las siguientes mediciones:

- Rendimiento bruto de algodón (RB): se recolectó la fibra de algodón de todas las cápsulas presentes en las plantas de 5 m lineales en los surcos centrales de cada una de las parcelas. Las muestras obtenidas fueron pesadas en balanzas de precisión y se realizaron mediciones para homogeneizar el contenido de humedad de fibra en cada una de ellas.
- Porcentaje de fibra (%F): para estimar este parámetro, se tomaron 200 g de algodón proveniente de las muestras obtenidas para RB y se realizó el desmote en una mini-desmotadora de tipo experimental. Luego del desmote, se pesaron en una balanza de precisión la fibra y semillas por separado. %F se calculó según la ecuación 2:

$$\%F = \left( \frac{\text{peso fibra}}{\text{peso fibra} + \text{peso semilla}} \right) \quad \text{ecuación 2}$$

- Rendimiento de fibra (RF): se obtuvo al multiplicar RB y %F.

$$RF = RB * \left( \frac{\%F}{100} \right) \quad \text{ecuación 3}$$

- Peso promedio capullo<sup>-1</sup> (PC): se determinó seleccionando 25 cápsulas de 1<sup>era</sup> posiciones fructíferas al azar, dentro de los surcos cosechados en cada parcela, y luego se pesó la muestra en una balanza de precisión (Wells y Meredith, 1984c).

$$PC = \frac{\text{Peso muestra 25 cápsulas}}{25} \quad \text{ecuación 4}$$

- N° de cápsulas m<sup>-2</sup> (NC): en primer lugar, el número de capullos totales en cada parcela (NCT) se cuantificó dividiendo el peso total de la muestra recolectada en cada parcela por PC. Luego, se realizó la operación para expresar el valor de capullos m<sup>-2</sup> (NC), teniendo en cuenta, por un lado, los metros lineales cosechados (10) y los metros lineales (1,92) que representan 1 m<sup>2</sup>, según el distanciamiento entre surcos utilizado (0,52 cm).

$$NCT = \frac{(\text{Peso muestra total} * 25)}{\text{peso muestra 25 cápsulas}} \quad \text{ecuación 5}$$

$$NC = \frac{(NCT * 1,92)}{10} \quad \text{ecuación 6}$$

- N° semillas cápsula<sup>-1</sup> (NSC): el cálculo de esta variable se realizó con las semillas obtenidas, luego del desmote de la muestra de 25 cápsulas de cada parcela. Para esto, se ácido deslintó las semillas obtenidas y se contaron el número de semillas presentes en cada una de las muestras.

$$NSC = \frac{\text{número de semillas contadas}}{25} \quad \text{ecuación 7}$$

- Fibra semilla<sup>-1</sup> (F/S): este valor se obtuvo al dividir el peso de la fibra de algodón, que resultó luego de desmotar los 25 capullos por el número de semillas que se cuantificaron en el punto f.

$$F/S = \frac{\text{fibra de muestra de 25 cápsulas}}{NSC} \quad \text{ecuación 8}$$

- Fibra cápsula<sup>-1</sup> (F/C): este valor se obtuvo al dividir el peso de la fibra de algodón, que resultó luego de desmotar los 25 capullos por el número de cápsulas cosechadas.

$$F/C = \frac{\text{fibra de muestra de 25 cápsulas}}{25 \text{ cápsulas}} \quad \text{ecuación 9}$$

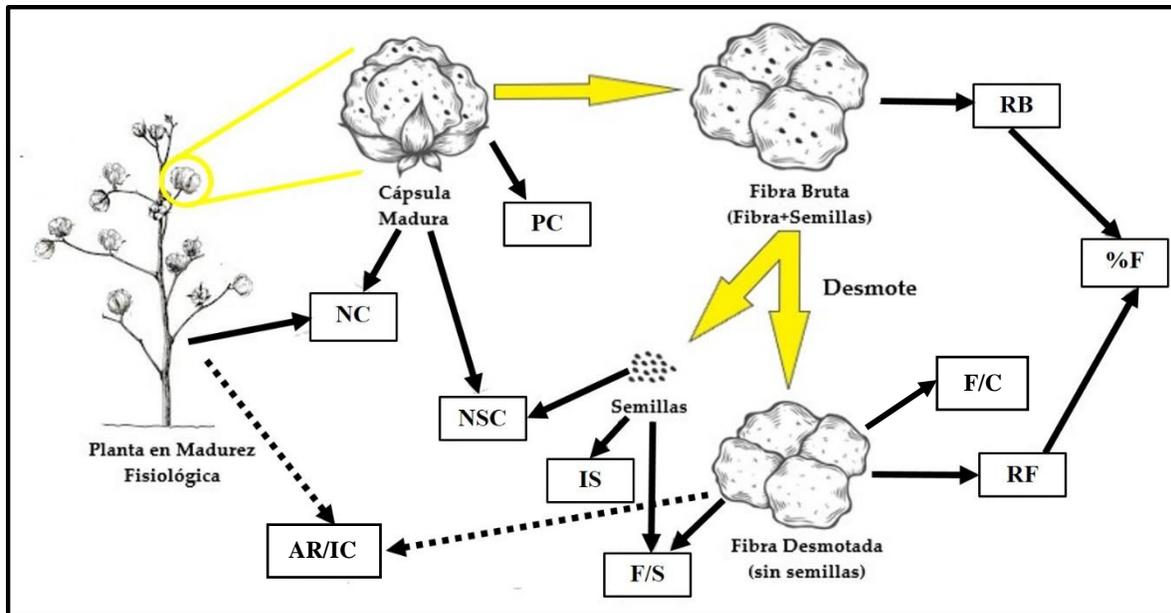
- Índice de semillas (IS): se obtuvo al pesar 100 semillas de cada una de las muestras de las variedades de algodón (Pettigrew et al., 2013).
- Alocación reproductiva (AR): este valor se obtuvo con los datos conjuntos de los análisis de componentes de rendimiento y partición de asimilados. El valor de AR resultó de la división entre el peso de la materia seca de fibra y semilla sobre la materia seca total (Conaty y Constable, 2020).

$$AR = \frac{\text{Materia seca fibra+semilla}}{\text{Materia seca total}} \quad \text{ecuación 10}$$

- Índice de cosecha (IC): este valor se obtuvo con los datos conjuntos de los análisis de componentes de rendimiento y partición de asimilados. El valor de índice de cosecha resultó de la división entre el peso de la materia seca de fibra sobre la materia seca total (Pettigrew et al., 2013).

$$IC = \frac{\text{Materia seca fibra}}{\text{Materia seca total}} \quad \text{ecuación 11}$$

Para la mejor comprensión de todos los componentes de rendimientos evaluados en el experimento se presenta la Figura 14 donde se especifican las relaciones entre los mismos.



**Figura 11.** Esquema ilustrativo de los componentes de rendimiento analizados en el apartado 2.6.6. Referencias: NC: número de cápsulas por unidad de superficie, PC: peso promedio cápsula<sup>-1</sup>, NSC: número de semilla cápsula<sup>-1</sup>, IS: índice de semillas, F/S: fibra semilla<sup>-1</sup>, RB: rendimiento bruto, RF: rendimiento de fibra, %F: porcentaje de fibra, AR: alocación reproductiva, IC: índice de Cosecha.

### 1.3.6 Análisis estadístico

Para realizar el análisis estadístico de este capítulo se utilizó la técnica de análisis de la varianza (ANOVA), utilizando el módulo de modelos lineales mixtos del programa estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2011). Para el análisis se tomaron como efectos fijos las variedades (V), la fecha de siembra (FS) y su interacción (V\*FS) mientras que como efectos aleatorios se seleccionaron la campaña (C) y los bloques dentro de cada campaña (B). Las estimaciones de los parámetros para este modelo se obtuvieron aplicando el método de máxima verosimilitud restringida (REML).

Además, otra herramienta que brinda el módulo de modelos lineales mixtos de InfoStat, es la posibilidad del cálculo de los componentes de la varianza, por medio del estimador de máxima verosimilitud restringida (REML). Para el caso de estudio, se realizó un análisis con todos los componentes de rendimiento y se consideraron los siguientes factores de variación como efectos aleatorios:

- Variedad
- Ambiente (Combinación de fechas de siembra y campaña)
- Interacción Variedad x Ambiente
- Bloque

Por otro lado, para el cálculo del progreso genético se realizó en cada uno de los componentes de rendimiento estudiados un ANOVA, tomando en este caso como efectos fijos el año de lanzamiento (AL), FS y su interacción (FS\*AL), mientras que los efectos aleatorios, fueron campaña y bloque dentro de campaña. Con los resultados promedios de cada año de lanzamiento luego del ANOVA, se realizaron regresiones lineales entre la variable dependiente (componente de rendimiento) y la variable independiente (AL). Las pendientes en cada una de las regresiones fueron los estimadores del progreso genético anual para cada uno de los componentes analizados. El cálculo de la significancia, el coeficiente de determinación ( $r^2$ ) y los gráficos se realizaron con el software SigmaPlot 14.0 (Systat Software, San Jose).

Asimismo, para examinar los coeficientes de correlación entre los componentes de rendimientos evaluados en el experimento, se realizaron mediciones de la medida de magnitud de asociación lineal entre dos variables, a través del método de correlaciones parciales de Pearson. Este método permite obtener correlaciones parciales entre dos o más variables, después de ajustar por los efectos de una o más variables adicionales (variables

fijadas). La variable “fijada” que se utilizó fue el ambiente. Además, se calcularon pruebas de significancia de las correlaciones y se graficaron con el paquete corrplot de RStudio (RStudio, 2020).

Para finalizar, además del estudio de correlación entre variables, se realizaron regresiones lineales entre los componentes de rendimiento cuantificados durante el experimento teniendo en cuenta el ambiente explorado. Se llevaron a cabo tanto el cálculo de la significancia como los gráficos a través del software SigmaPlot 14.0 (Systat Software, San Jose). Del mismo modo, para todas las regresiones realizadas se seleccionaron aquellas que maximizaban tanto la significancia como el coeficiente de determinación ( $r^2$ ).

## **1.4 Resultados**

### *1.4.1 Análisis de la varianza de los componentes de rendimiento*

Para analizar los resultados de los componentes de rendimiento se realizó un ANOVA que se detalla en la Tabla 8. En primer lugar, se pudo observar que, fibra cápsula<sup>-1</sup> (F/C) presentó diferencias significativas, tanto entre V como entre FS. Al comparar FS, se pudo observar que FSII registró mayor F/C que FSI. Con respecto a la diferencia entre V, Porá 3 y Deltapine 402 registraron la mayor y menor F/C, respectivamente. Además, la componente fibra semilla<sup>-1</sup> (F/S) solo registró diferencias significativas para FS, siendo FSII la que superó significativamente a FSI. Para los componentes número de semillas cápsula<sup>-1</sup> (NSC) e índice de semilla (IS) se observó una interacción significativa entre FS y V, lo que sugiere que alguno de los cultivares se comportaron de manera diferencial entre FS evaluadas. Las V que presentaron los mayores valores para NSC e IS fueron Guaraní en FSI y Chaco 520 en FSI, respectivamente. Por otro lado, las V que presentaron los menores valores para NSC e IS fueron Deltapine 1238 en FSII y Guaraní en FSI, respectivamente.

Por otro lado, al analizar los componentes peso cápsula<sup>-1</sup> (PC), número de cápsulas m<sup>-2</sup> (NC), rendimiento bruto (RB), porcentaje de fibra (%F) y rendimiento de fibra (RF), se pudo observar que presentaron diferencias significativas entre FS y V, sin presentar interacción entre los componentes. Para el caso de PC, FSII registró un mayor peso, en comparación con FSI. Además, las V con mayor y menor PC fueron Oro Blanco 2 y SP 41255, respectivamente. Al contrario de lo sucedido con PC, FSI registró un mayor NC que FSII. Además, en este componente se pudo observar que se invirtió lo observado en PC, siendo SP

41255 y Oro Blanco 2, las V con mayor y menor NC, respectivamente. Con respecto a RB, FSI y SP 6565 fueron los que registraron mayores valores de esta variable, en cambio, FSII y Stoneville 508, presentaron los menores valores para este componente. En el componente %F se observó que FSII presentó un mayor %F al compararlo con FSI. Asimismo, en términos del otro factor de variación evaluado, SP 41255 y tanto NuOpal como Stoneville 508 presentaron el mayor y menor %F, respectivamente. Por último, RF fue mayor para la FSI y el cultivar Guaraní, mientras que, FSII y Stoneville 508 registraron los menores valores para esta variable.

Asimismo, los modelos mixtos permiten particionar la varianza de los errores entre todos los efectos aleatorios seleccionados en el modelo y así, obtener información del análisis. En la parte final de la Tabla 8 se observa que, solo para los componentes F/C, IS y %F la  $\sigma_{2residual}$  concentró el mayor porcentaje de la variación dentro de los errores, mientras que, para los restantes componentes de rendimiento, el  $\sigma_{2campana}$  fue el que presentó el mayor porcentaje.

**Tabla 8.** Análisis de la varianza para los componentes de rendimiento en las fechas de siembra (FS) y variedades (V) ordenadas según año de lanzamiento. F/C: fibra cápsula<sup>-1</sup> (g); F/S: fibra semilla<sup>-1</sup> (mg); IS: índice de semilla (g); NSC: número de semilla cápsula<sup>-1</sup>; PC: peso cápsula<sup>-1</sup> (g); NC: número de cápsula m<sup>-2</sup>; RB: rendimiento bruto (kg ha<sup>-1</sup>); %F: porcentaje de fibra; RF: rendimiento de fibra (kg ha<sup>-1</sup>).  $\sigma^2$ : varianza. \*: p<0,05; \*\*: p<0,01 y \*\*\*: p<0,001.

Variedad	F/C	F/S	IS	NSC	PC	NC	RB	% F	RF
Stoneville 508	2,06 b	68,1	9,7	30,4	5,42 b	39,4 b	2601 b	38,3 b	997 c
Deltapine 16	2,05 b	68,8	9,7	30,1	5,39 b	45,1 b	2858 b	38,4 b	1094 b
Toba II SP	2,09 b	72,2	10,8	29,1	5,62 b	40,9 b	2759 b	36,9 c	1014 c
Chaco 510	2,06 b	67,0	10,4	30,9	5,57 b	47,3 b	3065 b	37,3 c	1138 b
Porá	2,13 b	70,4	9,7	30,4	5,36 b	53,0 a	3267 a	39,3 b	1284 b
Deltapine 50	2,15 b	70,7	10,3	30,6	5,70 b	43,3 b	2930 b	37,7 c	1102 b
Guazuncho 2	2,18 b	71,5	9,6	31,7	5,54 b	43,3 b	2848 b	39,1 b	1109 b
Chaco 520	2,11 b	71,2	10,9	30,0	5,84 a	47,4 b	3224 a	37,2 c	1193 b
Guazuncho 2000	2,24 b	72,2	10,1	31,0	5,73 b	44,0 b	2978 b	40,0 b	1194 b
Guazuncho 3	2,35 a	77,2	10,3	30,8	5,83 a	47,8 b	3248 a	41,0 a	1331 a
Oro Blanco 2	2,35 a	75,9	10,4	31,2	6,04 a	38,7 b	2801 b	39,9 b	1119 b
Poraité	2,23 b	76,0	10,5	29,4	5,62 b	46,3 b	3051 b	40,6 a	1238 b
NuOpal	2,10 b	68,5	10,1	30,2	5,59 b	44,6 b	2948 b	36,9 c	1083 b
Deltapine 402	1,98 b	68,3	9,4	29,3	5,03 c	51,8 a	3000 b	39,1 b	1171 b
Deltapine 1238	2,10 b	74,3	9,4	28,9	5,29 b	45,4 b	2841 b	40,0 b	1135 b
Guaraní	2,36 a	79,9	9,6	32,5	5,80 a	50,5 a	3347 a	41,6 a	1369 a
Guazuncho 4	2,18 b	75,5	10,0	31,8	5,66 b	47,1 b	3093 b	38,8 b	1198 b
Porá 3	2,44 a	81,0	9,8	32,9	5,95 a	44,5 b	3090 b	41,1 a	1254 b
SP 41255	2,01 b	69,9	9,1	28,7	4,82 c	53,7 a	2950 b	41,7 a	1228 b
SP 6565	2,20 b	74,0	10,4	29,9	5,54 b	52,2 a	3372 a	39,5 b	1330 a

FSI	2,14 b	69,0 b	9,8	31,5	5,49 b	50,0 a	3150 a	38,9 b	1231 a
FSII	2,20 a	76,2 a	10,3	29,5	5,64 a	42,7 b	2877 b	39,5 a	1127 b
V	***	ns	***	***	***	***	***	***	***
FS	**	***	***	***	**	***	***	***	***
V*FS	ns	ns	*	*	ns	ns	ns	ns	ns
$\sigma^2_{\text{residual}}$	0,04	9,18	0,83	4,84	0,17	65,6	189800	1,0	30878
$\sigma^2_{\text{campana}}$	0,02	65,61	0,17	4,88	0,32	154,0	1332039	0,04	197571
$\sigma^2_{\text{bloque(campana)}}$	4,0 <sup>e-04</sup>	0,62	9,0 <sup>e-10</sup>	0,12	3,6 <sup>e-03</sup>	0,8	2418	4,0 <sup>e-1</sup>	271

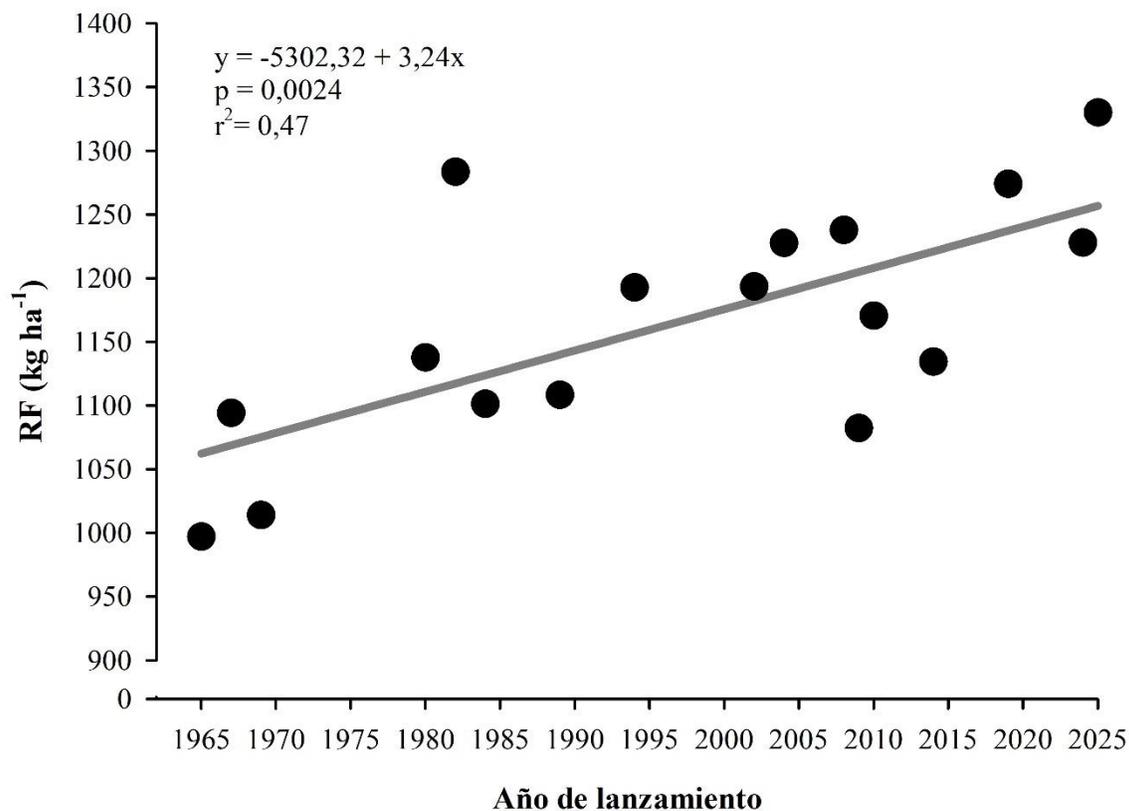
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ) según DGC.

#### 1.4.2 Progreso genético de los componentes de rendimiento

Como fue mencionado en la introducción, la ganancia genética o el progreso genético es la adquisición o aumento de caracteres favorables, obtenidos debido a la aplicación de métodos de mejoramiento genético de una población, a través de la variación hereditaria en el tiempo. En este apartado se presentan los valores de ganancia genética para el rendimiento de fibra de algodón y todos sus componentes.

##### 1.4.2.1 Rendimiento de fibra

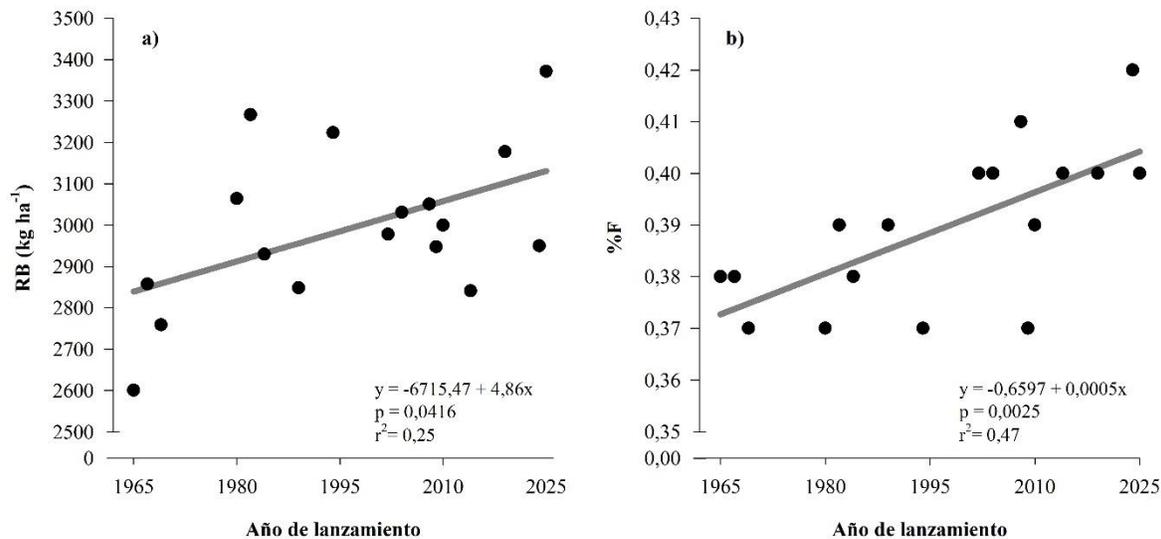
Los resultados de rendimiento de fibra y su relación con el año de lanzamiento se pueden observar en la Figura 12. Con los cultivares analizados en el experimento realizado, se pudo determinar que el progreso genético de rendimiento de fibra en el cultivo de algodón en Argentina fue de 3,24 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-2</sup> entre los años 1965 y la actualidad (Figura 12). Este valor representa un incremento de fibra, debido al mejoramiento genético en 50 años, de 194,4 kg ha<sup>-1</sup> o lo que es similar, un 0,47% de incremento de rendimiento de fibra por año. Por otro lado, se puede distinguir que, la pendiente es significativa ( $p = 0,0024$ ) y presentó un coeficiente de determinación de 0,47. Del mismo modo, es importante también mencionar que, si las variedades de 1982 (Porá) y 2009 (NuOpal) que presentaron rendimientos superiores e inferiores a los esperados, son excluidas del análisis, se obtendría una regresión con un valor de ganancia genética de 3,91 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-2</sup>, con un  $p < 0,0001$  y un  $r^2=0,76$ .



**Figura 12.** Tasa estimada de progreso genético para rendimiento de fibra (RF), en cultivares de algodón en 4 ambientes, desde 1965 hasta la actualidad.

#### 1.4.2.2 Rendimiento bruto y porcentaje de fibra

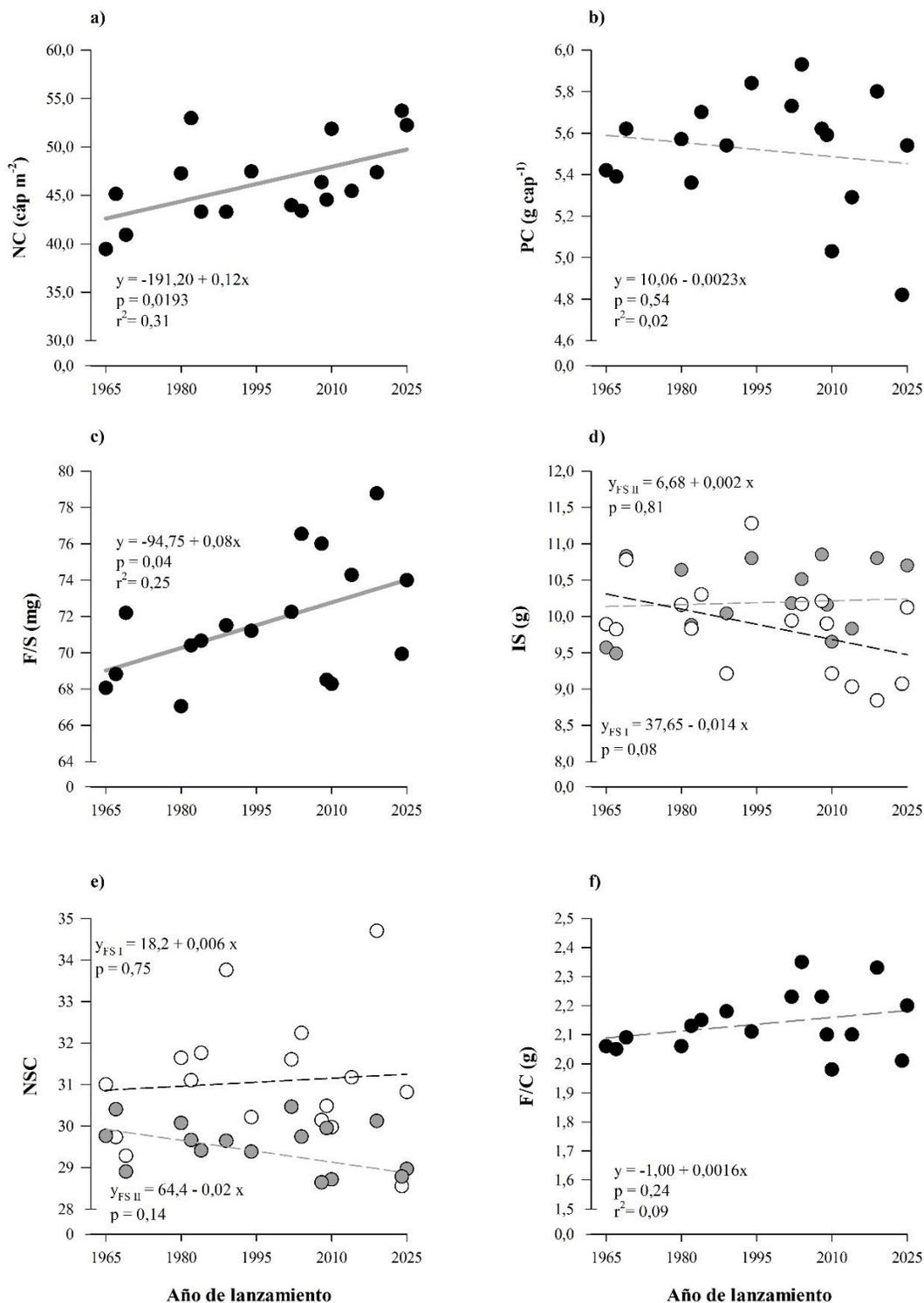
Los principales componentes del rendimiento de fibra son, por un lado, el rendimiento bruto (RB) y, por otro lado, el porcentaje de fibra o desmote (%F). Incrementando cualquiera de los nombrados y sin que ese aumento produzca una reducción en el otro componente, se produciría un aumento en el rendimiento de fibra obtenido. Al analizar la Figura 13, se puede notar que tanto RB como %F tuvieron tasas de progreso genético significativas a lo largo de los años y en las variedades evaluadas. Por un lado, se puede observar que el RB se incrementó en una tasa de  $4,86 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-2}$  (Figura 13a), mientras que, %F aumentó en  $0,05\% \text{ año}^{-1}$  (Figura 13b). Ambas pendientes fueron significativas, siendo %F la regresión que presentó una mayor significancia ( $p = 0,0025$ ) y  $r^2$  (0,47) que RB ( $p = 0,0416$  y  $r^2 = 0,25$ ).



**Figura 13.** Tasas estimadas de progreso genético para: a) rendimiento bruto (RB) y b) porcentaje de fibra (%F) en cultivares de algodón, en 4 ambientes, desde 1965 hasta la actualidad.

#### 1.4.2.3 Otros componentes de rendimiento

En el análisis de la Figura 14 se puede observar que tanto NC ( $p = 0,0193$ ) como F/S ( $p = 0,04$ ) presentaron incrementos significativos entre los años de lanzamiento evaluados. En este sentido, se pudo apreciar que NC presentó un incremento significativo de  $0,12 \text{ NC m}^{-2} \text{ año}^{-1}$  (Figura 14a), lo que representa un aumento de  $7,2 \text{ cápsulas m}^{-2}$  en los años de evaluación. Por otro lado, el incremento de F/S fue de  $0,08 \text{ mg año}^{-1}$ , lo que representa un incremento de  $4,8 \text{ mg semilla}^{-1}$  en el periodo analizado (Figura 14b). Por otro lado, aunque sin ser significativas, se observan tendencias negativas y positivas para las variables PC (Figura 14b) y F/C (Figura 14e) según AL, respectivamente. Asimismo, aquellos componentes que registraron interacciones entre los factores analizados registraron tasas de progreso genético diferenciales dependiendo de la FS utilizada. Al examinar los resultados de estos, se pudo observar que IS, por un lado, presentó una tendencia negativa en FSI y una recta cercana a la constante para FSII (Figura 14d). Esto demuestra que, existe una tendencia a que las variedades modernas tengan menores pesos de semilla en FSI. Por otro lado, la variable NSC presentó un comportamiento opuesto al reportado para IS, debido a que, presentó una tendencia negativa para FSII y una recta cercana a la constante para FSI (Figura 14e).



**Figura 14.** Tasas estimadas de progreso genético para cultivares de algodón, en 4 ambientes, desde 1965 hasta la actualidad: a) número de cápsulas  $m^{-2}$  (NC), b) peso cápsula $^{-1}$  (PC), c) g de fibra semilla $^{-1}$  (F/S), d) índice de semilla, en g (IS), e) número de semilla cápsula $^{-1}$  (NSC) y f) g de fibra cápsula $^{-1}$  (F/C). Líneas solidas representan regresiones significativas. En los gráficos d) y e) se presentó interacción entre FS y AL, por lo tanto, los puntos y líneas grises corresponden a FS tardía, mientras que, puntos blancos y línea punteada negra corresponden a FS temprana.

### 1.4.3 Componentes de la varianza

En la Tabla 9 se pueden observar los resultados del estudio de los componentes de rendimiento y factores de variación realizados. La componente ambiental de la varianza total, fue la que registró un mayor porcentaje en todos los componentes de rendimiento, con excepción de %F, en el cual la componente genética de la varianza (variedad) fue que la presentó mayor porcentaje (Tabla 9).

Del análisis de los datos, surge la importancia de remarcar la notable participación de la componente ambiental en la mayoría de los componentes de rendimiento del cultivo de algodón, llegando incluso a un porcentaje mayor al 80% en alguno de ellos. En este sentido, tanto RB como RF presentaron altos valores, sugiriendo que el ambiente es el mayor determinante del rendimiento en el cultivo de algodón. Al contrario de lo analizado para rendimiento, se pudo observar que %F presentó una mayor participación del componente genético, seguido por F/C, PC e IS (Tabla 9). Por otro lado, se observó que, la interacción entre A\*V presentó bajos porcentajes en el experimento, esto explicaría que los componentes de rendimiento analizados no presentaron interacción o comportamientos distintos entre los ambientes y con los cultivares utilizados. Por último, se observó que la varianza residual o del error participó en un porcentaje menor al 15% en la mayoría de los componentes, a excepción de NSC, F/C, NC y PC (Tabla 9).

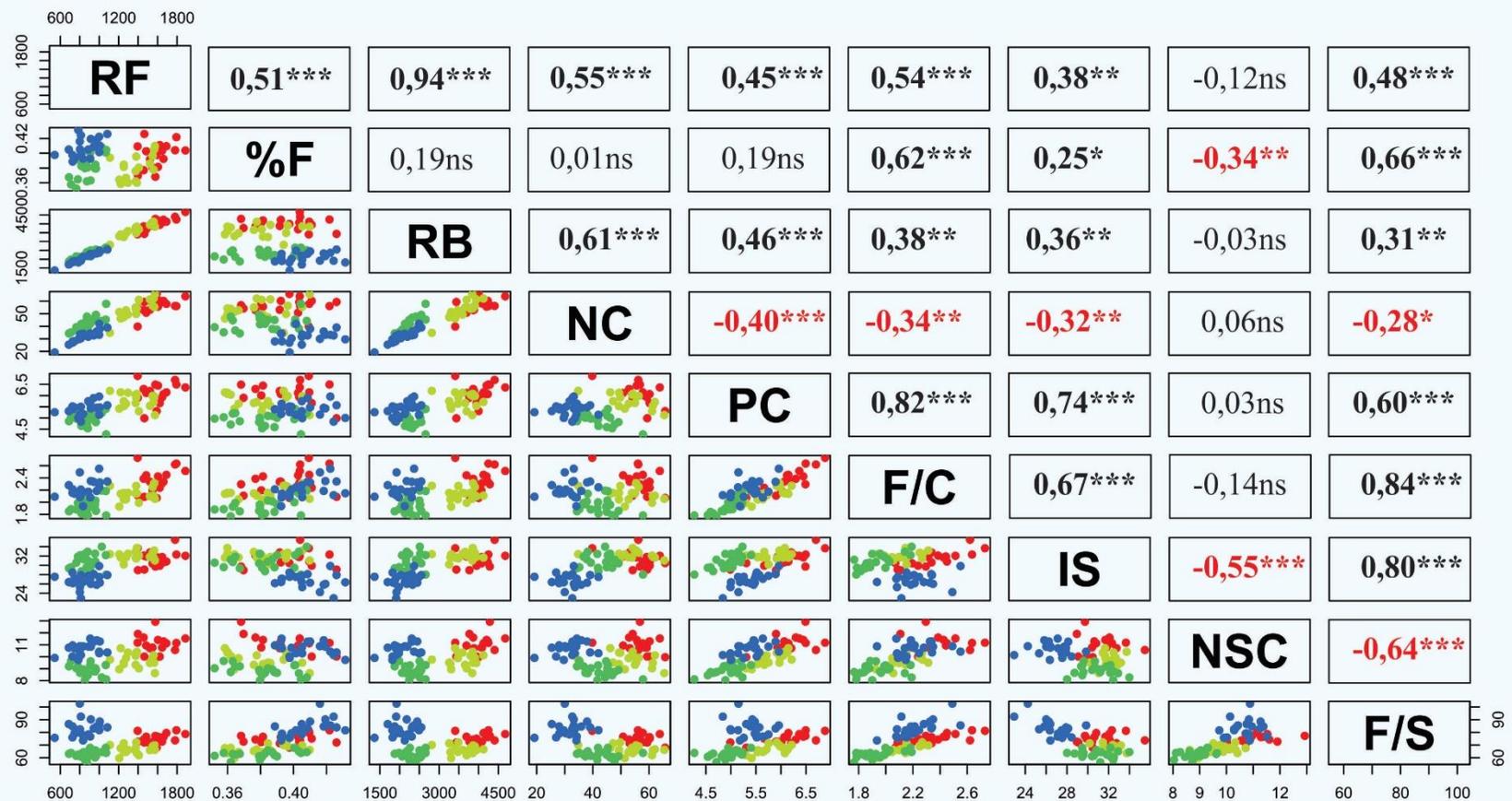
**Tabla 9.** Componentes de varianza (como porcentaje de la varianza total) asociado al ambiente (A), variedad (V), interacción entre estos factores (A \* V), el bloque dentro del ambiente y la varianza del error o residual. Referencias: F/C: fibra cápsula<sup>-1</sup>; F/S: fibra semilla<sup>-1</sup>; IS: índice de semilla; NSC: número de semilla cápsula<sup>-1</sup>; PC: peso cápsula<sup>-1</sup>; NC: número de cápsula m<sup>-2</sup>; RB: rendimiento bruto; %F: porcentaje de fibra; RF: rendimiento de fibra

	F/S	IS	NSC	F/C	PC	NC	RB	%F	RF
Ambiente	75,1	68,3	55,4	47,1	56,0	61,6	80,5	34,9	78,4
Variedad	4,4	14,7	7,9	17,6	15,4	7,1	2,3	45,8	4,3
A*V	7,8	5,1	2,8	5,9	3,2	3,0	1,2	4,8	1,3
Bloque (ambiente)	1,0	0,5	1,5	2,9	1,3	1,0	1,1	0,0	1,0
Residual	11,7	11,4	32,4	26,5	24,1	27,3	15,0	14,6	15,0

### 1.4.4 Correlación entre componentes

Las mediciones de correlación entre los componentes de rendimiento son fundamentales para examinar las relaciones que existen entre ellos y, del mismo modo, cuantificar la magnitud de la asociación entre estas variables. Los resultados de estos análisis se presentan en la

Figura 15, donde se detalla las relaciones de los componentes de rendimiento estudiados durante el experimento. Es importante mencionar que, en la Figura 15, están presentes los datos promedios de los cuatro bloques de todas las variedades en los 4 ambientes evaluados. Como síntesis de la misma, en el experimento RF registró correlaciones positivas con %F, RB, NC, PC, F/C, IS y F/S. Es necesario mencionar que, no solamente es importante conocer los componentes que presentaron correlación entre sí y con RF, sino también conocer la magnitud de las asociaciones. Esto indica que, por ejemplo, RB presentó una mayor relación que %F, con respecto a RF. Asimismo, NC presentó mayor asociación tanto con RB como con RF que PC. También, se pudo observar que los componentes de rendimiento como F/C, NSC, IS y F/S, tuvieron relevancia tanto para el aumento del %F como del RB y RF, y que todos los componentes de rendimiento presentaron distribuciones normales y correlaciones significativas entre ellos (Figura 15).



**Figura 15.** Panel de correlaciones parciales entre rendimiento de fibra (RF) y sus componentes de rendimiento: porcentaje de fibra (%F), rendimiento bruto (RB), número de cápsulas  $m^{-2}$  (NC), peso promedio cápsula $^{-1}$  (PC), fibra cápsula $^{-1}$  (F/C), índice de semilla (IS), número de semillas cápsula $^{-1}$  (NSC) y fibra semilla $^{-1}$  (F/S). En el triángulo superior derecho se encuentran los valores de las correlaciones de Pearson y su significancia, siendo \*:  $p < 0,05$ ; \*\*:  $p < 0,01$  y \*\*\*:  $p < 0,001$ . El triángulo inferior izquierdo muestra la distribución entre cada una de las variables analizadas de a pares. Cada punto representa el promedio de una variedad en un ambiente siendo los puntos rojos (FSI) y amarillos (FSII) la campaña I y los puntos verdes (FSI) y azules (FSII) la campaña II.

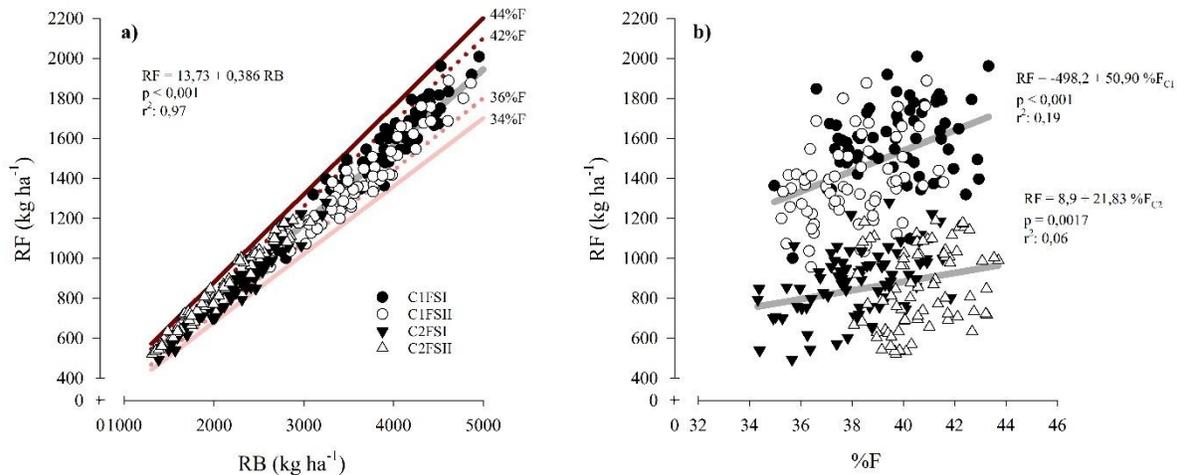
### *1.4.5 Relación entre componentes*

En este apartado se examina con mayor detalle la relación existente entre los componentes de rendimiento estudiados durante los experimentos, separando las regresiones según el ambiente explorado. Es importante mencionar que, a comparación de lo observado en el apartado anterior, el objetivo de esta sección es interpretar de una mejor manera el comportamiento de las variables, realizando regresiones entre las mismas y evaluando tanto su relación como la magnitud.

#### *1.4.5.1 Rendimiento de fibra (RF), rendimiento bruto (RB) y % de fibra (%F)*

Como se mencionó anteriormente, RB y %F son los principales componentes de rendimiento de RF. En la Figura 169 se pueden observar las relaciones que existieron entre estos componentes y RF, para todos los ambientes evaluados. En primer lugar, se puede observar notoriamente que, RB es el componente que mejor explicó la variación de RF, siendo la relación lineal y de gran asociación. Además, en la Figura 16 se puede notar que la primera campaña (C1) presentó mayores RF, tanto para fechas de siembra temprana (FSI) como tardías (FSII). La regresión lineal entre estos componentes, para todos los ambientes, fue significativa e indica que por cada aumento de  $1 \text{ kg ha}^{-1}$  de RB, se produjo un aumento de  $0,386 \text{ kg ha}^{-1}$  de RF.

Por otro lado, la relación entre %F y RF presentó una clara separación entre las campañas, presentando C1 mayores valores de rendimiento y C2 valores más bajos. Asimismo, si se observa la relación entre las variables y se realiza una partición de las regresiones, según la campaña durante la cual se llevó a cabo el experimento, se obtienen dos regresiones significativas y positivas entre %F y RF, tanto para C1 como para C2. Asimismo, se puede observar que se obtiene un mayor ajuste y significancia de la regresión en la campaña en la cual se registró un mayor RF (C1).



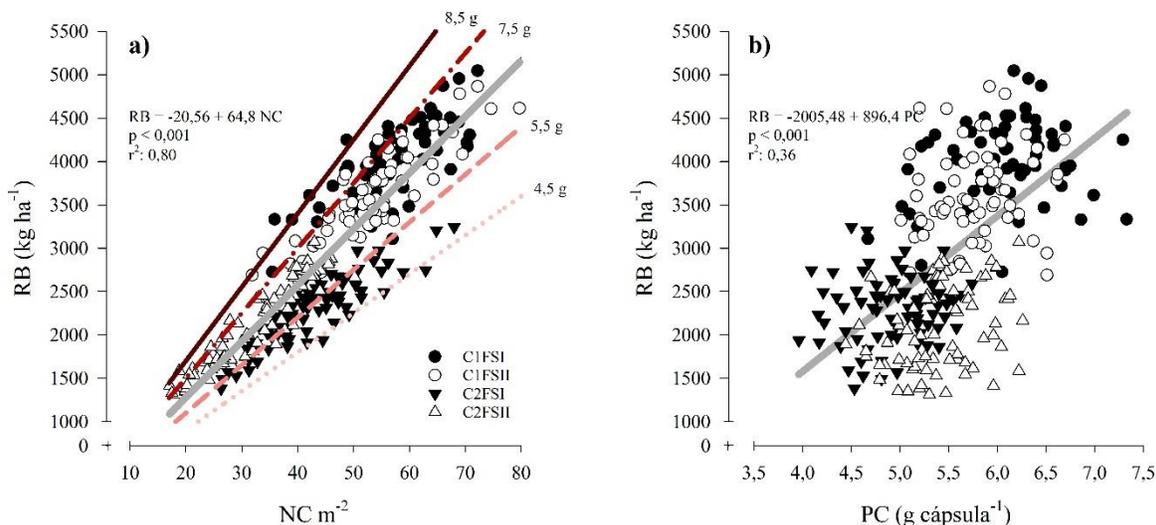
**Figura 16.** Relaciones entre variables. a) Relación entre rendimiento bruto (RB en  $\text{kg ha}^{-1}$ ) y rendimiento de fibra (RF en  $\text{kg ha}^{-1}$ ) y b) relación entre porcentaje de fibra (%F) y RF. Círculos representan los datos de la primera campaña (C1) y triángulos representan los datos de la segunda campaña de ensayos (C2). Por su parte, los símbolos rellenos de negro son las fechas de siembra tempranas (FSI), mientras que los símbolos blancos son fechas de siembra tardías (FSII). Líneas sólidas grises indican la regresión lineal entre las variables. Por su parte las líneas cortadas corresponden a C2, mientras que las líneas punteadas a C1. Líneas en tonos rojizos indican diferentes %F para los rendimientos dados.

#### 1.4.5.2 Rendimiento bruto (RB), número de cápsulas $\text{m}^{-2}$ (NC) y peso promedio capsula<sup>-1</sup> (PC)

En la Figura 17 se puede notar que, entre las variables analizadas, NC presentó un mejor ajuste y explicó en mayor parte la variación del RB con todos los datos del experimento. La regresión lineal entre estos componentes fue significativa y arrojó que, por cada aumento de NC, RB aumentó en  $64,8 \text{ kg ha}^{-1}$  (Figura 17a). Asimismo, se observó que, en general, los cultivares presentaron mayores NC en la primera campaña (C1), tanto en FSI como en FSII. Por otro lado, PC al igual que NC, presentó una regresión lineal positiva y significativa con RB, explicando una menor parte de la variación de este último componente. También, se observó que el aumento de  $0,1 \text{ g cápsula}^{-1}$  produjo un incremento de  $89,64 \text{ kg ha}^{-1}$  en RB (Figura 17b). Además, al igual que para el componente anterior, C1 registró en promedio PC superiores que C2, no obstante, existió una diferencia entre FS, presentando FSI y FSII superiores PC para C1 y C2, respectivamente.

Por último, es importante mencionar que, los mayores RB registrados en C1, se pueden atribuir a que los cultivares presentaron un mayor NC y que, las cápsulas presentaron mayores pesos (PC). Por otro lado, en la Figura 17a, se puede observar que ante similares NC, las variedades en C1 registraron mayores RB debido al aumento de PC. Por otro lado, si

se observa la Figura 17b, se puede notar que ante iguales PC, C1 presentó mayores RB debido a un aumento de NC.

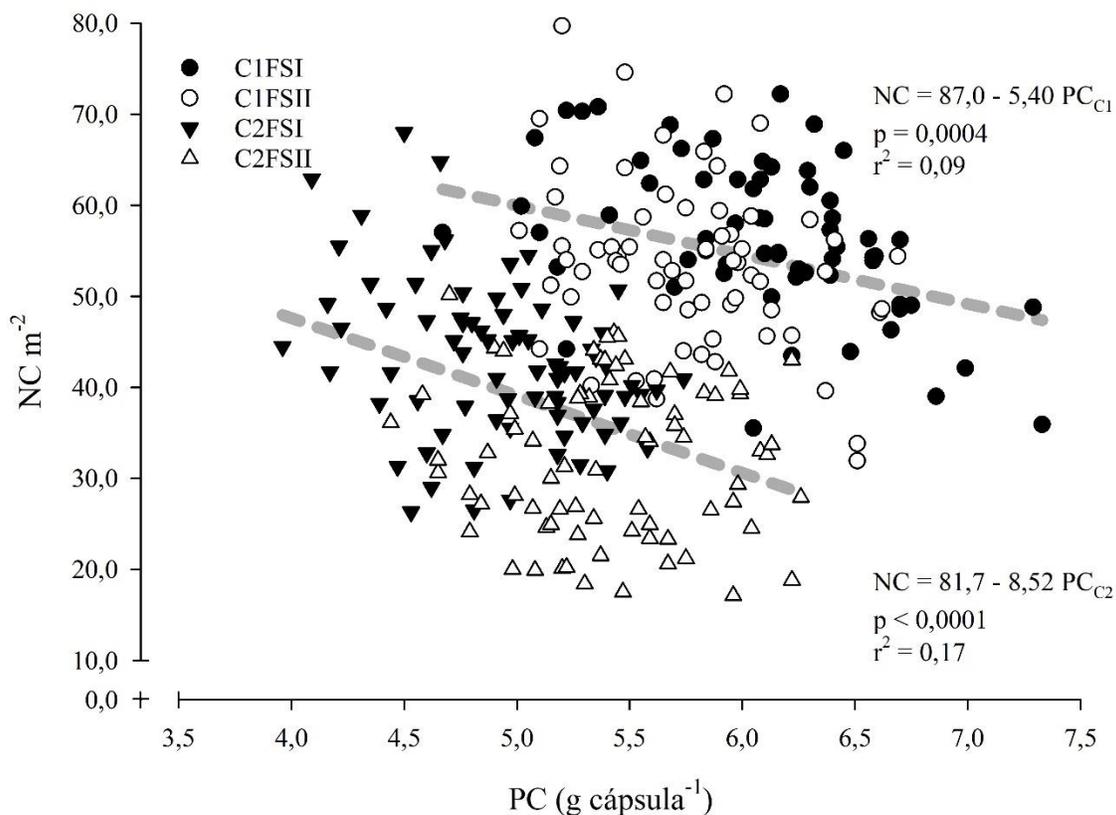


**Figura 17.** Regresión lineal entre: a) número de cápsulas  $m^{-2}$  (NC) y rendimiento bruto (RB en  $kg\ ha^{-1}$ ) y b) peso promedio cápsula $^{-1}$  (PC) y RB. Círculos representan los datos de la primera campaña (C1) y triángulos representan los datos de la segunda campaña de ensayos (C2). Por su parte, los símbolos rellenos de negro son las fechas de siembra tempranas (FSI), mientras que los símbolos blancos son fechas de siembra tardías (FSII). Líneas sólidas grises indican la regresión lineal entre las variables. Líneas en tonos rojizos indican diferentes PC para los NC y RB dados.

#### 1.4.5.3 Peso promedio cápsula $^{-1}$ (PC) y número de cápsula $m^{-2}$ (NC)

La relación entre PC y NC, los cuales fueron los principales componentes de RB, se puede observar en la Figura 18. Si tenemos en cuenta el conjunto de los datos, como en el apartado anterior (1.4.3), la correlación entre las variables fue negativa (-0,40). No obstante, con el objeto de conocer mejor la relación entre estas importantes variables se representa en la Figura 18 la distribución de cada uno de los puntos en los distintos ambientes. Se puede observar que, al igual que la relación entre RF y %F, se obtuvieron dos regresiones significativas y negativas, dependiendo de la campaña en estudio (Figura 18).

Además, con los datos de las pendientes de las regresiones se puede indicar que, en la segunda campaña (C2), PC disminuyó en mayor proporción al aumentar NC que en la primera campaña (C1). Por último, los datos presentados muestran que, ante iguales NC, los cultivares presentaron menores PC en C2 y esto provocó que se registraran menores RB, en ambas fechas de siembra.



**Figura 18.** Relación lineal entre peso promedio cápsula<sup>-1</sup> (PC) y número de cápsulas m<sup>-2</sup> (NC). Círculos representan los datos de la primera campaña (C1) y triángulos representan los datos de la segunda campaña de ensayos (C2). Por su parte, los símbolos rellenos de negro son las fechas de siembra tempranas (FSI), mientras que los símbolos blancos son fechas de siembra tardías (FSII). Líneas grises indican la regresión lineal entre las variables para C1 (línea punteada) y C2 (línea cortada).

#### 1.4.5.4 Porcentaje de fibra (%F), fibra por cápsula (F/C), fibra por semilla (F/S), número de semillas por cápsula (NSC) e índice de semilla (IS).

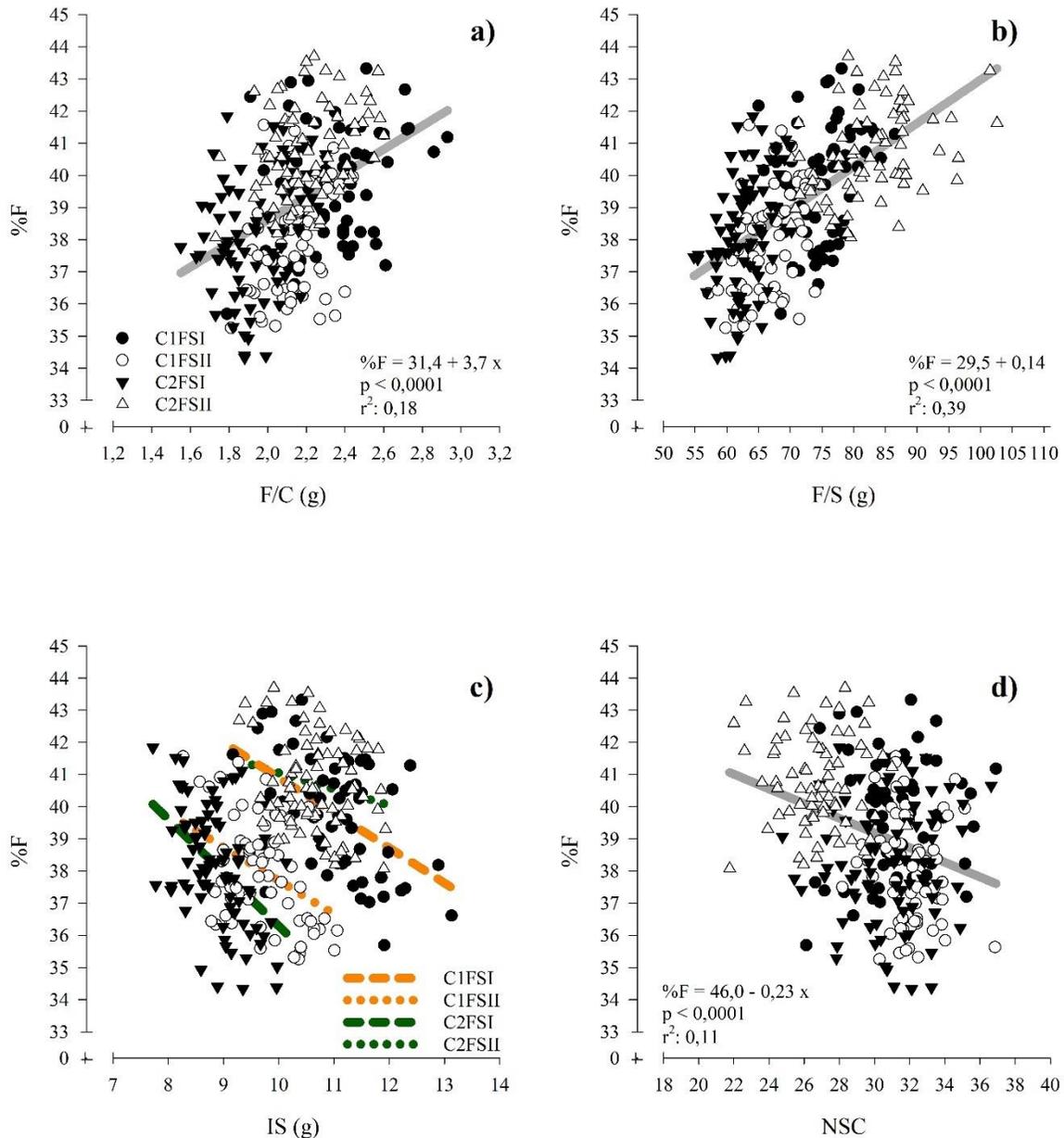
En este apartado se realiza un análisis de las principales variables que participan en la definición de %F. Como se mencionó anteriormente, es importante definir no solo la relación que existe entre las variables, sino también su magnitud. En la Figura 19 se puede observar la relación entre %F y F/C, F/S, NSC e IS.

En primer lugar, se pudo observar que %F presentó una regresión lineal positiva con F/C para todos los ambientes evaluados (Figura 19a). En segundo lugar, la componente F/S registró del mismo modo una regresión positiva con %F (Figura 19b). En tercer lugar, se presenta la relación que se registró entre IS y %F, donde cabe recordar que, si observamos

en el apartado anterior (Figura 15), se observaba una correlación significativa y positiva entre estos componentes. Sin embargo, al observar los datos de cada ambiente separado en la Figura 19c, se puede notar que hay una tendencia negativa entre las variables. Para comprobar esta tendencia se realizaron regresiones lineales entre las variables, particionando los datos según el ambiente explorado. Se obtuvieron regresiones significativas y negativas para todos los ambientes explorados siendo las mismas:

- %F:  $51,8 - 1,1 \cdot IS$  ( $p < 0,0001$  y  $r^2: 0,25$ ) para C1FSI.
- %F:  $48,1 - 1,0 \cdot IS$  ( $p = 0,0008$  y  $r^2: 0,16$ ) para C1FSII.
- %F:  $52,9 - 1,7 \cdot IS$  ( $p < 0,0001$  y  $r^2: 0,23$ ) para C2FSI.
- %F:  $46,1 - 0,5 \cdot IS$  ( $p = 0,05$  y  $r^2: 0,05$ ) para C2FSII.

Luego del análisis de las regresiones se puede expresar que aquellos cultivares con mayor tamaño de semilla presentaron menores %F y que esta relación fue más acentuada para las fechas de siembra tempranas (FSI) en ambas campañas. Por último, en la Figura 19d, se puede observar el resultado de la relación entre NSC y %F. En estas variables se observó una regresión significativa, lineal y negativa para todos los ambientes.



**Figura 19.** Regresión lineal entre: a) fibra cápsula<sup>-1</sup> (F/C) y porcentaje de fibra (%F); b) fibra semilla<sup>-1</sup> (F/S) y %F; c) índice de semilla (IS) y %F y d) número de semillas capsula<sup>-1</sup> (NSC) y %F. Círculos representan los datos de la primera campaña (C1) y triángulos representan los datos de la segunda campaña de ensayos (C2). Por su parte, los símbolos rellenos de negro son las fechas de siembra tempranas (FSI), mientras que los símbolos blancos son fechas de siembra tardías (FSII). Líneas sólidas grises indican regresión lineal, en c) líneas cortadas son FSI para C1 (naranja) y C2 (verde); d) línea cortada (FSII) y línea punteada (FSI).

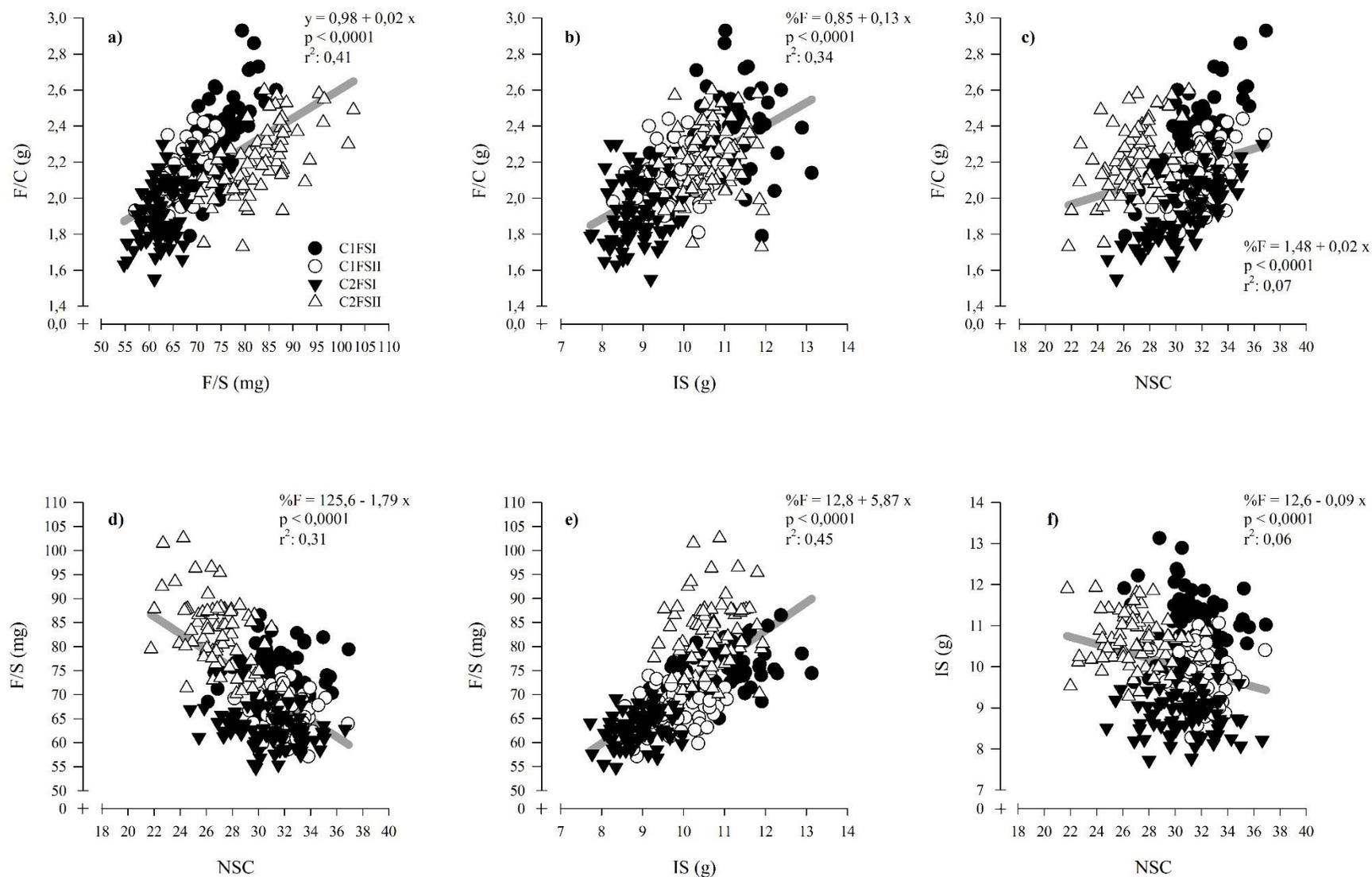
#### 1.4.5.5 Fibra cápsula<sup>-1</sup> (F/C), índice de semilla (IS), número de semilla cápsula<sup>-1</sup> (NSC) y fibra semilla<sup>-1</sup> (F/S)

Como vimos en el apartado anterior, F/C, IS, NSC y F/S explicaron la mayor parte de la variación del %F durante el experimento. Además de la correlación con %F, resulta útil conocer la relación que existe entre estas variables y la variabilidad que se registró durante los ensayos. Por tal motivo, la Figura 20 presenta las regresiones entre los componentes de rendimiento mencionados.

El primer componente analizado fue el peso de fibra promedio por cada una de las cápsulas (F/C) registrando la misma relaciones lineales y positivas tanto con F/S (Figura 20a) como con IS (Figura 20b) y NSC (Figura 20c). Asimismo, se pudo observar que la combinación de componentes de rendimiento que presentó el mayor  $r^2$  fue F/S, seguido por IS y NSC. Esto sugiere que el componente F/S es el que mejor explicó la variación de F/C.

Por otro lado, al analizar los componentes del peso de fibra generado por semilla (F/S), se pudo observar un comportamiento diferencial entre las variables. Por un lado, la regresión entre F/S y NSC resultó en una relación negativa y significativa (Figura 20d). Por otro lado, en la relación entre F/S e IS se observó una regresión positiva y significativa (Figura 20e).

Por último, al estudiar la relación entre el tamaño (IS) y el número de semillas por capsula (NSC) se pudo notar que, se registró una regresión negativa (Figura 20e).



**Figura 20.** Regresión lineal entre: a) fibra cápsula<sup>-1</sup> (F/C) y fibra semilla<sup>-1</sup> (F/S); b) F/C e índice de semilla (IS); c) F/C y número de semilla cápsula<sup>-1</sup> (NSC); d) F/S y NSC; e) F/S e IS y f) IS y NSC. Círculos representan los datos de la primera campaña (C1) y triángulos representan los datos de la segunda campaña de ensayos (C2). Por su parte, los símbolos rellenos de negro son las fechas de siembra tempranas (FSI), mientras que los símbolos blancos son fechas de siembra tardías (FSII). Línea llena indican regresión lineal para todos los ambientes

## 1.5 Discusión

Para cumplir con los objetivos propuestos en la presente tesis, se realizó un experimento donde se evaluaron cultivares con diferentes años de lanzamiento, durante dos campañas consecutivas y en dos fechas de siembra por campaña. Este capítulo estuvo abocado a analizar las diferencias entre las variedades y fechas de siembra utilizadas y su efecto sobre el rendimiento de fibra y sus componentes. Además, es importante mencionar que es el primer trabajo que se realiza en Argentina para el cultivo de algodón, donde se permite explorar las variaciones entre las variedades utilizadas en los últimos 50 años, cuantificar las tasas de progreso genético, evaluar las diferencias que se registraron entre los distintos ambientes y estudiar las relaciones registradas entre los componentes de rendimiento.

### *1.5.1 Análisis de la varianza de los componentes de rendimiento de algodón*

En el presente capítulo se pudo obtener la información necesaria para determinar las diferencias entre los cultivares y compararlos tanto entre variedades como entre las fechas de siembra utilizadas. Es importante mencionar que se observaron diferencias significativas tanto entre variedades como entre las fechas de siembra evaluadas, en todos los componentes de rendimiento cuantificados. Valores similares a los registrados en el experimento fueron informados para: F/C (Bayles et al., 2005), F/S (Culp y Green, 1992; Pettigrew et al., 2013), IS (Bayles et al., 2005; Bridge et al., 1971; Campbell et al., 2011; Culp y Green, 1992; Schwartz y Smith, 2008), NSC (Culp y Green, 1992; Pettigrew et al., 2013; Schwartz y Smith, 2008), PC (Bridge et al., 1971; Campbell et al., 2011; Conaty y Constable, 2020; Culp y Green, 1992; Pettigrew, 1994; Schwartz y Smith, 2008; Zhang et al., 2019), NC (Campbell et al., 2011; Conaty y Constable, 2020; Culp y Green, 1992; Kilby et al., 2013; Pettigrew, 1994; Wells y Meredith, 1984c; Yang et al., 2018), RB (Mondino, 2000; Scarpin et al., 2018b; Winkler et al., 2018), %F (Bridge et al., 1971; Campbell et al., 2011; Conaty y Constable, 2020; Culp y Green, 1992; Iqbal et al., 2005; Pettigrew et al., 2013; Schwartz y Smith, 2008; Yang et al., 2018; Zhang et al., 2019) y RF (Bridge et al., 1971; Campbell et al., 2011; Conaty y Constable, 2020; Culp y Green, 1992; Iqbal et al., 2005; Meredith et al., 1997; Pettigrew et al., 2013; Schwartz y Smith, 2008; Wells y Meredith, 1984c; Yang et al., 2018; Zhang et al., 2019). Estos resultados indican y coinciden con los anteriormente citados

en que, tanto el rendimiento de fibra a obtener como el nivel de sus componentes van a depender, tanto de la variedad como de la fecha de siembra seleccionadas.

Entre los cultivares, en términos de rendimiento y sus componentes, se destacaron las variedades SP 6565, Guaraní, SP 41255 y Porá 3, registrando los valores más altos en las variables analizadas. Por otro lado, tanto Deltapine 402 como Stoneville 508 y Oro Blanco II presentaron los menores registros para las mismas variables. Con respecto a las fechas de siembra, se pudo observar mayores valores de rendimiento y sus componentes en la fecha de siembra temprana, no obstante, las variables de porcentaje de fibra y peso promedio por capullo, junto con sus principales componentes (F/S, F/C e IS) registraron mayores valores en fecha de siembra tardías. Estas diferencias entre las fechas de siembra serán discutidas con mayor profundidad en el capítulo 3, que analizará las condiciones ambientales ocurridas durante los momentos críticos de definición de los componentes ecofisiológicos y de rendimiento.

Por otro lado, es importante mencionar que el RF promedio registrado por todos los cultivares, en todos los ambientes evaluados, fue de 1135 kg ha<sup>-1</sup>. Este valor se encuentra por encima del promedio nacional, el cual no supera los 750 kg ha<sup>-1</sup> de fibra (MAGYP, 2020). No obstante, es importante tener en cuenta que el experimento se realizó en condiciones potenciales de producción. Además, una de las diferencias que existe entre los datos promedios del país con los experimentos realizados, es el %F. Para esto hay que tener en cuenta que la cosecha de los ensayos se realizó de manera manual y que el proceso de desmote se realizó a través de una desmotadora de tipo experimental. Ensayos similares a los realizados en condiciones experimentales en el país mostraron resultados similares a los alcanzados en el experimento (Mondino, 2000; Paytas y Tarrago, 2011; Tcach y Paytas, 2020) indicando que dentro del país existe una importante brecha para mejorar el promedio nacional de rendimiento de fibra.

### *1.5.2 Progreso genético de algodón en Argentina*

En este punto es importante remarcar que, según Royo et al. (2007), el objetivo general del programa de mejoramiento de INTA es obtener y promover la mejora en rendimiento y calidad de fibra de algodón, adaptado a las diferentes regiones donde se lo cultiva en el país. Sumado a esto, los objetivos específicos del mismo son: mejorar el rendimiento bruto,

aumentar el porcentaje de fibra, mejorar el perfil de esta, incrementando la resistencia y el largo de su fibra, manteniendo el micronaire en valores desde 3.8 a 4.2, mantener o acortar el ciclo del cultivo, sin disminuir el rendimiento potencial, y tener resistencia varietal para todas o algunas de las siguientes enfermedades: enfermedad azul, bacteriosis (*Xanthomonas axonopodis* pv. *malvacearum*), fusariosis (*Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum*), ramulosis, verticillium (*Verticillium dahliae*) y manchas foliares (*Alternaria macrospora*). Este trabajo permitió la estimación de la tasa de progreso genético del programa de mejoramiento genético de INTA en el cultivo de algodón, tanto para el RF, como de todos sus componentes. Este incremento fue significativo para: RF, %F, RB, NC y F/S. El aumento de RF por hectárea debido al mejoramiento genético fue de 3,24 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-2</sup>, que significan un aumento de 0,47 % año<sup>-1</sup> y de 194,4 kg ha<sup>-1</sup> durante el periodo analizado. La comparación del incremento que fue registrado en los experimentos, con otros estudios similares realizados en el mundo se puede observar en la Tabla 4. En la misma vemos que, incrementos similares a los obtenidos en este trabajo fueron publicados por otros autores en países como: Estados Unidos (Bayles et al., 2005; Campbell et al., 2011; Zhang et al., 2019) y Camerún (Loison et al., 2016). Asimismo, las tasas de progreso genético observadas en la mayoría de los demás países quedaron por encima de las registradas en este ensayo. Para un periodo similar al analizado en este estudio, se destacan incrementos de 16,1 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-2</sup> en Australia (Conaty y Constable, 2020) y 14,2 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-2</sup> en China (Yang et al., 2018). Por otro lado, para compararlo con estudios realizados en la región, solo se cuenta con tres trabajos, donde dos de ellos realizaron las mediciones a través del método indirecto, obteniendo tasas de 16,1 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-2</sup> para Brasil (de Carvalho et al., 1997) y 12,1 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-2</sup> para Colombia (Aramendiz et al., 2010); mientras que en un reciente trabajo se utilizó el método directo de estimación de progreso genético para rendimiento de algodón y se cuantificó una tasa de 10,1 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-2</sup> para variedades utilizadas en Venezuela (Guzman Hernandez et al., 2021). Algunas razones que explicarían la baja tasa de progreso genético de algodón en el país podrían estar asociadas a la escasa disponibilidad de germoplasma comercial en el mercado, la discontinuidad de líneas de investigación y desarrollo, por diversos motivos, y la crisis que sufrió el sector algodonero a principios de los años 2000.

Por otro lado, en el presente estudio el incremento del rendimiento de fibra estuvo fundamentalmente explicado por un aumento significativo del RB de 4,86 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-2</sup>, y

también, de un aumento tanto del %F de  $0,05\% \text{ año}^{-1}$  como del NC de  $0,12 \text{ cápsula ha}^{-1} \text{ año}^{-2}$  y del peso de F/S de  $0,08 \text{ mg semilla}^{-1} \text{ año}^{-2}$ . La gran mayoría de los trabajos realizados en el mundo, concuerdan con los resultados del experimento, donde el aumento del porcentaje de fibra y/o el número de cápsulas por unidad de superficie fueron los principales mecanismos que condujeron a un aumento significativo del rendimiento de fibra a través del tiempo (Bridge et al., 1971; Conaty y Constable, 2020; Culp y Green, 1992; Schwartz y Smith, 2008; Wells y Meredith, 1984c; Yang et al., 2018; Zhang et al., 2005). Además, para la variable fibra semilla<sup>-1</sup> no existen muchos reportes, debido a la dificultad de su medición, no obstante, Culp y Green (1992) no encontraron progresos significativos en esta variable, mientras que Campbell y Jones (2005) informaron incrementos significativos para la misma variable a través del tiempo. Por otro lado, en el análisis de los cultivares utilizados en Argentina, no se observó que el incremento del número de cápsula produjera una disminución significativa en el peso promedio de las mismas o en el índice de semilla, como sí se registró en otros trabajos (Bridge et al., 1971; Culp y Green, 1992; Hoskinson y Stewart, 1977; Schwartz y Smith, 2008; Wells y Meredith, 1984c). Sin embargo, es importante mencionar en este punto que, en las regresiones obtenidas se observaron tendencias negativas para ambas variables, lo que podría significar que futuros incrementos tanto para el NC, como del %F, provoquen disminuciones significativas tanto para el PC como para el IS. Referido a esto, Zhang et al. (2019) sugirieron que los cultivares modernos al tener un menor peso promedio por cápsula, tienen la ventaja de sufrir menores pérdidas de rendimiento cuando una cápsula es abortada por cuestiones ambientales, fisiológicas o ataques de plagas. Por otro lado, es útil tener en cuenta que futuras ganancias adicionales en la variable %F pueden ser perjudiciales para el rendimiento del cultivo, ya que las disminuciones en el tamaño de la semilla acarrearán inconvenientes en el vigor de la plántula asociado a un mal establecimiento del cultivo, particularmente en condiciones de siembra y crecimiento subóptimas (Snider et al., 2016). Asimismo, entre los autores mencionados solo Bayles et al. (2005) fueron quienes observaron un aumento significativo del rendimiento a través de los años explicado por un incremento del PC y del IS.

También, otro de los resultados que se puede resaltar del experimento es que solo los componentes NSC e IS registraron interacciones entre el año de lanzamiento y la fecha de siembra. Esto indica que, tanto para el rendimiento como sus principales componentes, las

tasas de progreso genético fueron significativas independientemente de la fecha de siembra. Resultados similares fueron publicados por Wells y Meredith (1984c) quienes tampoco encontraron respuesta diferencial del progreso genético entre dos fechas de siembra para un estudio análogo en Estados Unidos. En nuestro estudio se observó que el NSC, por un lado, presentó tendencias negativas con el año de liberación para fecha de siembra tardías, mientras que, una recta cercana a una constante para fecha de siembra temprana. Contrariamente, el índice de semilla registró una tendencia negativa con año de lanzamiento para fecha de siembra temprana y no presentó relación para fecha de siembra tardía. Esta interacción podría haberse registrado debido a la correlación negativa que existe entre ambas variables y que será explorada con mayor detalle en otro apartado (1.5.4). Además, para NSC, los resultados reportados en la bibliografía tampoco encontraron tasas de progreso genético significativas a lo largo del tiempo (Culp y Green, 1992; Schwartz y Smith, 2008). Asimismo, si tenemos en cuenta todos los valores del experimento, sin particiones debido a las interacciones, se pudo observar que tanto NSC como IS presentaron una tendencia negativa con el año de lanzamiento en las variedades estudiadas. Esto coincide con los datos presentados por Schwartz y Smith (2008), quienes atribuyen estas tendencias a la disminución general del PC y el aumento del %F en los cultivares modernos. Por otra parte, en los experimentos realizados no se observaron incrementos o disminuciones significativas en el periodo de estudio para los demás componentes de rendimiento analizado. Para el componente F/C se pudo observar una tendencia positiva, pero que no llegó a ser significativa en el periodo estudiado, en cambio, Bayles et al. (2005) registraron un incremento significativo para 3 de los 4 ambientes donde realizaron el análisis para la misma variable.

Por último, un trabajo similar en el cultivo de soja en el país, presentó una tasa de progreso genético en rendimiento de  $43 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-2}$  o  $1,1 \% \text{ año}^{-1}$  en el periodo 1980–2015 (de Felipe et al., 2016). Al analizar las diferencias entre los cultivos se puede observar que, en soja, donde existe un mayor ingreso de variedades extranjeras o se cuenta con programas de mejoramiento privados, el incremento del rendimiento anual fue mayor, en cambio, en algodón, donde las variedades provienen de programas de mejoramiento exclusivos de INTA se observa un menor incremento anual. Algunas de las razones que podrían estar asociadas son: la importancia del cultivo en la superficie nacional y/o mundial, las políticas de

utilización de las variedades en el país y la inversión en los diferentes programas de mejoramiento, entre otras.

### *1.5.3 Componentes de la varianza*

Luego del análisis de los resultados, se pudo calcular los efectos separados, tanto del genotipo como del ambiente, y su interacción en los principales componentes de rendimiento. Con estos resultados se logró estimar el porcentaje de variabilidad atribuido a cada uno de los efectos antes mencionados. Se observaron importantes diferencias en los porcentajes de variabilidad atribuida a cada factor, donde la componente ambiental fue la que registró el mayor porcentaje para todas las variables evaluadas, con excepción del porcentaje de fibra, donde el componente genético representó el mayor porcentaje de variación.

Los resultados mencionados indican que el ambiente determina en mayor medida la variación, tanto del rendimiento como de sus principales componentes. Resultados similares fueron publicados por otros autores (Campbell et al., 2011; 2012; Meredith Jr et al., 2012; Snider et al., 2013), quienes reportaron una importante influencia del ambiente sobre el rendimiento de fibra en algodón (72–94% de la variabilidad en rendimiento explicada por el ambiente). Es importante mencionar que las prácticas de manejo agronómico son una de las variables que determinan el ambiente del cultivo, por esto toman trascendental relevancia en el algodón algunas prácticas de manejo, tales como la variación de la fecha de siembra, tasas y momentos de fertilización, la utilización de reguladores de crecimiento y el control de plagas, entre otros. Sumado a esto, Snider et al. (2013) definen que la estrecha base genética desde donde los cultivares modernos de algodón utilizados en Estados Unidos derivan, contribuyen a la gran dependencia de las variables relacionadas al rendimiento, según al ambiente en el cual son expuestas, algo que también podría quedar demostrado con los cultivares utilizados en Argentina.

Por otra parte, en el experimento realizado se observó que el porcentaje de fibra fue la variable donde el componente genético presentó una mayor participación (45,8%). Estos resultados coinciden con Snider et al. (2013) y Campbell y Jones (2005) quienes en un estudio similar determinaron un 51,5 y 57% de variación explicada por el componente genético, respectivamente.

La información relacionada a la interacción entre el ambiente y el genotipo, tanto para el rendimiento como para sus componentes, es de suma importancia para un programa de mejoramiento, debido a que las interacciones mencionadas definen la estabilidad y adaptabilidad de los cultivares en los distintos ambientes (Campbell y Jones, 2005), siendo las variedades que presentan mayores variaciones entre ellos, las que tienen menor estabilidad. En el experimento se pudo observar que la variación de este componente para RF fue de 1,3%, asimismo, el componente de rendimiento que presentó un mayor porcentaje de variación explicado por la interacción fue F/C (6,4%). Estos resultados no coinciden con los informados por Campbell et al. (2012) y Meredith Jr et al. (2012) quienes reportaron aportes de la interacción entre el ambiente y los cultivares de 19 y 8,4% para RF, respectivamente. Esta diferencia en los resultados se pudo deber a la cantidad de ambientes explorados, ya que los autores mencionados tuvieron en cuenta variaciones entre una mayor cantidad de ambientes, en cambio, en nuestro experimento solo se exploran cuatro ambientes, que si bien fueron diferentes, se realizaron en la misma localidad.

#### *1.5.4 Relación entre los componentes de rendimiento*

En este capítulo se logró encontrar diferencias significativas entre las distintas variedades y fechas de siembra utilizadas, además de obtener un análisis detallado de las relaciones que existieron entre los componentes de rendimiento. Los resultados indicaron que se presentaron correlaciones y regresiones significativas entre los componentes de rendimiento estudiados, registrando variaciones, tanto en el valor como en la magnitud de dichas relaciones. Conocer estas relaciones puede ser una herramienta de vital importancia para el programa de mejoramiento de algodón de INTA, debido a que nos permite considerar los componentes de rendimiento en los que se puede continuar ejerciendo mayor presión de selección, sin provocar disminuciones de otros componentes y que esto influya negativamente en el rendimiento final de fibra de algodón (Bechere et al., 2014; Board, 1987).

Teniendo en cuenta que las relaciones entre el RF y sus componentes son complejas, además de estar influenciadas, tanto por la genética como por el ambiente y su interacción (Worley et al., 1974), es importante destacar que se obtuvieron regresiones significativas entre RF y todos los componentes de rendimiento estudiados (con excepción del NSC). Con respecto a las relaciones entre el RF y sus principales componentes (RB y %F) estas fueron positivas y

significativas. Asimismo, es importante mencionar que el componente RB solo es mencionado en trabajos realizados en el país (Dileo et al., 2018a; Mondino, 2000; Tcach y Paytas, 2020), siendo el mismo muy poco utilizado en la bibliografía extranjera a excepción de algunos trabajos (Bozbek et al., 2006; Iqbal et al., 2020). A fines de resumir la información, RB es redundante cuando, tanto el RF y el %F son exhibidos. No obstante, en Argentina, para publicaciones en revistas de divulgación o comunicaciones para productores, puede que tenga una mayor importancia proporcionar la información del RB, antes que RF, debido a la forma de comercialización de algodón en el país.

Por otro lado, la relación positiva entre el %F y el RF fue documentado en otros trabajos (Campbell et al., 2012; Wells y Meredith, 1984c; Yang et al., 2018). También, en el presente estudio la relación entre estas variables fue dividida según la campaña en la cual se llevó a cabo el experimento, siendo la campaña donde se registró el mayor rendimiento de fibra la que mejor ajuste presentó. En este sentido, no existen estudios reportados que demuestren variaciones en la relación entre estas componentes según el RF obtenido.

Además, los resultados hallados en el experimento coinciden con varios trabajos (Bridge et al., 1971; Campbell et al., 2012; Culp y Green, 1992; Kilby et al., 2013; Wells y Meredith, 1984c) donde se observó que, la relación entre NC y RF presentó una regresión con un mayor ajuste que con el componente %F. Asimismo, la información registrada en el estudio, sostiene la hipótesis de Schwartz y Smith (2008), quienes postularon que el aumento del RF en algodón está influenciado principalmente por un aumento del NC, a través del aumento de la retención, y en segundo lugar y con menor influencia un aumento del %F. Igualmente, Wells y Meredith (1984c) demostraron que NC determinó de una mayor manera el RF, al compararlo con los componentes PC y %F, al igual que lo hallado en este experimento.

Otro de los resultados observados fue la relación significativamente negativa entre NC y PC. En este sentido, los resultados coinciden con Wells y Meredith (1984c), quienes explicaron esta relación negativa debido al hecho de que en las variedades modernas al tener un mayor NC se produce un aumento de la competencia de los fotosintatos entre las cápsulas, resultando en menores cantidades de carbohidratos disponibles por cápsula y consecuentemente menores PC. Además, los autores aportaron la idea de que “esta competencia ha resultado en selecciones involuntarias por parte de los mejoradores, en cultivares modernos con semillas más pequeñas, debido a que el aumento de la competencia

da como resultado una compensación a expensas del peso del IS y no de la cantidad de F/C”, resultados que coinciden con lo informado en nuestro experimento. Dentro de este concepto, Conaty y Constable (2020) no encontraron relación significativa entre NC y RF, atribuyendo esto a que “la dinámica relación fuente-destino en el algodón dicta que cuando la fuente de carbohidratos es limitante, a menos que la biomasa vegetativa (fuente) aumente para proporcionar más carbohidratos a las cápsulas en desarrollo (destino), el tamaño de la cápsula y el número de cápsulas están vinculados a través de una asociación negativa”. Estas premisas coinciden con los datos encontrados en el experimento, donde tanto el número y peso de cápsulas, como el número de semilla cápsula<sup>-1</sup> y el peso de las mismas, presentaron asociaciones negativas. Esto sugiere la existencia de una compensación entre la partición de carbohidratos cuando la partición de recursos dentro de la biomasa reproductiva está estrechamente vinculada (Conaty y Constable, 2020). En este sentido, se puede señalar que el comportamiento observado en el experimento coincide con lo reportado por los autores mencionados, ya que se observó una relación negativa en ambas campañas entre las variables mencionadas. Además, cuando el ambiente fue más restrictivo en términos de condiciones ambientales (campaña 2) las relaciones entre las variables encontradas registraron mayores niveles de significancia y ajuste. Por último, los resultados encontrados concuerdan con la teoría de Evans (1980), quien demostró que los rendimientos de los cultivos fueron incrementados a lo largo de la historia, aumentando el número de frutos y consecuentemente disminuyendo su tamaño.

Por otra parte, con respecto a la variable %F, se pudo observar aumentos significativos cuando se registraron mayores pesos de fibra, tanto por cápsula como por semilla, y disminuciones significativas al aumentar, tanto el tamaño de cada semilla como el número de semillas por cápsula. Estos resultados nos indican que para aumentar el %F, se debería mantener el número o el tamaño de las semillas en las cápsulas, incrementando la cantidad de F/S o F/C generada. Este razonamiento no coincide con la teoría expuesta por Harrell y Culp (1976), quienes sugirieron que para aumentar %F sería conveniente aumentar la cantidad de semillas por cápsula para así, aumentar la cantidad de área de superficie para la producción de fibra dentro de la cápsula. Sin embargo, los resultados encontrados para los cultivares de Argentina concuerdan con Bednarz et al. (2007), quienes demostraron que los cultivares modernos tienen menores IS y PC, así como también menores NSC. Estos autores

agregaron que, si bien esto puede haber resultado en una menor superficie de semillas dentro de cada cápsula para el desarrollo de la fibra, el número adicional de cápsulas por superficie combinado con un tamaño de semilla más pequeño, puede haber resultado en una mayor superficie total de semilla por superficie, presentándose así un incremento del %F. Del mismo modo, Zhang et al. (2005), luego de un exhaustivo análisis de alternativas para aumentar la cantidad de fibra por cápsula, llegó a la conclusión de que la mejor alternativa sería aumentar el número de fibras por semilla o por cápsula, lo que llevaría a un aumento del tamaño en el PC si los otros componentes no son alterados (NSC e IS).

Por último, se analizaron las relaciones entre los componentes anteriormente mencionados, observando que, tanto F/S, como IS y NSC aportan en forma positiva y significativa a la cantidad de F/C. Del mismo modo, se observó que F/S está positivamente asociada al tamaño de la semilla, y negativamente relacionada a la cantidad de semillas por cápsula, resultados que concuerdan con lo hallado por Worley et al. (1974). Sumado a esto, los resultados informados coinciden con Campbell et al. (2011), quienes encontraron disminuciones en IS y aumentos en F/S, adjudicando esto a un aumento en la partición de metabolitos y nutrientes a las fibras, en lugar de a las semillas en desarrollo. Otros trabajos (Bednarz et al., 2006; Campbell et al., 2011; Tang y Xiao, 2013), no encontraron relaciones negativas entre IS y NSC, mientras que Worley et al. (1974) reportaron una estrecha relación negativa entre ambas variables. Para finalizar, es importante tener en cuenta que la cantidad de F/S está determinada por: el número de semillas, el tamaño de las mismas, el número de fibras por semilla, el largo de cada fibra y el micronaire (unidad de peso por unidad de largo). Cualquiera mejora en las variables antes mencionadas produciría un aumento en esta variable y, por lo tanto, en el %F a obtener, siempre y cuando no se produzcan reducciones o compensaciones en alguna otra variable.

## **1.6 Conclusión**

Las variedades modernas de algodón utilizadas en Argentina presentan un mayor rendimiento de fibra de algodón, debido a un aumento tanto del rendimiento bruto como del porcentaje de fibra. Ese aumento de algodón en bruto estuvo acompañado por un incremento del número de cápsulas por unidad de superficie y semillas con mayor peso de fibra por unidad.

## CAPÍTULO 2

Progreso genético de calidad de fibra y  
subproductos de la semilla de algodón

## 2.1 Introducción

Los cultivos industriales son utilizados para la obtención y transformación de productos naturales con fines industriales, en este grupo encontramos el algodón. De este cultivo se obtiene un producto de importancia principal como lo es la fibra y varios subproductos derivados de este, con menor importancia relativa como ser el aceite y las proteínas del grano, entre otros. Otra de las particularidades de los cultivos industriales es que el producto principal debe poseer atributos de calidad determinados para el procesamiento industrial, por lo tanto, testear la calidad de la fibra del algodón es un proceso de vital importancia para la cadena algodonera, en especial para la hilandería.

En el presente capítulo se exploran los resultados obtenidos en el experimento, referidos a la calidad tecnológica de la fibra de algodón y al contenido de algunos de los subproductos que se obtienen del procesamiento de la semilla. Estos componentes se analizan conjuntamente debido a que, ambos comparten fases similares y sincrónicas de desarrollo (Chaudhry y Guitchounts, 2003).

### 2.1.1 *Desarrollo de las fibras de algodón*

Las fibras de algodón son pelos unicelulares que contienen una estructura de una célula vegetal sin clorofila, esto significa que contienen un núcleo, un citoplasma y organismos asociados. El desarrollo, crecimiento y maduración de las fibras de algodón puede ser dividido en diferentes etapas. La primera de ellas se denomina iniciación, luego continua una etapa de elongación y finalmente las fibras sufren un proceso de maduración. Todos estos procesos están altamente regulados celularmente y provocan que, cada una de las fibras de algodón se originen a partir de una sola célula epidérmica en la superficie del óvulo y se transformen en una fibra muerta altamente elongada y reforzada, a través de una expansión polar y un engrosamiento de la pared celular (Stiff y Haigler, 2012).

El primer paso en la morfogénesis de las fibras es la diferenciación que se produce en las células epidérmicas del óvulo, este proceso se denomina iniciación y comienza generalmente el día de la antesis y continua hasta al menos 5 días desde la antesis (DDA), teniendo cada uno de los óvulos aproximadamente unas 16.000 fibras iniciales (Stewart, 1975). A medida que las fibras iniciales se expanden, se forma una vacuola central y el núcleo migra desde la base hacia la mitad de la fibra en desarrollo. La generación de presión de turgencia dentro de

la vacuola central impulsa la expansión de las fibras iniciales (Stiff y Haigler, 2012). Existen dos tipos de células diferenciadas, por un lado, las fibras propiamente dichas cuyo crecimiento es mayor y representan el principal interés comercial del cultivo de algodón y, por otro lado, fibras más cortas o “linters” cuyo largo es menor al 10% de las fibras propiamente dichas y cubren total o parcialmente las semillas (Fryxell, 1963). Un intrigante fenómeno del desarrollo de las fibras es que solamente una de cada tres o cuatro células epidérmicas del ovulo se diferencian en fibras (Ruan, 2005).

El segundo paso se denomina elongación y transcurre entre el día 1 y los 25–30 DDA. Durante este periodo las fibras se alargan en sentido longitudinal y transversal, quedando el diámetro final definido en el 4to DDA (DeLanghe, 1986). El largo final alcanzado durante esta etapa puede variar desde los 30 hasta los 60 mm en *G. hirsutum* y *G. barbademse*, respectivamente (Ruan et al., 2004). En este sentido, Taiz (1984) describió la expansión celular como un ciclo, en el cual la presión hidrostática generada dentro de la célula aumenta hasta que la pared se alarga llegando a su límite elástico. En este momento la célula libera "factores de aflojamiento de la pared", en su mayoría no identificados, que modifican las propiedades mecánicas de la célula para permitir que el cambio reversible producido por la presión hidrostática se convierta en una extensión permanente (irreversible). En este sentido, se encontró que el ion potasio y el malato son los solutos responsables de aumentar o disminuir la presión de turgencia dentro de las células e inferir sobre la tasa de crecimiento de la fibra (Basra y Malik, 1983; Dhindsa et al., 1975). En esta etapa, cada una de las fibras a medida que se van alargando se retuercen juntas para formar los haces de fibras (Singh et al., 2009). Para el 14to DDA, una típica fibra tiene una longitud mayor a 20 mm y un ancho de 20  $\mu\text{m}$ , esto significa que, durante ese periodo incrementó 2000 veces su volumen. Este enorme y casi unidimensional incremento celular puede explicarse por la combinación de al menos tres condiciones excepcionales: una considerable actividad metabólica, la absorción rápida y constante de grandes cantidades de sustancias necesarias para esta actividad y la formación persistente y fuerte de una pared celular primaria (DeLanghe, 1986).

En el tercer paso de la diferenciación, las fibras pasan por un proceso de maduración en el cual se produce un engrosamiento de la pared secundaria de la fibra de algodón por deposición de celulosa (Stiff y Haigler, 2012). Una característica notable del desarrollo de la fibra es la transición entre la síntesis de la pared celular primaria a la secundaria alrededor

del 16to-20mo DDA (Ruan, 2005). En esta etapa, la fibra se caracteriza por cambios abruptos en la tasa de síntesis de celulosa, que aumenta más de 100 veces en comparación con el período inicial de elongación y síntesis de la pared celular primaria (Delmer, 1999). La mayoría de las fibras culmina el engrosamiento de la pared secundaria entre la 7ma y 9na semana (Thibodeaux y Evans, 1986). Luego de este proceso, aproximadamente a los 60 DDA, más del 94% del peso seco total de la fibra se encuentra constituido por celulosa pura (Basra y Malik, 1984).

Por último, una vez que las cápsulas de algodón maduras se abren, el material liquido tanto dentro como entre las fibras se evapora. En este momento, la forma cilíndrica de la pared colapsa y la fibra adquiere una forma de una cinta retorcida, concepto que se denomina *twisted*. Este proceso de deshidratación genera de manera irreversible muchas propiedades tecnológicas importantes de la fibra de algodón (Duckett et al., 1979).

### *2.1.2 Evaluación de la calidad de fibra*

En Argentina, la clasificación comercial de la fibra se realiza por expertos clasificadores que, mediante apreciaciones visuales y táctiles, determinan la calidad de la fibra en términos de "grado, longitud y carácter". Existen patrones de calidad comercial (elaborados por la Cámara Algodonera Argentina con la colaboración del SENASA) que son los estándares que representan en forma física las distintas calidades de la fibra del algodón argentino y permiten clasificarlas en forma visual para la comercialización. Estos patrones están compuestos por siete grados de calidad denominados B, C, C1/2, D, D1/2, E y F, correspondiendo la mejor calidad al grado B y la más baja al grado F. Los clasificadores diferencian la fibra en atributos tales como color, presencia de materias extrañas, fibras inmaduras, entre otros, y las comparan con los estándares para establecer el grado de calidad de la fibra de algodón. En este sentido, es importante destacar que esta clasificación subjetiva de la calidad del algodón determina el precio que el productor recibe por la producción entregada.

Por otro lado, numerosos países productores de algodón, como Brasil, Estados Unidos y Australia, tienen incorporado como práctica habitual el uso de instrumental de medición de calidad de fibra para la comercialización de la fibra de algodón, a diferencia de Argentina que utiliza este tipo de equipamientos para la venta de la producción a las hilanderías. Esta medición se realiza a través del uso de instrumentos de alto volumen ("High Volume

Instrument” o “HVI”), que como su nombre lo indica, determina las propiedades de la fibra de una muestra de algodón que afectan la calidad del producto terminado y/o la eficiencia manufacturera. Algunas de las ventajas que tienen este tipo de instrumentos por sobre la clasificación de expertos clasificadores son que el HVI determina los parámetros de una manera objetiva, reproducibles en el tiempo, con mayor rapidez y teniendo una mayor precisión que el método manual.

### 2.1.3 *Parámetros de calidad de fibra medidos por el “HVI”*

El HVI fue desarrollado por el departamento de agricultura de Estados Unidos (USDA) en 1969, con el objetivo de ser usado como una herramienta de marketing en la cual se evalúe la calidad de fibra de algodón de cada fardo producido (Hsieh y Basra, 1999). Este aparato evalúa múltiples características de la fibra en un gran volumen de muestras, a una velocidad relativamente alta, en comparación con la clasificación manual. Otro valor que presenta este equipo es la utilización conjunta en el área comercial y la investigación en el mejoramiento genético del cultivo debido a su eficiencia en términos de tiempo y costo (Kelly et al., 2012). Las propiedades físicas de las fibras del algodón medidas y estimadas por los instrumentos del tipo HVI se determinan en diferentes módulos:

- Módulo de largo y resistencia: En este módulo el equipo utiliza un muestreador para tomar una porción de fibras de algodón de toda la muestra. Esta submuestra se emplea para crear una especie de “barba” de fibras aproximadamente paralelas, que se escanea ópticamente en busca de medidas relevantes como la longitud media de la mitad superior (UHML), el largo medio (ML), el índice de uniformidad (UI) y el índice de fibras cortas (SFI) (Kelly et al., 2012). El ML es el promedio del largo de todas las fibras presentes en la submuestra, mientras que, UHML es el promedio del 50% de las fibras que presentan mayor longitud. Además, SFI es el porcentaje de fibras menores a 0,5 pulgadas (12,7 mm).

Por otro lado, luego de realizar el escaneo óptico para la determinación del largo de las fibras, el equipo efectúa las medidas de resistencia (Str) y elongación (Elg) de fibra. Las mismas se ejecutan en las “barbas” utilizadas para las mediciones de largo, sujetando las fibras en dos especies de mandíbulas y determinando la cantidad de fuerza necesaria para romper las fibras (Str), además del porcentaje de elongación

que sufren las mismas antes de quebrarse (Elg). La unidad de medida de resistencia es  $\text{g tex}^{-1}$  que significa la fuerza en gramos requerida para romper una cinta de fibra de un tex de tamaño.

- Módulo de micronaire (Mic): el Mic es la prueba de calidad de fibra instrumental más utilizada (Bradow y Davidonis, 2010). La misma en los equipos de HVI es una medida indirecta y combinada de la finura y madurez de la fibra. Esta estimación se realiza colocando un peso conocido de fibras dentro de una cámara que está sometida a una presión de aire también conocida. Los valores de la masa de las fibras, el volumen de la cámara y la presión de aire que se inyecta son constantes. El equipo determina el flujo de aire que atraviesa la masa de las fibras, siendo el mismo, función del diámetro exterior y el espesor de las paredes de las fibras, compuesta fundamentalmente por la pared secundaria de las células, que también están directamente relacionadas con la madurez de las fibras. Es necesario remarcar que, el Mic es una medida indirecta de finura y madurez, ya que existen otros equipos que miden estos valores directamente sobre las fibras. Además, a diferencia de los demás parámetros, donde los mayores valores son los deseados, en la clasificación del Mic existe un rango aceptable (3,5 – 4,9) y otro rango premium determinado en los valores medios (3,7 – 4,2). Esto se debe a que valores de Mic por debajo o por encima de los rangos aceptables se castigan debido a su relación con la calidad del hilo generado.
- Módulo de color y contenido de basuras: para la evaluación de los parámetros mencionados, el HVI utiliza una especie de cámara fotográfica donde se coloca una cantidad determinada de fibras de algodón. Por un lado, el color está determinado por el grado de reflectancia (Rd) y amarillez (+b), según lo establecido por los estándares oficiales del USDA (Kelly et al., 2012). Rd indica qué tan brillante u opaca es una muestra y +b indica el grado de pigmentación del color. Con los valores de Rd y +b se genera un código de color de tres dígitos (C.G), ubicando el punto en el que los valores Rd y +b se cruzan en el diagrama del colorímetro de algodón *upland* de Nickerson-Hunter (Nickerson et al., 1950). Por otro lado, el contenido de basura se estima como la superficie de la muestra de algodón escaneada por la cámara de video y que represente la superficie ocupada por partículas de basura (hojas, tallo, perilla, restos de semilla).

- SCI (Spinning Consistency Index): el índice de hilabilidad o “SCI” es un valor que se determina por una ecuación matemática de regresión múltiple, desarrollada por la empresa USTER a partir de las relaciones y correlaciones entre las propiedades físicas de la fibra de algodón (Majumdar et al., 2004). Este valor predice la hilabilidad que tendrá la fibra en el proceso de hilatura y tiene en consideración los valores de Str, Mic, UHML, UI, Rd y +b. Esta ecuación indica que, cuanto mayor sea el valor de SCI registrado, se obtendrían hilos con mayor resistencia y menores roturas a lo largo del proceso textil.

Para concluir esta sección, es importante destacar que el HVI no es el único instrumento que se utiliza para la medición de la calidad de fibra del algodón sino que, existen otros aparatos más específicos que se utilizan para medir parámetros directamente relacionados con la industria textil, ejemplo de ellos es el *Advanced Fiber Information System* o “AFIS”, en el cual además de todas las mediciones que realiza el HVI, se pueden realizar testeos para predecir eficiencia en los procesos de hilado y tejeduría de la fibra de algodón (contenido de neps, pegajosidad de la fibra, finura y madurez directa de la fibra, entre otras).

#### 2.1.4 Definición de los parámetros de calidad de fibra

La calidad de fibra de algodón está determinada, al igual que el rendimiento de fibra, por una compleja interacción entre el potencial genético del genotipo, las fluctuaciones ambientales que trascurren durante el crecimiento y desarrollo de la planta, y la respuesta genética controlada de los genotipos a esas fluctuaciones ambientales (Bradow y Davidonis, 2010). Es importante tener en cuenta que cada una de las fibras de algodón presentes en una cápsula, responden de manera individual a los cambios macro y micro ambientales, de modo que las fibras de una sola semilla constituyen un continuo de longitudes, formas, grosores de la pared celular y madurez de fibra (Bradow y Bauer, 1997). Algunos de los ejemplos de la variabilidad que existe entre las fibras de algodón dentro de una cápsula son trabajos que encontraron diferencias dependiendo: la región de la semilla donde las fibras se originaban (DeLanghe, 1986), la posición de la semilla dentro de la cápsula (Porter, 1936) o incluso la posición de la cápsula en la planta (Pabuayon et al., 2021).

Las variaciones en la longitud de fibra atribuibles al genotipo y la ubicación en la semilla están moduladas por factores micro y macro ambientales (Bradow y Bauer, 1997). Los

cambios ambientales alrededor del momento de la antesis floral pueden limitar el inicio de la fibra o retrasar el comienzo del alargamiento de la misma. Además, las condiciones ambientales subóptimas, durante la fase de elongación de la fibra, pueden disminuir la tasa de elongación por día o acortar la duración del período de elongación, de modo que el potencial de longitud de la fibra del genotipo no se ejecute completamente (Hearn, 1976). También, tanto UHML o ML son fundamentalmente determinados por el genotipo, pero la exposición de las plantas de algodón a temperaturas extremas, deficiencias de agua o de nutrientes durante los primeros 20 días después de floración, puede acortar la longitud (Haigler, 2010). Asimismo, una limpieza y/o un secado excesivo en la desmotadora pueden también determinar una longitud de fibra más corta (Paytas y Ploschuk, 2013). La longitud de la fibra afecta la resistencia del hilado, como también su regularidad y eficiencia en el proceso de hilatura (Bel, 2004). Igualmente, UI (relación entre ML y UHML) afecta la regularidad y la resistencia del hilado, como también la eficiencia del proceso de hilatura (Stiff y Haigler, 2012). UI está relacionada además con SFI, por lo que es muy probable que un bajo índice de UI este ligado con un alto contenido de SFI. Cultivos de algodón con valores altos de SFI provocan un aumento en la dificultad del procesado y producen hilos de baja calidad y eficiencia (Bel, 2004).

Por otro lado, la resistencia de la fibra presenta variación a lo largo de ésta, al igual que la fineza y madurez de la misma (Hsieh y Basra, 1999). El ambiente de crecimiento y las respuestas del genotipo a éste juegan un papel en la determinación de Str y la variabilidad de la misma (Sasser y Shane, 1996). Del mismo modo, Str tiene una alta correlación con la resistencia del hilo, haciendo más probable que el algodón con alta resistencia de fibra evite roturas durante el proceso de fabricación del hilo (Munro y Farbrother, 1969).

El micronaire o finura y madurez de la fibra se ha reconocido desde hace mucho tiempo como un factor importante en la resistencia y uniformidad del hilo (Ramey Jr, 1982). Además de afectar las variables mencionadas, Mic afecta el color de la fibra, tanto antes como después de la aplicación del tñido (Lord y Heap, 1981). Las mediciones de Mic al estar directamente asociadas con la deposición de celulosa en la pared secundaria, durante la maduración de la fibra (entre los 20 y 60 días después de antesis), pueden ser afectadas en su crecimiento y/o desarrollo, por las condiciones ambientales adversas registradas durante este periodo, tales

como estrés hídrico, altas temperaturas, baja radiación solar y deficiencias en nutrientes (Bel, 2004).

Por último, tanto el color de las fibras como el contenido de basura de algodón pueden ser afectados negativamente por la ocurrencia de lluvias, heladas, insectos, hongos y por manchado a través del contacto con partes verdes de la planta o el suelo. Este deterioro genera una probabilidad de reducción en la eficiencia del proceso de hilatura (Lord y Heap, 1981); como también en la capacidad de las fibras para absorber y retener tinturas (Bradow y Davidonis, 2010).

#### *2.1.5 Subproductos originados en la semilla de algodón*

Para comprender de una mejor manera la distribución de asimilados entre la fibra y la semilla, es importante mencionar que el desarrollo de las cápsulas, desde la antesis hasta la madurez, se puede dividir en tres fases distintas (Leffler, 1986). La primera fase de desarrollo dura aproximadamente tres semanas, estando representada por un incremento de tamaño o división celular. Durante este período inicial, se establecen los volúmenes finales de la cápsula y las semillas, y se produce la mayor parte del alargamiento de la fibra. A medida que el alargamiento de la fibra y el agrandamiento de la cápsula y la semilla comienzan a disminuir, la cápsula entra en la segunda fase de desarrollo denominado período de llenado. La mayor parte del peso seco de los componentes de la cápsula se acumulan durante el período de llenado que comienza después de la tercera semana y continúa hasta aproximadamente dos semanas antes de la apertura de las cápsulas. Durante esta fase, la mayor parte del crecimiento de las fibras se produce a través de la formación de paredes secundarias, mientras que el crecimiento de las semillas se produce a través de la acumulación de aceite y proteínas por parte del embrión que se desarrolla dentro del volumen establecido por los tegumentos. La tercera etapa se denomina de maduración y durante la misma se producen muy pocos cambios en la distribución de la materia seca final. El desarrollo de la cápsula generalmente se considera completo una vez que las cápsulas completan el proceso de apertura. De manera similar, se puede considerar que el desarrollo de la semilla abarca las tres fases anteriormente descritas (crecimiento, llenado y maduración). La acumulación de materia seca por el desarrollo de semillas es casi lineal a lo largo de los períodos de crecimiento y llenado, volviéndose nula durante la fase de

maduración (Leffler y Tubertini, 1976). Aunque la tendencia general es que la acumulación de peso sea casi lineal con el tiempo, la ocurrencia de un período de estrés puede alterar este patrón.

Por otro lado, el mejoramiento y la producción de algodón se han regido históricamente por consideraciones de rendimiento y calidad de fibra con excepción de las características de las semillas como la viabilidad y el vigor de la siembra. La competencia de otras fuentes de semillas en las industrias del aceite y alimentación animal, y la creciente perspectiva de utilizar semillas de algodón como alimento, han aumentado la conciencia de la importancia potencial de la semilla de algodón para los alimentos y forrajes del mundo (Cherry y Leffler, 1984). Actualmente, la semilla de algodón es el segundo producto principal de la planta de algodón (después de la fibra) que sirve como materia prima para la extracción de aceite y la producción de alimentos para el ganado (Hamilton et al., 2004).

Al igual que el rendimiento y la calidad de fibra, son varios los trabajos que muestran que tanto el genotipo, como el ambiente y la interacción entre estos factores pueden hacer variar la composición de la semilla (Bailey, 1948; Kohel y Cherry, 1983). El mejoramiento y las prácticas agronómicas pueden afectar tanto las propiedades físicas como químicas de la semilla y, por lo tanto, influir en la calidad de las mismas (Cherry y Leffler, 1984). Las semillas de algodón son excelentes fuentes tanto de aceite como de proteínas, debido a la alta concentración de estos componentes y de sus cualidades de ácidos grasos y aminoácidos (Sekhar y Rao, 2011).

Entre los subproductos de la semilla de algodón se encuentran el linter, la cáscara y el núcleo. El linter, conformado por las fibrillas que quedan luego del desmotado, es una fuente de celulosa muy importante, el cual debe ser removido de la semilla y empacado como si fuera un fardo de algodón; su uso es generalmente como algodón hidrófilo, ya que es un material limpio comparado con la fibra. Además, la cáscara es una fuente de proteínas en la alimentación de animales (pellets), actuando en las raciones como elemento activo y no como elemento inerte para lograr volumen. Asimismo, el núcleo presenta el mayor potencial, ya que de allí se obtienen los aceites y la harina. El nivel de fibra cruda del algodón es significativamente más elevado (en un 8%) que el de la soja y los contenidos de proteína son ligeramente más bajos (5-10%) (Paytas y Ploschuk, 2013).

#### 2.1.5.1 Proteínas

Las proteínas de la semilla de algodón son fuentes de productos de alto grado alimenticio y de bajo costo que pueden proporcionar propiedades funcionales y nutricionales en las formulaciones alimentarias (Stiff y Haigler, 2012). Estos derivados pueden complementar las dietas deficientes en proteínas en áreas del mundo que sufren escasez de alimentos, particularmente en los países en desarrollo donde el algodón se cultiva ampliamente. Se estima que aproximadamente una cuarta parte de la harina potencialmente disponible en la producción mundial de semilla de algodón podría aliviar la escasez de proteínas en las naciones subdesarrolladas (Gillham, 1969).

En la semilla de algodón, el contenido promedio de proteínas varía entre 20 a 25% y dos clases principales de proteínas se almacenan: globulinas y albúminas (Liu et al., 2012), diferenciándose en sus propiedades de solubilidad. Tanto las globulinas como las albúminas se sintetizan y compartimentan en vacuolas de proteínas de almacenamiento durante la maduración de la semilla de algodón (Dure y Chlan, 1981). Además, las proteínas en las semillas de algodón contienen grandes cantidades de arginina, especialmente cuando se compara con legumbres como la soja (Capdevila y Dure, 1977), sin embargo, las semillas de algodón registran deficiencias en lisina, isoleucina y en aminoácidos azufrados, incluyendo metionina y cisteína, en comparación con otras semillas oleaginosas importantes, como soja y canola (Capdevila y Dure, 1977). Por último, el mejoramiento genético de los perfiles de aminoácidos y proteínas de almacenamiento de semillas de algodón son claramente necesarios si se desean utilizar como fuente de proteínas para animales no rumiantes o humanos, no obstante, hasta la actualidad se han documentado pocos o ningún progreso en la literatura (Liu et al., 2012).

#### 2.1.5.2 Aceite

El aceite de semilla de algodón se encuentra dentro de los más insaturados en el mundo, junto con el aceite de cártamo, maíz, soja, colza y girasol. El aceite de algodón tiene una proporción de 2:1 de ácidos grasos poliinsaturados:saturados y generalmente consta de 65-70% de ácidos grasos insaturados, incluidos 18-24% de monoinsaturados (oleico) y 42-52% poliinsaturados (linoleico) y 26-35% saturados. (palmítico y esteárico) (Agarwal et al., 2002). Este aceite registra un mejor funcionamiento comparado con otros aceites, ya que, presenta una mayor

duración y almacenamiento al soportar temperaturas más altas para los alimentos debido a su alto contenido de antioxidantes (Sekhar y Rao, 2011). En cuanto a la acumulación de aceite en la semilla, Grindley (1950) describió la acumulación de aceite en las semillas de algodón e identificó la etapa desde 25 a 40 DDA como el periodo durante el cual ocurre la mayor parte de la acumulación de aceite.

En la Argentina, el aceite extraído no se usa en forma pura para el consumo humano, pero es de gran utilidad en la elaboración de mezclas. El principal problema del aceite de algodón es la presencia de gossipol y la fuerte coloración que le otorga. Este compuesto es un pigmento natural polifenólico localizado en las glándulas pigmentarias de la planta que otorga protección contra depredadores, pero limita la concentración máxima de los subproductos de algodón que se pueden utilizar en la formulación de las raciones para animales. En la semilla de algodón la proporción de gossipol fluctúa entre 0,4 y 2%, dependiendo de la especie o variedad, fertilización, presión de plagas y condiciones ambientales (Paytas y Ploschuk, 2013).

#### *2.1.6 Calidad de fibra y subproductos de la semilla en estudios locales*

Debido a la importancia de los parámetros de calidad tecnológica de fibra en la comercialización del cultivo de algodón, estas variables se cuantifican e informan periódicamente en trabajos referidos al cultivo. En este sentido, son varios los trabajos realizados en el país y en la región que estudiaron, tanto las diferencias entre las variedades (Dileo et al., 2019; Scarpin et al., 2020b) como entre fechas de siembra (Winkler et al., 2018), tipos y tasas de fertilizantes aplicados (Colombo, 2019; Mieres et al., 2019), momentos de cosecha (Scarpin et al., 2017b), estreses por altas temperaturas (Colombo et al., 2020) estreses por anegamiento (Scarpin y Paytas, 2017) y por salinidad (Winkler et al., 2019). En general, los trabajos mencionados informaron que los niveles de los distintos parámetros de calidad de fibra se encontraban en valores buenos a muy buenos en la escala comercial y, del mismo modo, no encontraron grandes diferencias entre los parámetros al variar los tratamientos.

Por otra parte, existen varios trabajos referidos a la cosecha mecánica y la forma en la que esta afecta los parámetros de calidad de la fibra cosechada (Scarpin et al., 2016; 2017a; Tarrago et al., 2019). En este sentido resulta útil mencionar que históricamente en Argentina

el algodón se sembraba únicamente en sistemas de cultivo de baja densidad de plantas, con una distancia entre surcos de 0,9 a 1 metro, obteniéndose plantas de mayor porte y con numerosas ramificaciones y ciclos más largos. De esta manera, el sistema de cosecha era de tipo manual o mecanizado con cosechadoras “picker” o con “púas”, adaptadas específicamente para estas distancias entre surcos. El sistema de cosecha mecánica “picker” está integrado por cuerpos cosechadores que consisten en dos tambores giratorios por surco que giran sobre sus ejes verticales en sentidos contrarios y, a través de sus husillos (tornillos cónicos giratorios), arrollan la fibra de las cápsulas al enfrentar las plantas. Por otra parte, en los últimos años se comenzó a expandir en Argentina el sistema de producción de surcos estrechos (0,38-0,52 m) y altas densidades. Esto descartó la posibilidad de utilizar los sistemas de cosecha de tipo “picker” debido a que su regulación entre surcos es fija. La cosecha manual también dejó de ser popular por múltiples causas, entre los que se pueden mencionar los altos costos, el tiempo de recolección y los conflictos sociales. Para resolver este problema, surgió un nuevo prototipo de cosechadora denominado tipo “stripper de arrastre”, que fue desarrollado en INTA Reconquista. Esta cosechadora logró posicionarse exitosamente en los últimos años, tanto en el mercado nacional como internacional. El sistema “stripper” posee una plataforma regulable en altura, integrada por puntones que peinan y arrancan las cápsulas. Los reportes sobre el efecto de los cabezales de cosecha sobre los parámetros de calidad de fibra concluyen que no se observaron diferencias en términos de calidad tecnológica de fibra, entre los distintos cabezales de cosecha mecánica y, además, establecen que los principales factores que influyen en estos parámetros son las variedades, el ambiente, el manejo de cultivo y la interacción entre estos factores (Scarpin et al., 2016; 2017a; Tarrago et al., 2019).

Con respecto a los subproductos de la semilla, los trabajos en la bibliografía, tanto local como en la región, son mucho más escasos que los que informan sobre los parámetros de calidad de fibra. Los motivos de la falta de datos en estas variables posiblemente se asocien, por un lado, al costo económico que acarrea el análisis de estas variables y, por otro lado, a la falta de equipamientos que cuantifiquen estas variables en los institutos de investigación del cultivo. No obstante, Paytas et al. (2014) hace un resumen de los resultados de estas variables con distintos factores de variación como fertilización, estreses, distanciamientos, densidades, entre otros.

### 2.1.7 *Calidad de fibra y subproductos de la semilla en estudios de progreso genético*

La ganancia genética o el progreso genético, como se definió en la introducción general, es la adquisición o aumento de caracteres favorables, obtenidos en la aplicación de métodos de mejoramiento genético de una población a través de la variación hereditaria en el tiempo. Este incremento puede evaluarse en todas las variables de las plantas y no solo las relacionadas al rendimiento y sus componentes, como se presentó en el Capítulo 1. En la introducción general, se observaban los resultados de estudios de progreso genético y el principal motivo de aumento o incremento de rendimiento en las diferentes eras (Tabla 4). Del mismo modo, varios de los trabajos allí mencionados realizaron estudios paralelos de rendimiento y calidad de fibra, con el objetivo de conocer si esos incrementos estaban acompañados de progresos o retrocesos en la calidad tecnológica de fibra.

Los ejemplos de estos estudios comienzan en el trabajo de Bridge et al. (1971) quienes observaron que los genotipos que obtuvieron el mayor rendimiento de fibra en sus estudios, presentaron mayores valores de micronaire y menores largos y resistencia de fibra, afirmando que el mejoramiento se había centrado solo en el incremento de fibra por ha, sin tener en cuenta la calidad de la misma. Por su parte, Wells y Meredith (1984c) no encontraron tendencias de cambios en las propiedades de fibra asociadas con el año de lanzamiento del cultivar. Culp y Green (1992) fue el primer trabajo en encontrar que los genotipos del programa de mejoramiento de la empresa Pee Dee habían incrementado simultáneamente, tanto el rendimiento como los parámetros de calidad de fibra, siendo el largo y la resistencia los que mayor incremento habían presentado. Bayles et al. (2005) reportaron incrementos significativos lineales en el largo de fibra de  $0,04 \text{ mm año}^{-1}$  e incrementos significativos en resistencia y micronaire que se ajustaban a regresiones cuadráticas. En el mismo año, Zhang (2005) halló, por un lado, tendencias significativas y negativas para un periodo de tiempo en el largo de fibra y, por otro lado, aumentos significativos para micronaire en cultivares del programa de mejoramiento de Acala. Campbell et al. (2011), en otro trabajo con el programa de mejoramiento de Pee Dee, reportó disminuciones en los parámetros de calidad de fibra por ciclo de mejoramiento de  $2 \text{ kilo Newton kg}^{-1}$  y  $0,2 \text{ mm}$  en resistencia y largo de fibra, respectivamente. Del mismo modo, en el estudio obtuvieron incrementos de  $0,16 \text{ mm}$  y  $0,7 \text{ mg km}^{-1}$  en los parámetros de elongación y finesa, respectivamente. En los últimos años, Yang et al. (2018) hallaron que los cultivares modernos presentaron mejores performances

que los obsoletos en términos de largo y resistencia de fibra; mientras que Zhang et al. (2019) informaron incrementos significativos y lineales para los parámetros de índice de uniformidad, elongación y resistencia de fibra.

En ninguno de los trabajos mencionados anteriormente existen relaciones entre los años de lanzamiento de los cultivares y el contenido de aceite y/o proteína de las semillas, no obstante, en la bibliografía se encuentran varios trabajos que estudian la relación entre los contenidos de estos componentes y distintas variables como el ambiente, genotipo y su interacción (Agarwal et al., 2002; Bailey, 1948; Kohel y Cherry, 1983; Sasser y Shane, 1996; Sekhar y Rao, 2011).

Por último, en esta sección, y al igual que para los componentes de rendimiento analizados, no existen en Argentina estudios que hayan analizado el progreso genético en los diferentes componentes de la calidad tecnológica de fibra y la composición de la semilla con respecto al contenido de aceite, su perfil ácido y el nivel de proteínas.

## **2.2 Objetivos**

- Cuantificar y comparar los parámetros de calidad de fibra, el contenido de proteínas y de aceite y su perfil ácido en variedades utilizados en los últimos 50 años en Argentina.
- Estimar el progreso genético de los parámetros de calidad de fibra, el contenido de proteínas y de aceite.
- Cuantificar el efecto tanto del genotipo como del ambiente y su interacción en los parámetros de calidad de fibra, el contenido de proteínas y de aceite y estimar el porcentaje de variabilidad explicado por cada componente.
- Examinar las relaciones entre los parámetros de calidad de fibra, el contenido de proteínas y de aceite y su perfil ácido y los componentes de rendimiento.

## **2.3 Metodología**

En este punto es importante mencionar que en este capítulo se utilizaron los cultivares, localización, experimentos y arreglo estadístico descriptos en los puntos 1.3.1, 1.3.2, 1.3.3 y 1.3.4. Además, para este capítulo se realizaron las siguientes mediciones específicas:

### 2.3.1 *Parámetros de calidad tecnológica de fibra de algodón*

Para cuantificar los parámetros de calidad tecnológica de fibra, luego del proceso de desmote, fueron enviadas las muestras de fibra al laboratorio de HVI que posee la Asociación para la Promoción y Producción Algodonera (APPA) en las instalaciones del parque industrial en Reconquista, Santa Fe. Los parámetros de calidad tecnológica de fibra determinados fueron: Índice de hilabilidad (SCI, por sus siglas en inglés: *spinning consistency index*), micronaire (Mic), índice de madurez (Mat), longitud promedio de la mitad superior (UHML), % de uniformidad (UI), índice de fibras cortas (SFI), resistencia de fibra (Str), elongación (Elg), contenido de humedad de la muestra (Mst), reflectancia (Rd), amarillez (+b), grado de color (C.G) de la fibra, y contenido de basura (Tra).

### 2.3.2 *Contenido de aceite y proteínas en semilla de algodón*

Los análisis del contenido de aceite (MG) y proteínas (Prot) en la semilla se realizaron en el laboratorio de Buyatti SAICA planta Reconquista de acuerdo a los protocolos internos para MG y Prot. En este sentido, es importante mencionar que debido a los altos costos de medición y a la tercerización del muestreo de las cuatro repeticiones de cada variedad, en cada uno de los ambientes, se realizaron solo dos repeticiones de las muestras de semilla por ambiente. Asimismo, debido a inconvenientes que escaparon del experimento, no se pudieron realizar las determinaciones en las variedades lanzadas al mercado en el año 2019 (Guazuncho 4, Guaraní y Porá 3).

Para la determinación de MG, en primer lugar, se homogeneizó y molió la muestra, en un molino a cuchilla horizontal de acero templado, de 90 mm de longitud y 10 mm de ancho. El material que se pegó al molino se incorporó con el volumen del material molido. Luego, se homogeneizó y pesó sobre un papel de filtro, previamente tarado, 2,5 g de la muestra previamente molida. Posteriormente, se armó un cartucho, con la muestra en el papel de filtro en el que se pesó, y luego se envolvió en un segundo papel de filtro, doblándolos de forma tal que no se pierda material. Se colocó el cartucho en el conjunto extractor Butt, cuyo matraz fue previamente tarado. Se agregaron 50 ml de hexano normal y se colocaron, el conjunto extractor con la muestra y el hexano, en el equipo Butt para realizar la extracción correspondiente. El tiempo de extracción fue de 4 h, una vez finalizada esta, se procedió a evaporar hasta que la mayor parte del hexano haya sido eliminado. Una vez que este proceso

se completó, se transfirió el matraz a estufa, con circulación forzada, a 130 °C durante 1 h, para la total evaporación del hexano. Por último, se pesó el matraz frío y se procedió al cálculo según ecuación 12.

$$MG (\%) = \frac{(\text{peso del matraz con materia grasa} - \text{peso del matraz tarado})}{\text{peso de la muestra}} * 100 \quad \text{Ecuación 12}$$

Por otro lado, para la determinación de Prot, en primer lugar, se pesó 1 g de la muestra molida y se transfirió a un balón Kjeldahl de 800 ml, después se adicionó la mezcla catalizadora y se agregó 1 ml de alundún (óxido de aluminio) para regularizar la ebullición. Luego, se agregaron 30 ml de ácido sulfúrico concentrado y se mezcló cuidadosamente para asegurar la humectación completa de la porción de ensayo. Más tarde, se colocó la muestra en el digestor, con la potencia calefactora suficiente para hacer hervir 250 ml de agua destilada en 5 min, partiendo de 25 °C. Cuando el balón se llenó de humos densos y blancos, se movió suavemente para atrapar cualquier partícula carbonosa que se encuentre fuera del líquido. Una vez que este se volvió claro y casi incoloro se continuó la digestión durante 45 minutos más. Concluido este proceso, se dejó enfriar, se agregó 350 ml de agua destilada y se enfrió a temperatura ambiente. Después, se transfirió al Erlenmeyer receptor del destilado, 25 ml de ácido sulfúrico, 100 ml de agua destilada y 5 gotas de indicador (2 g de rojo de metilo + 1 g de azul de metileno diluidos en 1000 ml de alcohol etílico). Se agregó 130 ml de alcalinizante (solución de hidróxido de sodio). Por último, se tituló el contenido del Erlenmeyer receptor, con solución de hidróxido de sodio, hasta viraje a color verde y se procedió al cálculo según ecuación 13.

$$Prot (\%) = \frac{(\text{blanco} - \text{ml gastados} * \text{factor}) * 2,18906}{\text{peso de la muestra}} * 100 \quad \text{Ecuación 13}$$

Por otra parte, las características de genuinidad del aceite, estuvieron a cargo de Algodonera Avellaneda, en los laboratorios de VICENTIN SAIC, Planta Ricardone, con la determinación de los porcentajes de ácidos grasos por el método de cromatografía gaseosa.

### 2.3.3 *Análisis estadístico*

Para realizar el análisis estadístico de este capítulo, se utilizó la técnica de análisis de la varianza (ANOVA), aplicando el módulo de modelos lineales mixtos del programa estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2011). Para esto, se tomaron como efectos fijos las variedades (V), la fecha de siembra (FS) y su interacción (V\*FS); mientras que como efectos

aleatorios se seleccionaron la campaña (C) y el bloque dentro de cada campaña (B). Las estimaciones de los parámetros para este modelo se obtuvieron aplicando el método de máxima verosimilitud restringida (REML).

Además, otra herramienta que brinda el módulo de modelos lineales mixtos de InfoStat es la posibilidad del cálculo de los componentes de la varianza, por medio del estimador de máxima verosimilitud restringida (REML). Para el caso de estudio, se realizó un análisis con todos los componentes de rendimiento y se consideraron los siguientes factores de variación como efectos aleatorios:

- Variedad
- Ambiente (combinación de fechas de siembra y campaña)
- Interacción Variedad x Ambiente
- Bloque

Por otro lado, para el cálculo del progreso genético, se realizó para cada variable de calidad un ANOVA, tomando en este caso como efectos fijos el año de lanzamiento (AL), FS y su interacción (FS\*AL), mientras que los efectos aleatorios fueron campaña y bloque dentro de campaña. Con los resultados promedios de cada año de lanzamiento, luego del ANOVA, se realizaron regresiones lineales entre la variable dependiente (parámetro de calidad de fibra, contenido de aceite y proteína) y la variable independiente (AL). Las pendientes en cada una de las regresiones fueron los estimadores del progreso genético anual para cada uno de los componentes analizados. El cálculo de la significancia, el coeficiente de determinación ( $r^2$ ) y los gráficos se realizaron con el software SigmaPlot 14.0 (Systat Software, San Jose).

Asimismo, para examinar los coeficientes de correlación entre los parámetros de calidad de fibra, Prot y MG evaluados en el experimento, se realizaron mediciones de la medida de magnitud de asociación lineal entre dos variables, a través del método de correlaciones parciales de Pearson, fijando el ambiente. Se calcularon la prueba de significancia de las correlaciones y se graficaron con el paquete corrplot de RStudio (RStudio, 2020).

## **2.4 Resultados**

### *2.4.1 Parámetros de calidad de fibra, contenido de proteína y aceite en semilla*

Para analizar el resultado de los parámetros de calidad de fibra, contenido de proteínas y aceites en la semilla, se realizó un ANOVA que se detalla en la Tabla 10. Las variables largo

promedio de fibra de la mitad superior (UHML), uniformidad de fibra (UI), índice de fibras cortas (SFI), resistencia de fibra (Str), índice de hilabilidad (SCI), índice de madurez (Mat) registraron diferencias significativas entre variedades y fechas de siembra. Además, micronaire (Mic) fue la única variable donde se observó una interacción significativa entre FS y V, lo que sugiere que al menos uno de los cultivares se comportó de manera diferencial entre las FS evaluadas. Por otro lado, al analizar los componentes de la semilla (proteína y aceite), se pudo observar diferencias significativas solamente para la variación entre FS, en la variable de contenido de aceite (MG). Por último, los modelos mixtos permitieron particionar la varianza de los errores entre todos los efectos aleatorios que colocamos dentro del modelo y así obtener información del análisis. En la parte final de la Tabla 10 se observa que el componente de la varianza que tuvo un mayor porcentaje de participación en la variación total fue el componente residual, con excepción de la variable Prot, en la cual la componente campaña representó un mayor porcentaje de la variabilidad total del experimento.

**Tabla 10.** Análisis de la varianza para los parámetros de calidad tecnológica de fibra, en las fechas de siembra (FS) y variedades (V) evaluadas en el experimento. Las variedades fueron ordenadas según el año de lanzamiento. UHML: largo medio de fibra de la mitad superior; UI: uniformidad de largo de fibra; SFI: índice de fibras cortas; Str: resistencia de fibra; Mic: micronaire; SCI: índice de hilabilidad; MG: materia grasa; Prot: proteína; s/d: sin datos.  $\sigma^2$ : se refiere a la varianza. \*:  $p < 0,05$ ; \*\*:  $p < 0,01$  y \*\*\*:  $p < 0,001$ .

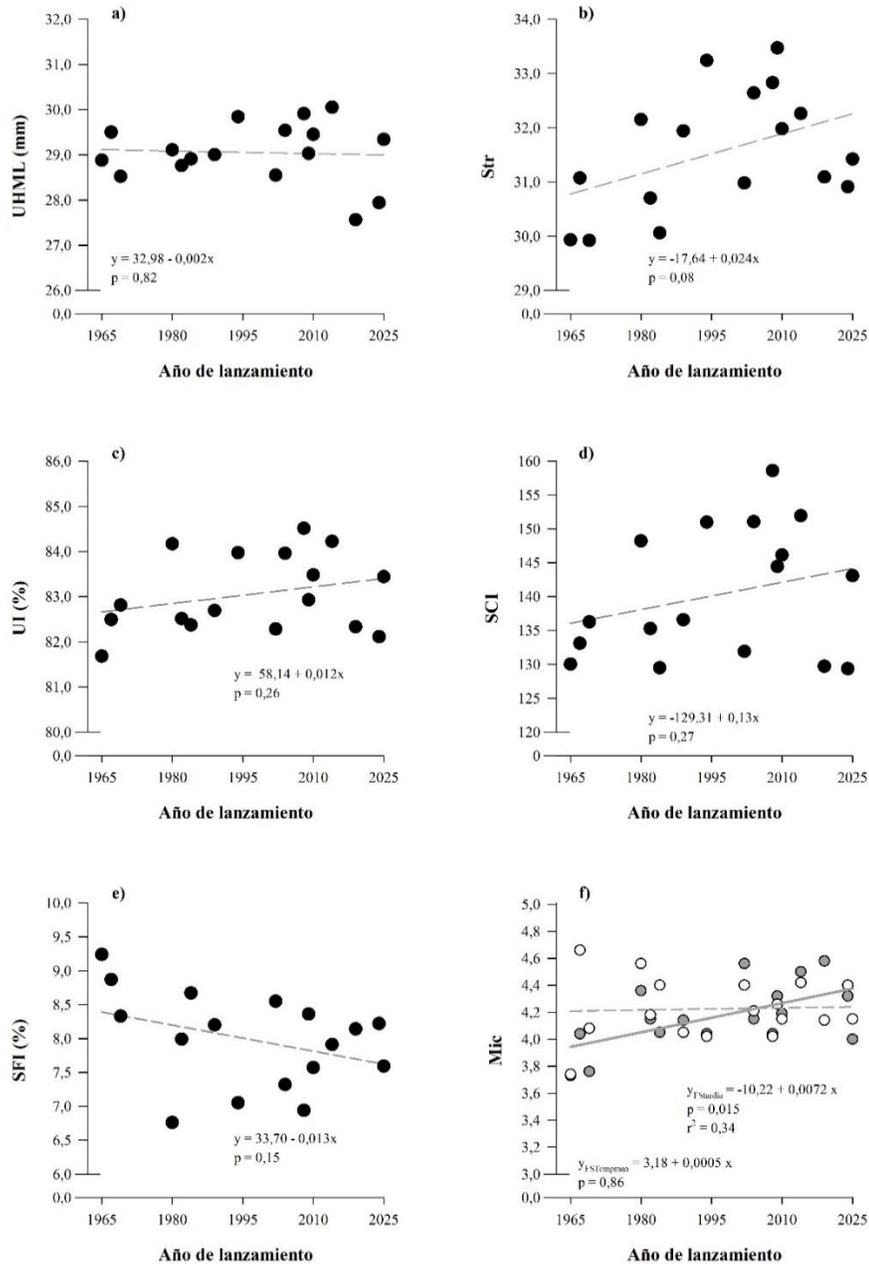
Variedad	UHML (mm)	UI (%)	SFI (%)	Str $g\ tex^{-1}$	Mic	SCI	Mat	MG (%)	Prot (%)
Stoneville 508	28,88 b	81,7 b	9,3 a	29,8 b	3,74	130,4 c	0,86 c	21,2	23,8
Deltapine 16	29,42 b	82,5 b	8,9 b	31,0 b	4,37	132,7 c	0,87 b	21,2	22,9
Toba II SP	28,56 b	82,9 b	8,3 b	29,9 b	3,89	137,2 c	0,86 c	21,6	23,2
Chaco 510	29,03 b	84,0 a	6,8 c	32,3 b	4,45	147,2 b	0,87 b	22,6	23,1
Porá	28,77 b	82,5 b	8,0 b	30,7 b	4,18	134,9 c	0,87 b	22,3	23,3
Deltapine 50	28,96 b	82,4 b	8,7 b	30,0 b	4,19	129,7 c	0,87 b	21,0	23,4
Guazuncho 2	29,00 b	82,7 b	8,2 b	31,9 b	4,16	136,4 c	0,87 b	22,8	23,8
Chaco 520	29,82 a	84,0 a	7,0 c	33,2 a	3,99	151,3 b	0,87 b	22,8	23,2
Guazuncho 2000	28,61 b	82,3 b	8,5 b	31,0 b	4,50	132,2 c	0,88 a	21,8	23,4
Guazuncho 3	29,79 a	84,2 a	7,0 c	33,3 a	4,12	153,4 b	0,87 b	22,5	23,2
Oro Blanco 2	29,28 b	83,8 a	7,6 c	32,0 b	4,16	148,9 b	0,87 b	22,1	24,0
Poraite	29,90 a	84,5 a	7,0 c	32,9 a	4,04	158,5 a	0,87 b	23,2	23,0
NuOpal	29,04 b	83,0 b	8,3 b	33,4 a	4,26	144,9 b	0,88 a	21,9	23,1
Deltapine 402	29,38 b	83,4 a	7,6 c	32,1 b	4,23	145,3 b	0,87 b	22,2	23,1
Deltapine 1238	29,97 a	84,1 a	8,0 b	32,4 b	4,43	151,4 b	0,87 b	21,7	22,4
Guaraní	27,18 d	82,6 b	8,1 b	30,9 b	4,47	127,2 c	0,88 a	-	-
Guazuncho 4	28,55 b	81,9 b	8,3 b	31,5 b	4,36	128,1 c	0,88 a	-	-

Porá 3	26,93 d	82,5 b	8,1 b	30,8 b	4,24	133,8 c	0,87 b	-	-
SP 41255	28,06 c	82,2 b	8,2 b	30,9 b	4,36	130,1 c	0,88 a	22,1	23,2
SP 6565	29,32 b	83,4 a	7,6 c	31,4 b	4,07	143,0 b	0,87 b	22,5	23,2
FSI	28,74 b	83,5 a	7,7 b	32,0 a	4,16	144,2 a	0,88 a	22,3 a	23,1
FSII	29,10 a	82,5 b	8,2 a	31,2 b	4,27	135,4 b	0,86 b	21,8 b	23,3
Variedad	***	***	***	***	***	***	***	ns	ns
FS	***	***	***	**	**	***	***	**	ns
Variedad*FS	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
$\sigma^2_{residual}$	0,85	1,88	1,34	4,8	0,15	132	1,0 <sup>E-07</sup>	1,7	1,1
$\sigma^2_{campana}$	0,03	0,36	0,02	4,2	4,9 <sup>E-03</sup>	97	1,1 <sup>E-06</sup>	1,0 <sup>E-08</sup>	3,3
$\sigma^2_{bloque(campana)}$	9,0 <sup>E-10</sup>	4,0 <sup>E-08</sup>	0,02	0,04	2,5 <sup>E-03</sup>	2,5 <sup>E-07</sup>	9,0 <sup>E-10</sup>	0,26	1,0 <sup>E-08</sup>

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ) según DGC.

#### 2.4.2 Ganancia genética de los parámetros de calidad de fibra

Los resultados de progreso genético de los distintos parámetros de calidad de fibra evaluados en el experimento y su relación con los AL se presenta la Figura 21. En la misma, se puede observar que en todas las regresiones, con excepción de la FSII en micronaire (Mic), no se observaron ganancias genéticas significativas en los genotipos y años analizados. Con respecto a este parámetro, Mic en FSI registró una tendencia de incremento, aunque cercano a una constante, y en FSII un incremento, desde el 1965 hasta la actualidad, con una tasa de 0,0072 por año.

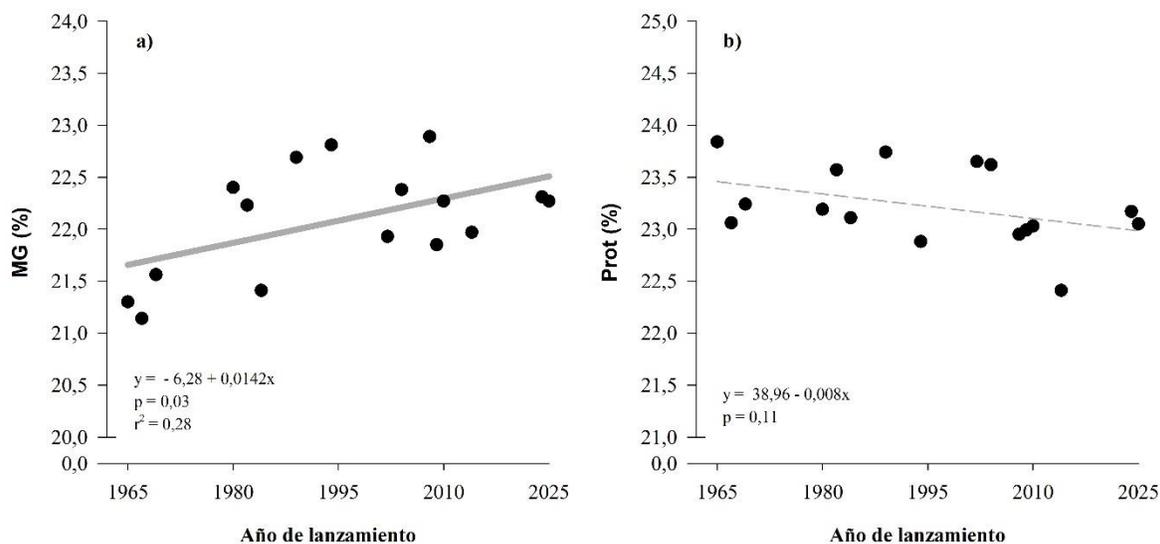


**Figura 21.** Tasas estimadas de progreso genético para: a) largo medio de fibra de la mitad superior (UHML), b) resistencia de fibra (Str), c) uniformidad de largo de fibra (UI), d) índice de hilabilidad (SCI), e) índice de fibras cortas (SFI) y f) micronaire (Mic), utilizando cultivares, desde 1965 hasta la actualidad, en 4 ambientes. Líneas solidas representan regresiones significativas, líneas cortadas representan regresiones no significativas. En gráfico f) se presentó interacción entre FS y AL, por lo tanto, los puntos y líneas solida gris corresponden a FSII, mientras que, puntos blancos y línea punteada gris corresponden a FSI.

### 2.4.3 Ganancia genética de los componentes de la semilla

La ganancia genética para los subproductos o componentes de la semilla, analizadas en el experimento, se presenta en la Figura 22. Cabe destacar que, a diferencia de los parámetros

de calidad de fibra y algunos de los componentes de rendimiento, para el parámetro contenido de aceite se observó un incremento significativo en los años y con los cultivares analizados. Este incremento fue de  $0,01\% \text{ año}^{-1}$  y significó un aumento de  $0,85\%$  en el periodo analizado debido al mejoramiento genético.



**Figura 22.** Tasas estimadas de progreso genético para los subproductos de la semilla evaluados: a) materia grasa (MG), b) proteína (Prot), utilizando cultivares, desde 1965 hasta la actualidad, en 4 ambientes. Líneas cortadas representan regresiones no significativas.

#### 2.4.4 Componentes de la varianza para los parámetros de calidad de fibra y subproductos de la semilla de algodón

En la Tabla 11 se pueden observar los resultados del análisis de los componentes de la varianza referidos a los parámetros de calidad de fibra y subproductos de la semilla. En este caso, la mayor parte de los parámetros evaluados presentaron un mayor porcentaje de la variación, atribuido a la varianza residual, con excepción de UHML, SCI y Prot. Este comportamiento de las variables no coincide con lo que se registró para los componentes de rendimiento, donde la mayoría de la variación estaba enmarcada dentro de la varianza ambiental.

Con respecto a los comportamientos de cada variable, es importante remarcar que la varianza de UHML estuvo mayormente explicado debido a la variedad, por lo tanto, la elección de la genética toma vital importancia en la performance de esta variable. Además, tanto UI como SFI, luego de la varianza residual, registraron mayores porcentajes de varianza explicada en

mayor medida por la variedad que por el ambiente o la interacción, lo que ratifica lo antes mencionado y lo amplía para estos parámetros. En cambio, los parámetros de Mic y Str, registraron una mayor participación de la componente ambiental (después de la residual), seguida por la variedad y la interacción entre ambiente y variedad, para Mic y Str, respectivamente. Esto demuestra que el ambiente determina de una mayor manera la variación de Str y Mic que de UHML, y que entre Str y Mic, en este último la elección del genotipo tiene una mayor importancia que para Str. Asimismo, la componente SCI, que como se describió en la introducción es una combinación de muchas variables, tiene una distribución homogénea entre el ambiente la variedad y la componente residual.

Por otro lado, los subproductos de la semilla cuantificados en el experimento demostraron resultados disímiles, siendo el factor ambiental el principal componente de la varianza en Prot, mientras que la varianza residual fue la más importante para MG. Asimismo, se observó poca variación entre las variedades para Prot y, por otro lado, mucha variación dentro de cada uno de los bloques en MG, lo que sugiere que existió una importante variación entre cada ambiente (Tabla 11).

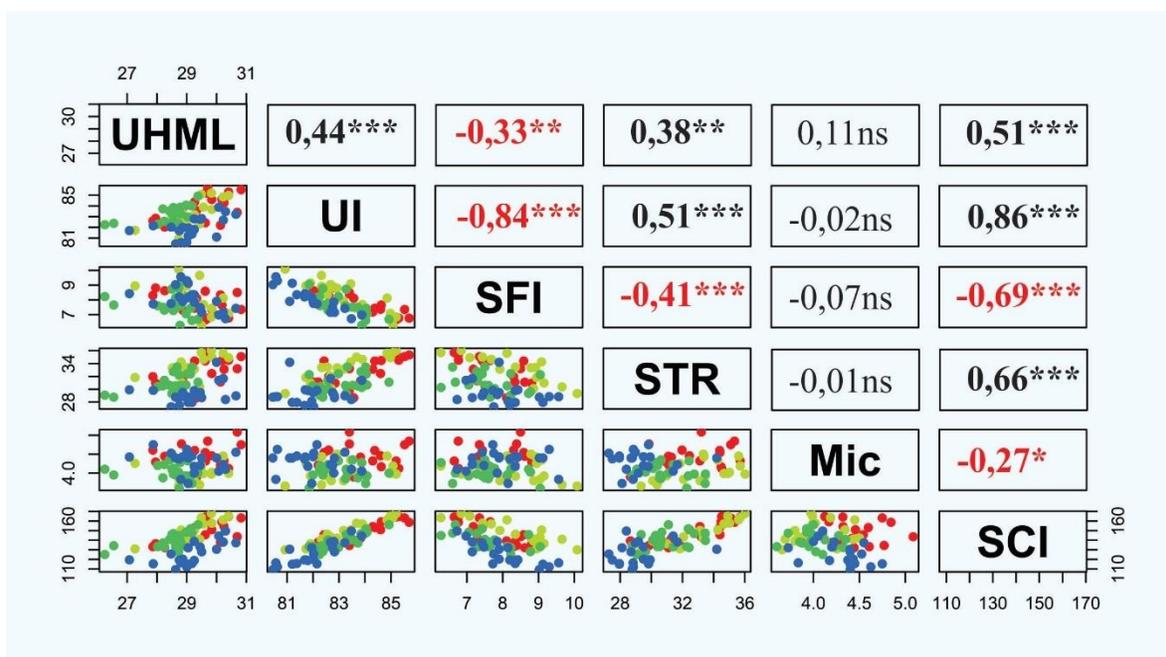
**Tabla 11.** Componentes de la varianza (como porcentaje de la varianza total) asociado con ambiente (A), variedad (V), la interacción entre estos factores (A \* V), el bloque dentro del ambiente, y la varianza del error o residual. Referencias: UHML: largo medio de fibra de la mitad superior; UI: uniformidad de largo de fibra; SFI: índice de fibras cortas; Str: resistencia de fibra; Mic: micronaire; SCI: índice de hilabilidad; MG: materia grasa; Prot: proteína.

	UHML	UI	SFI	Mic	Str	SCI	MG	Prot
Ambiente	8,1	19,3	5,3	28,1	35,1	33,8	17,0	67,9
Variedad	44,1	23,0	24,0	19,4	7,1	31,3	6,2	0,3
A*V	3,77	4,8	0,0	11,2	14,5	2,5	6,9	0,0
Bloque (ambiente)	1,5	0,0	1,1	2,5	2,2	0,0	9,8	0,0
Residual	42,6	52,9	69,6	38,8	41,1	32,4	60,1	31,8

#### 2.4.5 Correlación entre los parámetros de calidad

Las mediciones de correlación entre los parámetros de calidad tecnológica de fibra son fundamentales para examinar las relaciones que existen entre ellos y, del mismo modo, cuantificar la magnitud de la asociación entre estas variables. El resultado de este análisis se presenta en la Figura 23, donde se detalla la relación de cada uno de los parámetros tecnológicos de calidad de fibra, con los demás estudiados en los 4 ambientes durante el experimento.

UHML se correlacionó de manera positiva con UI, Str y SCI y negativa con SFI. Asimismo, UI registró correlaciones significativas y positivas, tanto con Str como con SCI, no obstante, y al igual que UHML, presentó correlación negativa con SFI. En el parámetro SFI, se observó correlaciones significativas y negativas con Str y SCI. Además, Str al igual que UHML y UI, exhibió correlaciones positivas con SCI. Conjuntamente, el parámetro Mic solo registró correlación negativa con SCI. Cabe destacar que los resultados del análisis de correlación demuestran que SCI (como fue descrito en la introducción) está determinado por los parámetros UHML, UI, SFI, Str y Mic, entre otros, y en este punto, se puede añadir que mayores valores de SCI estarán compuestos por cultivares que presenten, por un lado, mayores UI, Str y UHML y, por otro lado, menores SFI y Mic. Por último, es importante mencionar que todos los parámetros de calidad de fibra presentaron distribuciones normales y correlaciones significativas entre ellos (Figura 23).



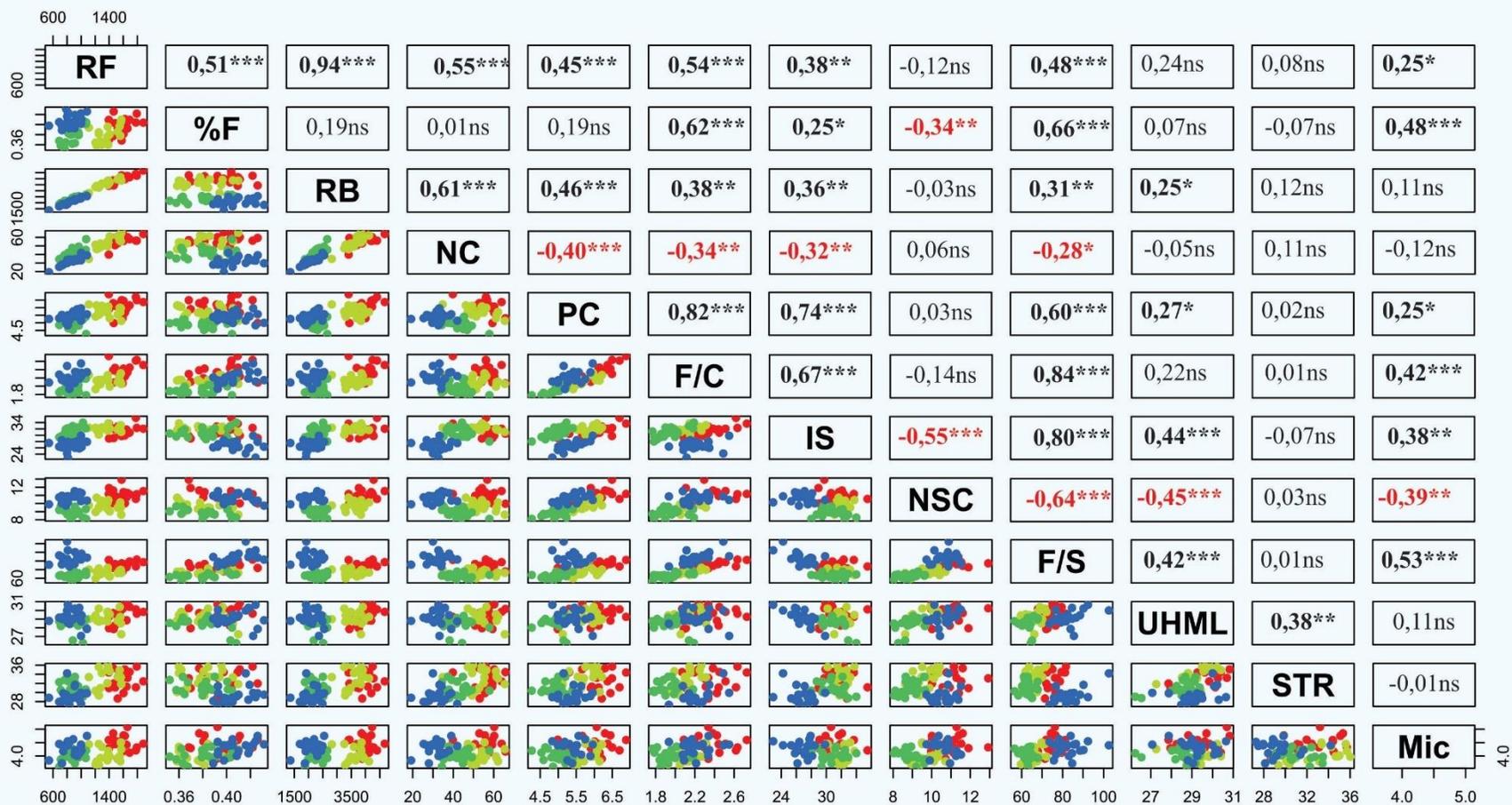
**Figura 23.** Panel de correlaciones parciales entre los parámetros de calidad de fibra. Referencias: UHML: largo medio de fibra de la mitad superior; UI: uniformidad de largo de fibra; SFI: índice de fibras cortas; STR: resistencia de fibra; Mic: micronaire; SCI: índice de hilabilidad. En el triángulo superior derecho se encuentran los valores de las correlaciones de Pearson y su significancia, siendo \*:  $p < 0,05$ ; \*\*:  $p < 0,01$  y \*\*\*:  $p < 0,001$ . El triángulo inferior izquierdo muestra la distribución entre cada una de las variables analizadas de a pares. Cada punto representa el promedio de una variedad en un ambiente siendo los puntos rojos (FSI) y amarillos (FSII) la campaña I y los puntos verdes (FSI) y azules (FSII) la campaña II.

#### *2.4.6 Relación entre los parámetros de calidad y las variables de rendimiento*

Resulta importante conocer y analizar las relaciones existentes entre los componentes de rendimiento y los parámetros de calidad tecnológica de fibra, para esto se realizó un panel de correlaciones parciales (Figura 24) entre todos los componentes de rendimiento y tres de los parámetros de calidad tecnológica de fibra (UHML, Str y Mic) que fueron seleccionados debido a la importancia en la comercialización.

En primer lugar, UHML registró correlaciones positivas con: RB, PC, IS y F/S. Además, solo registró correlación negativa con NSC. En segundo lugar, para el parámetro Str, no se observaron correlaciones significativas con ninguno de los componentes de rendimiento, indicando que este parámetro se comportó de manera independiente en todos los ambientes analizados. En tercer lugar, Mic presentó correlaciones negativas con NSC y positivas con: RF, %F, PC, F/C, IS y F/S.

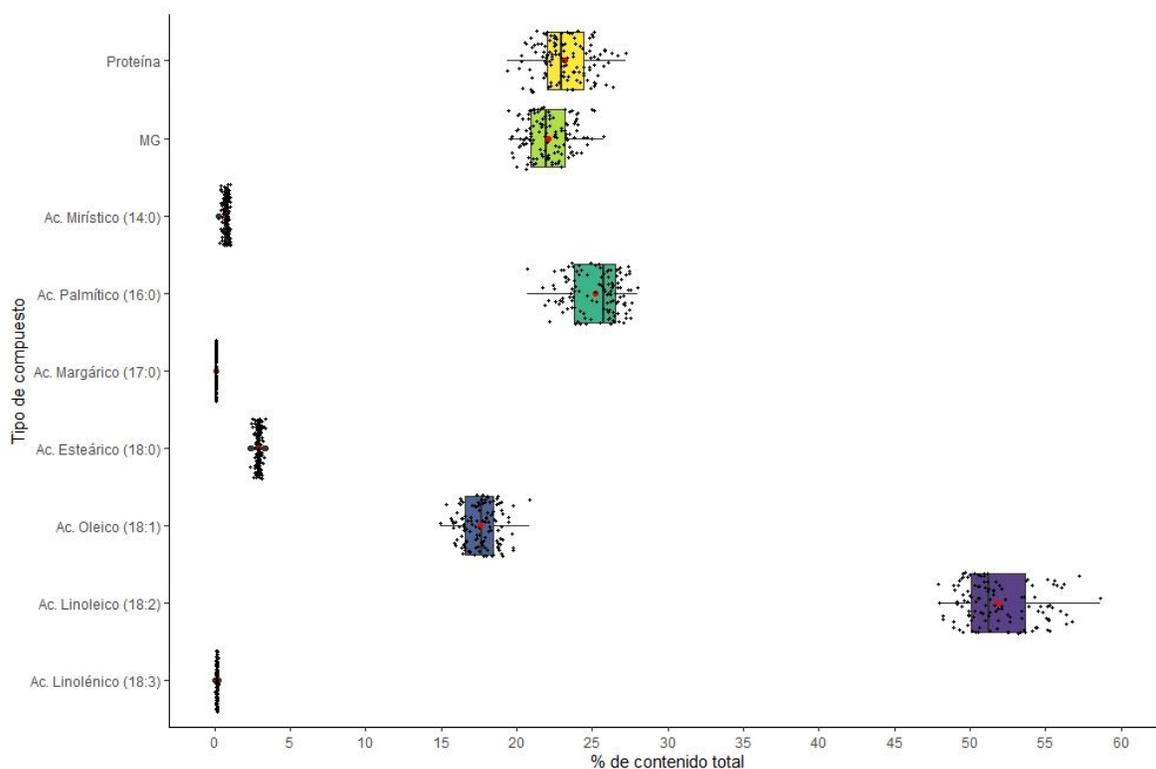
También, es importante mencionar que ninguno de los parámetros de calidad de fibra evaluado registró correlaciones negativas, tanto con RF como con RB. Observando los parámetros de fibra, como componentes del rendimiento dentro de la cápsula, resulta evidente que mayores rendimientos de fibra hayan estado acompañados por fibras en promedio más largas y gruesas. Asimismo, resulta interesante discutir sobre la relación entre las correlaciones negativas que se observaron entre todas las variables evaluadas, como por ejemplo que, al aumentar el NSC interfiere negativamente en UHML y Mic (Figura 24).



**Figura 24.** Panel de correlaciones parciales entre rendimiento de fibra (RF) y sus componentes de rendimiento: porcentaje de fibra (%F), rendimiento bruto (RB), número de cápsulas m<sup>-2</sup> (NC), peso promedio cápsula<sup>-1</sup> (PC), fibra cápsula<sup>-1</sup> (F/C), número de semillas cápsula<sup>-1</sup> (NSC), índice de semilla (IS), fibra semilla<sup>-1</sup> (F/S), UHML: largo medio de fibra de la mitad superior; Str: resistencia de fibra y Mic: micronaire. En el triángulo superior derecho se encuentran los valores de las correlaciones de Pearson y su significancia, siendo \*: p<0,05; \*\*:p<0,01 y \*\*\*:p<0,001. El triángulo inferior izquierdo muestra la distribución entre cada una de las variables analizadas de a pares. Cada punto representa el promedio de una variedad en un ambiente siendo los puntos rojos (FSI) y amarillos (FSII) la campaña I y los puntos verdes (FSI) y azules (FSII) la campaña II.

#### 2.4.7 *Contenido de subproductos de la semilla de algodón*

En la Figura 25 se observan los valores promedios para los distintos subproductos de la semilla de algodón. En este sentido, el contenido de proteína presentó un valor promedio de 23,3%, con un valor mínimo y máximo de 19,4 y 27,2%, respectivamente; mientras que, el contenido de aceites (MG) registró un promedio de 22,1%, presentando valores mínimos y máximos de 17,8 y 25,8%, respectivamente. Con respecto al perfil ácido de los aceites, se pudo observar que las mediciones de los ácidos mirístico (14:0), margárico (17:0) y linolénico (18:3) presentaron medias cercanas a 0. De los ácidos restantes, dentro de los saturados, se destacan la presencia del ácido palmítico (16:0), presentando una media de 25,2%, con valores que estuvieron entre 20,7 y 28,0%, y del ácido esteárico (18:0) con un promedio de 2,9% y valores entre 2,4 y 3,4%. Asimismo, dentro de los insaturados, el ácido linoleico fue el que mostró la mayor media, con un valor de 51,9%, y una variación de entre 47,9 y 58,6%; mientras que el ácido oleico registró un valor promedio de 17,6%, con un valor mínimo y máximo de 14,9 y 20,9%, respectivamente (Figura 25). También, es importante destacar que en todos los componentes, las medias están cercanas a las medianas, lo que indica que los valores se distribuyeron de manera normal. Para un mayor detalle de las mediciones, en la Tabla suplementaria 2 se encuentra la información detallada de los resultados promedios de las mediciones para cada una de las variedades en todos los ambientes evaluados.



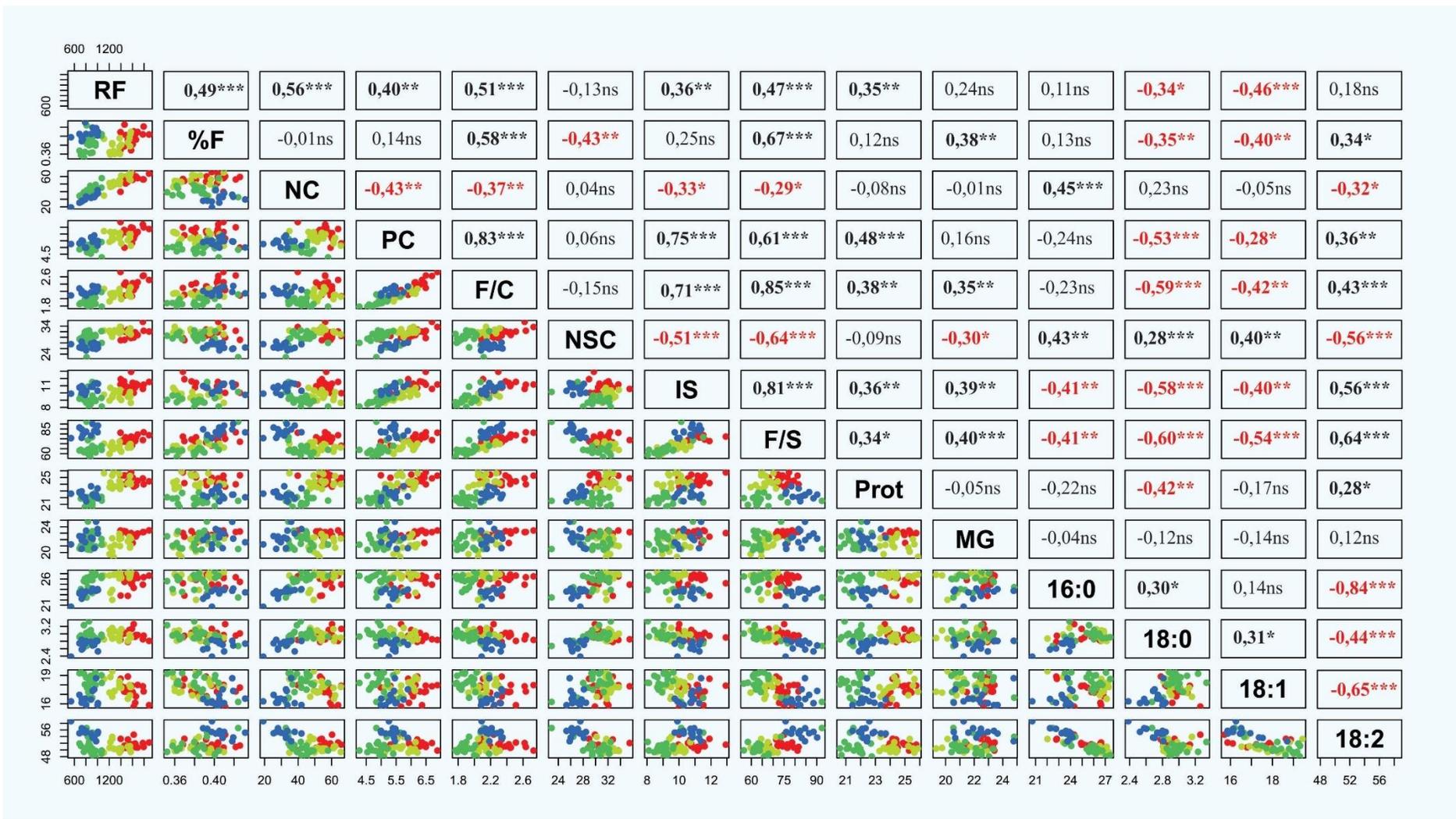
**Figura 25.** Gráfico de cajas de los principales subproductos de la semilla, cuantificados en el experimento en porcentaje del contenido total. MG: % de aceites o materia grasa. El punto rojo indica la media, mientras que la barra vertical indica la mediana para cada compuesto.

#### 2.4.8 Relación entre el contenido de subproductos de la semilla y los componentes de rendimiento

Como se puede observar en la Figura 26, el contenido de proteína en la semilla (Prot) registró correlaciones positivas con RF, PC, F/C, IS y F/S, sin registrar ninguna relación con el contenido de aceite (MG), y presentando relación positiva y negativa con el ácido linoleico y esteárico, respectivamente. Conjuntamente, MG presentó correlaciones positivas con los componentes de rendimiento, como %F, F/C, IS y F/S, y correlaciones negativas con NSC, sin presentar correlación con los compontes de ácidos grasos.

Con respecto a la composición acídica de los aceites de algodón, se pudo observar que el ac. Palmítico mostró correlaciones significativas y positivas con NC y NSC y correlaciones negativas con IS y F/S. Asimismo, este registró una correlación positiva y negativa, con los ac. Esteárico y Linoleico, respectivamente. El ac. Esteárico, al igual que el componente anterior, exhibió, por un lado, correlaciones positivas con NSC, ac. Palmítico y ac. Oleico y, por otro lado, correlaciones negativas con RF, %F, PC, F/C, IS, F/S, Prot y ac. Linoleico. El

ac. Oleico, presentó una correlación positiva con NSC; mientras que registró correlaciones negativas con RF, %F, PC, F/C, IS, F/S y con el Ac. Linoleico. Finalmente, el Ac. Linoleico (el de mayor importancia en términos de cantidad), al contrario de los otros componentes de la composición acídica de los aceites de algodón, registró, por un lado, correlaciones positivas con %F, PC, F/C, IS, F/S y Prot; mientras que, por otro lado, correlaciones negativas con NC y NSC. Como síntesis de la Figura 29 se observó que el RF y sus principales componentes de rendimiento tuvieron correlaciones positivas y significativas con el contenido de proteína y que, dentro de la composición acídica de los aceites, el Ac. Linoleico registró un comportamiento diferencial a los ácidos Palmítico, Esteárico y Oleico (Figura 26).



**Figura 26.** Panel de correlaciones parciales entre rendimiento de fibra (RF) y sus componentes de rendimiento: porcentaje de fibra (%F), número de cápsulas m<sup>-2</sup> (NC), peso promedio cápsula<sup>-1</sup> (PC), fibra cápsula<sup>-1</sup> (F/C), número de semillas cápsula<sup>-1</sup> (NSC), índice de semilla (IS), fibra semilla<sup>-1</sup> (F/S), contenido de proteína (Prot), aceite (MG), ac. Palmítico (16:0), ac. Estearico (18:0), ac. Oleico (18:1) y ac. Linoleico (18:2). En el triángulo superior derecho se encuentran los valores de las correlaciones de Pearson y su significancia, siendo \*: p < 0,05; \*\*: p < 0,01 y \*\*\*: p < 0,001. El triángulo inferior izquierdo muestra la distribución entre cada una de las variables analizadas de a pares. Cada punto representa el promedio de una variedad en un ambiente siendo los puntos rojos (FSI) y amarillos (FSII) la campaña I y los puntos verdes (FSI) y azules (FSII) la campaña II.

## 2.5 Discusión

Para cumplir con los objetivos propuestos en este capítulo, se realizó un experimento donde se cuantificaron los parámetros de calidad de fibra y algunos de los subproductos de la semilla de cultivares, con diferentes años de lanzamiento, durante dos campañas consecutivas y en dos fechas de siembra por campaña. Este capítulo estuvo abocado a analizar las diferencias entre las variedades y fechas de siembra utilizadas y su efecto sobre los parámetros tecnológicos de calidad de fibra, además del contenido de proteínas, aceites y el perfil ácido de los mismos. Es importante mencionar que este trabajo es el primero que se realiza para el cultivo de algodón en Argentina, donde se permite explorar las variaciones de las variables antes mencionadas, en variedades utilizadas en los últimos 50 años, cuantificando las tasas de progreso genético y evaluando las relaciones registradas entre los componentes de rendimiento, la calidad de fibra y el contenido de subproductos de la semilla.

### 2.5.1 *Análisis de la varianza de los parámetros de calidad tecnológica de fibra y subproductos de la semilla de algodón*

En el presente capítulo, se pudo obtener la información necesaria para determinar que los parámetros de calidad de fibra analizados presentaron diferencias significativas entre las variedades y fechas de siembra utilizadas en el experimento, siendo el micronaire el único parámetro que registró interacción entre los factores de variación del experimento. Asimismo, entre los subproductos de la semilla analizados, solamente el contenido de aceite registró diferencias entre las fechas de siembras utilizadas, sin observarse diferencias entre cultivares, tanto para proteína como para contenido de aceite.

Con respecto a los valores obtenidos, los parámetros de calidad tecnológica de fibra de algodón argentino registraron niveles similares a diversos estudios recientemente reportados en otros países en cultivares de la especie *G. hirsutum*, indicando que los parámetros de calidad del algodón argentino están en niveles similares que los principales países productores de algodón (Abdelraheem et al., 2020; Ballester et al., 2021; Gao et al., 2020; McClanahan et al., 2020; Zeng et al., 2021). Además, estos excelentes valores también fueron reportados por estudios realizados en el país en los últimos años, lo que indica que la calidad de fibra producida es estable en las diversas regiones productoras de algodón del país (Tarrago et al., 2019; Tcach y Paytas, 2020; Winkler et al., 2018).

Entre los cultivares utilizados en el experimento, en términos de parámetros de calidad de fibra, se destacaron las variedades Poraite, Deltapine 1238 y NuOpal, presentando altos valores, tanto en el largo, como en la resistencia e índice de hilabilidad. También, dentro del grupo de los cultivares sobresalientes, se pueden mencionar las variedades Chaco 510 y 520 de INTA que fueron cultivadas entre las décadas del 80 y 90. Las variedades como Stoneville 508, Porá 3 y Guaraní fueron aquellas que obtuvieron los menores registros en cuanto a los parámetros de calidad de fibra. Por otra parte, con respecto a las fechas de siembra, la temprana fue la que registró mejores parámetros de calidad, con excepción del largo de fibra. Además, los resultados hallados en este trabajo demostraron que los parámetros de calidad de fibra obtenidos en cultivares argentinos varían según la variedad y el ambiente en el cual la fibra crece y se desarrolla. Sumado a esto, es importante mencionar que la forma de comercialización de algodón en la actualidad en el país, a través del método del clasificador y, sin tener en cuenta los parámetros de equipos como el HVI, podría ser perjudicial ya que, en general, no se ofrecen beneficios económicos directos, tanto para los productores como para los encargados de los programas de mejoramiento genético, al conseguir mejores parámetros de calidad tecnológica de fibra. Esto pudo haber sido uno de los motivos de que variedades obsoletas, de excelente calidad de fibra, como Chaco 510 y 520 hayan dejado de tener presencia en el porfolio de variedades a utilizar en el país y que las nuevas variedades lanzadas por INTA (Porá 3 y Guaraní) estén dentro de los cultivares con bajos niveles de calidad de fibra.

#### *2.5.2 Progreso genético de los parámetros de calidad tecnológica de fibra y subproductos de la semilla de algodón*

Para comenzar el análisis de esta sección, se remarca que según Royo et al. (2007), dentro de los objetivos específicos del programa de mejoramiento genético de INTA, se encuentran el incremento de la resistencia y el largo de fibra del algodón, manteniendo el micronaire en valores de entre 3,8 a 4,2. Asimismo, es importante destacar que entre los objetivos no se mencionan las proteínas y aceites de la semilla como elementos a mejorar en el programa de mejoramiento.

Al igual que para el rendimiento de fibra y todos sus componentes (Capítulo 1), este trabajo posibilitó la estimación de las tasas de progreso genético del programa de mejoramiento

genético de INTA en el cultivo de algodón, para los principales parámetros de calidad de fibra y subproductos de la semilla, como la proteína y el contenido de aceite. En este sentido, en la mayoría de las variables analizadas en este capítulo, con excepción al contenido de aceite, no se registraron incrementos o ganancias significativas a lo largo del tiempo. Resulta útil mencionar que, el hecho de que los parámetros de calidad no hayan disminuido ante los incrementos significativos registrados, en términos de rendimiento de fibra y algunos de sus componentes, harían que los resultados se consideren positivos para el programa de mejoramiento. Con respecto a esto, son varios los trabajos reportados en la bibliografía donde, al igual que en el presente trabajo, no se presentaron incrementos significativos a lo largo del tiempo en los parámetros de calidad de fibra (Bridge et al., 1971; Campbell et al., 2011; Culp y Green, 1992; Wells y Meredith, 1984c; Zhang et al., 2005). El principal motivo por el cual estos autores explicaron la falta de progreso genético en estas variables fue que el principal objetivo de mejoramiento siempre ha sido el rendimiento de fibra, dejando estas variables en un segundo orden de importancia. Asimismo, Meredith et al. (1997) asoció la falta de progreso en algunos parámetros de calidad de fibra, al hecho de la ausencia de variabilidad genética útil en las poblaciones de mejoramiento en los diferentes programas, sumado al énfasis de estos para producir variedades que portaran resistencia a herbicidas e insectos. Por otra parte, existen reportes de trabajos de progreso genético donde los parámetros tecnológicos de la calidad de fibra fueron incrementados a lo largo de la historia (Bayles et al., 2005; Pettigrew et al., 2013; Zhang et al., 2019). En este caso, Bayles et al. (2005) asocian el incremento de estos parámetros a través del tiempo al hecho de que el objetivo principal de estos programas estaba centrado en la calidad de fibra y que, las variedades no presentaban altos potenciales de rendimiento. Además, Zhang et al. (2019) asoció el incremento registrado en el programa de mejoramiento de la variedad americana Acala, a la utilización del HVI desde 1970, que permitió detectar los incrementos significativos de estos parámetros.

Un párrafo aparte merece el parámetro de micronaire, el cual es la única variable de calidad de fibra analizada en el experimento que presentó interacción entre las fechas de siembra y las variedades y años de lanzamiento evaluados. Este parámetro, como se mencionó en la introducción, es una medida indirecta que realiza el HVI para la estimación de la finura (o grosor) y madurez de la fibra. El mismo, presentó una correlación negativa con la resistencia

y correlaciones positivas con rendimiento de fibra y porcentaje de fibra. Esto sugiere que los programas de mejoramiento podrían centrarse en el aumento de este parámetro y que esto llevaría a un incremento del rendimiento, sin afectar significativamente los demás parámetros de calidad de fibra. Sin embargo, este razonamiento no es tan sencillo, debido a que incrementos en el grosor de la fibra dificultan el proceso textil, además que, ante valores mayores que 5,0 los productores reciben castigo en la comercialización. En este sentido, Zhang et al. (2005) coinciden en que, los programas de mejoramiento genético deben realizar los suficientes esfuerzos para prevenir que los nuevos cultivares tengan incrementos excesivos en este parámetro.

Por otro lado, con respecto al análisis del progreso genético de los subproductos de la semilla estudiados en este experimento, escasos son los antecedentes asociados a estos temas en la bibliografía de algodón. Los motivos podrían estar asociados a que la mayoría de los trabajos en el cultivo se limitaron principalmente al estudio del rendimiento, sus principales contribuyentes y las propiedades de calidad de la fibra, sumado a la dificultad y costo de realizar las mediciones en semilla. No obstante, existen reportes de estudios relacionados con la variabilidad genética del contenido de aceites y proteínas entre diferentes cultivares, estudios de heterosis y habilidad combinatoria, además de experiencias en ensayos teniendo en cuenta interacciones genotipo x ambiente (Gotmare et al., 2004; Khan et al., 2010; Kohel y Cherry, 1983; Liu et al., 2002; Paytas et al., 2014). En este sentido, los valores registrados tanto para aceite y proteína, como para la composición acídica del aceite cuantificado en el experimento, coinciden en los valores promedios con los estudios mencionados anteriormente. Además, este trabajo, a diferencia de los mencionados, tuvo la particularidad de encontrar aumentos significativos de contenido de aceite entre los diferentes cultivares en los años de lanzamiento evaluados. Del mismo modo es importante remarcar que estas mediciones, permiten ajustar las curvas de los niveles actuales de aceites y proteínas, con fines comerciales, respecto a la situación actual de la producción del algodón.

Por último, si se quisiera realizar mejoramiento de los subproductos, como el contenido de proteínas y aceites en la semilla de algodón, diferentes técnicas han sido reportadas en la bibliografía entre las que se encuentran el método de pedigree (Singh y Narayanan, 1991), cruzamientos complejos (Straumal, 1981), introgresión genética (Kyzalakova, 1976) y mutaciones (Bhat y Dani, 1993). Estos métodos de mejoramiento incrementaron el contenido

de aceite y/o proteína, modificando diferentes aspectos del cultivo, entre los que se encuentran: reducción en la porción de la corteza e incrementos en la porción del núcleo en el peso total de la semilla, incrementos en la concentración de aceite y/o proteína, mejora genética del perfil de ácidos grasos poliinsaturados, entre otros. En este sentido, el avance más importante en el cultivo se realizó cuando trabajos de ingeniería genética posibilitaron desarrollar un cultivar de algodón sin gossypol en las semillas (Sunilkumar et al., 2006). Este compuesto es una toxina presente generalmente en todos los órganos de la planta de algodón, que sirve como una protección ante insectos, pero hace que la semilla sea intolerable para la alimentación humana y de animales no rumiantes (Oosterhuis, 1990).

### *2.5.3 Componentes de la varianza*

En términos generales, y a diferencia de lo registrado para los componentes de rendimiento, la fuente de variación más importante no fue el componente ambiental, con excepción de las variables de contenido de proteínas e índice de hilabilidad. En los demás parámetros, el componente residual fue el que mayor porcentaje de la varianza total registró, con la excepción del largo de fibra, donde el componente genético fue el que mayor porcentaje de la varianza representó. Algunos de los motivos que se podrían relacionar con estos resultados son que, en este tipo de mediciones se agrega una componente más a la varianza residual, que es la variación del equipo de medición y las condiciones presentes en el momento de la cuantificación. Sumado a esta, existe una importante variación de estos parámetros en cada una de las plantas cosechadas e incluso dentro de cada una de las cápsulas. En este sentido, el momento de cosecha y el tiempo que la fibra estuvo expuesta a las condiciones ambientales antes de la cosecha, pueden también repercutir negativamente en algunos de los parámetros de calidad de fibra e incrementar la variación (Scarpin et al., 2017b).

Los resultados mencionados establecieron que el parámetro largo de fibra fue el que mayor dependencia del cultivar o genética registró en el experimento. Existen varios reportes de este tipo de estudios para el cultivo de algodón, por un lado, algunos reportan resultados en concordancia con lo presentado en este trabajo, donde el componente más importante del largo de fibra es la genética (Campbell et al., 2012; Cooper y DeLacy, 1994); mientras que otros registraron un mayor efecto ambiental sobre esta variable (Blanche et al., 2006; Meredith Jr, 2003). Los autores adjudican este tipo de cambios al número de cultivares que

se utilizaron y la cantidad de ambientes evaluados en cada trabajo. Los cultivares utilizados en Argentina no presentaron grandes variaciones entre los parámetros mencionados, y el número de ambientes evaluado no fue de tantos ambientes como en los trabajos aludidos, donde el componente ambiental registrado fue el más importante. El otro parámetro de suma importancia es la resistencia de la fibra, donde los resultados del experimento registraron que el componente ambiental y de interacción (después del componente residual de la varianza) participó en mayor medida que el componente genético. Al igual que para el largo de fibra, en la bibliografía existen reportes donde el componente genético de la varianza presentó mayor porcentaje de variación para este parámetro (Campbell y Jones, 2005; Meredith Jr, 2003); mientras que otros trabajos ubicaron al componente ambiental, al igual que en este trabajo, como la mayor fuente de variación para la resistencia de fibra (Campbell et al., 2012; Meredith Jr et al., 2012). Con respecto al micronaire, otro de los principales parámetros que determinan la calidad final de fibra del algodón, existe en la bibliografía un consenso en los resultados reportados que establecen que el componente más importante para la definición de este parámetro es ambiental (Campbell et al., 2012; Campbell y Jones, 2005; Meredith Jr, 2003; Meredith Jr et al., 2012). En este sentido, los autores concuerdan en el hecho de que el micronaire tiene mayor dependencia del ambiente, debido a que, por un lado, su crecimiento y desarrollo depende fundamentalmente de la deposición de celulosa en la pared secundaria de cada una de las fibras y, por otro lado, este proceso sucede en un largo periodo de tiempo, además de estar influenciado directamente por las condiciones de crecimiento que registra la planta en ese periodo (Snider et al., 2013).

Por otro parte, la concentración de aceite y proteína en la semilla no posee en la bibliografía la extensa cantidad de reportes que relacionen su variación y la asocien con los componentes ambientales y genéticos, como existen en términos de componentes de rendimiento y parámetros de calidad de fibra. Asimismo, los resultados hallados en el experimento, coinciden con lo reportado por Meredith Jr et al. (2012) quienes sugirieron que el contenido de aceite, debido a la mayor contribución de la parte genética, podría ser manipulado genéticamente de una manera más rápida y eficiente que la concentración de proteína. Los resultados hallados en los cultivares que se utilizaron en el experimento ponen de manifiesto que existe mayor variación genética en la concentración de aceite que en términos de proteína.

#### 2.5.4 *Relaciones entre componentes de calidad, subproductos de la semilla y rendimiento*

Teniendo en cuenta que las relaciones entre los componentes de rendimiento y parámetros de calidad de fibra son complejas y que, están influenciados por la genética, el ambiente y la interacción entre estos factores (Worley et al., 1974), se lograron obtener correlaciones significativas para la mayoría de las variables de calidad de fibra y subproductos de la semilla con los componentes de rendimiento de algodón.

Con respecto a las correlaciones entre los parámetros de calidad tecnológica de fibra, los resultados hallados en el experimento nos indican que la selección de variedades se podría realizar simultáneamente mejorando largo, uniformidad y resistencia de fibra, sin afectar el micronaire. Con respecto a esto, tanto Campbell et al. (2012) como Karademir et al. (2010) reportaron al igual que en este trabajo, correlaciones significativas y positivas entre el largo y resistencia de fibra, y entre la resistencia y uniformidad de largo de esta. Sin embargo, Campbell et al. (2012) en el mismo estudio y a diferencia de lo encontrado en este trabajo, detectaron relaciones negativas entre el largo y uniformidad de largo de esta. Por otro lado, Campbell et al., 2012 reportaron correlaciones negativas entre el micronaire y el largo y resistencia de fibra, algo que no se encontró en el experimento con los cultivares utilizados en Argentina en los últimos 50 años. El índice de hilabilidad fue influenciado positivamente por el largo, la uniformidad de largo y la resistencia de fibra; mientras que, el índice de fibras cortas y el micronaire lo afectaron de manera negativa. No existe en la bibliografía trabajos que reporten resultados basados en este índice, algunos de los motivos podrían ser, que esta variable es un parámetro que consiste en una combinación del resultado de diferentes variables, además de ser un desarrollado de una empresa privada y pensado para la parte textil de la cadena algodonera.

En segundo lugar, se efectuó el análisis de correlaciones parciales entre los parámetros de calidad de fibra y componentes de rendimiento. Numerosos estudios reportaron asociación entre el rendimiento de algodón y los parámetros de calidad tecnológica de fibra (Campbell et al., 2012; Culp y Harrell, 1975; Harrell y Culp, 1976; Karademir et al., 2010; Snider et al., 2013; Stewart y Kerr, 1974), algunos de estos reportaron una asociación negativa entre el rendimiento de fibra y los parámetros de calidad, no obstante, en el estudio realizado el resultado de mayor importancia estuvo asociado a la ausencia de relación negativa entre el rendimiento de fibra y el largo, resistencia y micronaire. Este resultado, en términos de largo

y resistencia de fibra, no coincide con lo reportado por Campbell et al. (2012) y Karademir et al. (2010) quienes en sus trabajos reportaron relaciones negativas entre los componentes analizados. Por otro lado, Snider et al. (2013) informó correlaciones positivas entre rendimiento de fibra, largo y resistencia de fibra. El motivo por el cual los resultados no podrían coincidir, con lo mencionado por los primeros dos autores, podría estar asociado al hecho de que estos en sus trabajos plantearon altas relaciones negativas entre el porcentaje de fibra y, tanto el largo como la resistencia de fibra, y eso posiblemente haya traccionado a la relación negativa entre el rendimiento de fibra y los componentes de calidad. En cambio, en el experimento realizado con los cultivares de Argentina, el porcentaje de fibra no contribuyó en la misma magnitud con el rendimiento de fibra como en los trabajos citados. Asimismo, los trabajos reportados coinciden con los resultados de correlaciones positivas entre el micronaire y el rendimiento de fibra (Campbell et al., 2012; Karademir et al., 2010; Snider et al., 2013). Este resultado corrobora el hecho de que fibras con mayor deposición de celulosa en la pared secundaria incrementan el rendimiento de los cultivares. La mayoría de los componentes de rendimiento que presentaron altas tasas de correlación con rendimiento de fibra presentaron del mismo modo, correlaciones significativas y positivas con los parámetros de calidad de fibra evaluados. Estos son los casos del rendimiento bruto y peso promedio por cápsula. En este sentido, es importante mencionar que tanto el largo de fibra como el micronaire correlacionaron de una mayor manera con el peso promedio de cápsulas que con el número de las mismas, lo que significa que las cápsulas que presentaron mayor peso tenían fibras más largas y gruesas. Del mismo modo, en los cultivares con mayores índices de semilla, las fibras presentaron mayor resistencia y micronaire, no obstante, cuando el número de semillas dentro de la cápsula aumentó, ambas variables de calidad presentaron menores valores. También, el peso de la fibra por semilla estuvo positivamente asociado con el largo de fibra y con el micronaire, sin afectar la resistencia de la fibra. Estos resultados no coinciden con Smith y Coyle (1997) quienes informaron que incrementos de largo de fibra y micronaire producen una disminución en la cantidad y resistencia de estas por semilla, debido a que este cambio en la distribución de asimilados, produce una re-alocación de carbohidratos para producir una fibra más gruesa y/o larga. En este sentido, el programa de mejoramiento genético deberá tener en cuenta que futuros incrementos en el porcentaje de fibra y/o en el

peso de fibra por semilla podrían llevar a disminuciones significativas de parámetros de calidad de fibra como la resistencia.

En tercer lugar, se ejecutó el análisis de correlación entre los componentes de rendimiento y los subproductos de la semilla y el perfil ácido de aceites. En este sentido, es importante remarcar que los valores promedios encontrados para los niveles de proteína, aceite y perfil ácido del aceite, coincidieron con los reportados en la bibliografía para la especie *G. hirsutum* (Agarwal et al., 2002). A diferencia de la temática del párrafo anterior, no existen en la bibliografía cuantiosos ejemplos que hayan trabajado en la relación entre los componentes de rendimiento y de calidad de la semilla. Conjuntamente, se debe recalcar la dificultad que trae el hecho de realizar estos análisis y que, en el presente trabajo, las correlaciones fueron ejecutadas con dos repeticiones por ambiente y que algunos cultivares no pudieron medirse. A pesar de esto existen reportes que informaron que tanto el contenido de aceite como el de proteína están influenciados por la variedad y el manejo que se realiza en el cultivo y el ambiente (Paytas et al., 2014; Stansbury et al., 1956; Tharp et al., 1949). En este experimento, se obtuvieron resultados entre los que se puede resaltar que el contenido de proteína y aceite no presentó correlaciones teniendo en cuenta todos los datos, sin embargo, al separar los datos según la fecha de siembra, se pudo observar regresiones entre las variables positivas y negativas, para fecha de siembra temprana y tardía, respectivamente (datos no mostrados). En este sentido, importantes relaciones negativas entre estos componentes fueron informadas por Pandey y Thejappa (1975) en 4 especies del género *Gossypium*. Asimismo, por un lado, la concentración de aceite no presentó correlaciones con ninguno de los ácidos del perfil de aceites evaluado en el experimento; mientras que el contenido de proteína registró correlación negativa y positiva con el ac. Esteárico y Linoleico, respectivamente. Con respecto a esto, los ácidos Palmítico, Esteárico y Oleico, registraron correlaciones significativas y positivas entre sí y correlaciones negativas con el ácido Linoleico. Por otra parte, otro de los resultados que mayor importancia presentó fue el hecho de que el rendimiento de fibra registró correlaciones negativas con el Ac. Esteárico y Ac. Oleico. A diferencia del presente trabajo, correlaciones significativas y positivas entre el rendimiento y el contenido de aceite fueron reportadas en la bibliografía por Dani (1984) en cultivares utilizados en la India. Además, el porcentaje de fibra, no presentó correlación con el contenido de proteínas y registró correlación positiva con el contenido de aceite. También,

en esta variable se observaron correlación positiva con el Ac. Linoleico y negativas con el Ac. Palmítico y Oleico. Resulta muy interesante resaltar el comportamiento que se observó entre la cantidad de semillas por cápsula, su tamaño promedio y el contenido de los diferentes ácidos grasos. En este sentido, se pudo observar que a medida que aumentaron el número de semilla por cápsulas y, por lo tanto, disminuyeron su tamaño, se registraron mayores porcentajes de los ácidos Palmítico, Esteárico y Oleico y menores porcentajes de Linoleico. Al contrario, cuando se registraron mayores tamaños de semilla, se asociaron con altos niveles de Linoleico y menores valores de ácidos Palmítico, Esteárico y Oleico. Asimismo, el tamaño de la semilla, correlacionó de manera positiva, tanto con el contenido de aceite y proteína, resultados que concuerdan con lo reportado por Liu et al. (2002). Es importante tener en cuenta que, si se mantiene la tendencia a disminuir el tamaño de la semilla, lo cual se observó para las variedades evaluadas en la fecha de siembra temprana, se podría afectar todos los parámetros que están positivamente correlacionados con ella, como el largo promedio de fibra, micronaire, proteína, aceite y contenido de ac. Linoleico.

## **2.6 Conclusión**

La información recabada en este capítulo es de suma importancia, tanto para el programa de mejoramiento como para la comercialización de fibra y semilla de algodón en el país. En este sentido, en la presente tesis se cuantificaron los valores de las variedades actuales y obsoletas, en distintas campañas y fechas de siembra, que pueden ser útiles como progenitores para futuras mejoras de algunos parámetros de calidad de fibra. Del mismo modo, se realizaron estudios de correlación que demostraron cuales son los parámetros objetivos o target para incrementar los parámetros de calidad, sin provocar pérdidas en el rendimiento de fibra. Por otra parte, la medición de los componentes de calidad de semilla, únicas para el cultivo de algodón en el país, sientan las bases para futuros trabajos que puedan dilucidar los mecanismos que modifiquen o aumenten las concentraciones de estos subproductos para la mejora en la calidad del mismo.

## CAPÍTULO 3

Efecto de las condiciones ambientales sobre el rendimiento, la calidad de fibra y los subproductos en algodón

### **3.1 Introducción**

El rendimiento de fibra, sus componentes, los parámetros de calidad de fibra y las variables relacionadas con la calidad de la semilla de algodón han demostrado ser afectados por la fecha de siembra o la campaña en la cual se llevaron a cabo los experimentos en la mayor parte de los cultivares evaluados. Es bien conocido que el ambiente, regido por las condiciones ambientales, los parámetros edáficos y las decisiones de manejo aplicadas, afectan significativamente, tanto el rendimiento como la calidad de fibra y semilla obtenida en el cultivo de algodón.

Como se mencionó en la introducción general, la temperatura es el factor ambiental primordial que influye en el desarrollo del cultivo de algodón (Wells y Stewart, 2010). Tanto la iniciación como la duración de los distintos estados del desarrollo dependen de la interacción del cultivar con las condiciones ambientales, siendo la temperatura el factor ambiental de mayor importancia para esta característica (Bourland et al., 1992). La fecha de siembra es la práctica de manejo que poseen, tanto los productores como los técnicos, para poder variar la temperatura a la cual exponen las diferentes etapas de los cultivares a utilizar, siendo la tasa de desarrollo y crecimiento altamente dependientes de la fecha de siembra (Wells y Stewart, 2010). Dentro de cada estación de crecimiento, los rendimientos de fibra son mayores cuanto más temprano se lleva a cabo la siembra, siempre y cuando no existan limitaciones hídricas ni nutricionales (Paytas y Ploschuk, 2013). De acuerdo con las condiciones ambientales del norte santafesino, se establecieron como fechas de siembras óptimas aquellas que se llevan a cabo desde principios de octubre a mediados de noviembre (Winkler et al., 2018). No obstante, con siembras tempranas se observaron efectos negativos en el establecimiento del cultivo, debido al efecto de las bajas temperaturas; mientras que las siembras tardías realizadas en diciembre están expuestas a un mayor régimen térmico, que acelera de manera significativa la tasa de desarrollo y, por lo tanto, disminuyen el periodo de crecimiento (Winkler et al., 2018).

Por otro lado, en la literatura se establece que el rendimiento de fibra del cultivo de algodón depende de la tasa de radiación solar, contenido de agua en el suelo, temperatura, fertilidad del mismo, concentración de CO<sub>2</sub> y humedad relativa ambiental (Heitholt, 1999). En este sentido, la temperatura afecta la tasa fotosintética, siendo el algodón un cultivo moderadamente tolerante al calor, con una temperatura óptima que depende del contenido de

agua en el suelo, de la humedad relativa y de la tasa de radiación solar (Christiansen, 1986). No obstante, temperaturas menores a 15 °C van en detrimento del crecimiento y del rendimiento; mientras que temperaturas mayores a 35 °C afectan al cultivo debido a que reducen la viabilidad del polen e incrementan la respiración nocturna (Heitholt, 1999). Las altas temperaturas nocturnas, o las temperaturas mínimas diarias, han sido foco de varios estudios. En este sentido, Gipson y Joham (1968) demostraron que 21°C era la temperatura nocturna óptima, si bien informaron variaciones en los genotipos evaluados. Además, Brown et al. (1995) reportaron que el aumento artificial de las temperaturas nocturnas (2 a 5 °C por encima de la temperatura ambiente) disminuyó el rendimiento en un ambiente y Haigler et al. (1991) demostraron que las bajas temperaturas nocturnas disminuían el alargamiento y la tasa de crecimiento de materia seca de las fibras cultivadas en óvulos in vitro. Asimismo, el agua disponible en el suelo es quizás el factor más importante, no solo para la producción de algodón sino para la vida. Las relaciones hídricas en las plantas es un tema extremadamente complejo y ciertamente mayor que el alcance de la presente tesis. En esta temática, Marani et al. (1985) sugirieron que dos mecanismos diferentes pueden ser responsables de los efectos negativos del estrés hídrico en las tasas de fotosíntesis del cultivo y, por lo tanto, en el rendimiento de algodón. El primero de ellos es un efecto sobre las hojas individuales, a través del cierre de los estomas y la disminución de las actividades foliares relacionadas y, la segunda, una combinación de disminución de área foliar y senescencia foliar acelerada (Marani et al., 1985). También, el exceso de agua o anegamiento es perjudicial, ya que si ocurre en etapas tempranas afecta el establecimiento del cultivo y hacia finales del ciclo deteriora notablemente la calidad de la fibra con pérdidas muy significativas, puntualmente cuando las cápsulas han abierto y madurado. Por ejemplo, en la región algodonera del norte de la provincia de Santa Fe, Scarpin y Paytas (2017) reportaron disminuciones del 20 y 15% en el rendimiento de fibra para anegamientos de corta duración, realizados durante el periodo de primera flor abierta y 50% de floración, respectivamente. Por otro lado, la radiación solar que recibe el cultivo del algodón es un requerimiento fundamental ya que puede afectar, tanto el rendimiento final de fibra como su calidad (Paytas y Ploschuk, 2013). En este sentido, aquellos cultivos que crecen en ambientes con mayor radiación solar disponible tienen mayor capacidad fotosintética y carbono asimilable, comparados con aquellos que crecen con baja radiación solar disponible (Patterson et al., 1977). En consecuencia, aquellos ambientes con

baja radiación solar (días nublados sucesivos) pueden afectar directamente la producción de asimilados, con reducciones tanto en el rendimiento como en la calidad de fibra (Paytas et al., 2016; Pettigrew, 1994).

Por otra parte, el periodo crítico (PeC) para la determinación del rendimiento de un cultivo, se define como la etapa fisiológica en la que un estrés abiótico tiene el mayor impacto en la determinación del rendimiento (Kezer y Robertson, 1927). Para el cultivo de algodón, la etapa de mayor requerimiento de recursos para lograr la retención de cada una de las estructuras reproductivas, se encuentra centrada en su floración (10 días antes y después de la floración de cada estructura). Como el cultivo tiene un comportamiento indeterminado de floración, Paytas y Ploschuk (2013) establecieron como PeC del cultivo, para la determinación del número de cápsulas retenidas que llegarán a cosecha, una ventana de tiempo comprendida entre 10 días antes de la apertura de la primera flor y 10 días después del fin de la floración efectiva o cut-out. Existe también otro PeC para la definición de la calidad de fibra del algodón, por un lado, el largo de fibra se define entre el momento de floración y 20 a 30 días luego de la misma; mientras que el grosor y la resistencia se definen entre los 30 y 60 días después de la floración (Paytas y Ploschuk, 2013) para cada una de las cápsulas.

En este capítulo se pretende explicar el efecto que tuvieron las distintas condiciones ambientales que se registraron, relacionando las mismas con el ciclo de los diferentes cultivares, las variables de rendimiento y calidad obtenidas.

### **3.2 Objetivos**

- Cuantificar las variables meteorológicas registradas durante los experimentos y compararlas con los datos históricos.
- Cuantificar y diferenciar los principales eventos fenológicos y ciclos de las diferentes variedades utilizadas.
- Establecer relaciones entre las variables meteorológicas, el rendimiento de fibra y sus componentes y los parámetros de calidad de fibra y semilla.

### **3.3 Materiales y métodos**

En este punto es importante mencionar que en este capítulo se utilizaron los cultivares, localización, experimentos y arreglo estadístico descriptos en los puntos 1.3.1, 1.3.2, 1.3.3 y 1.3.4. Además, para este capítulo se realizaron las siguientes mediciones específicas:

### 3.3.1 *Condiciones ambientales*

Los datos meteorológicos fueron registrados diariamente en la estación meteorológica de INTA EEA Reconquista ubicada a 250 m del ensayo. Las variables medidas fueron: heliofanía, temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura de suelo, humedad relativa, evapotranspiración potencial según Penman (1948), tensión de vapor media, radiación global, velocidad y dirección del viento y precipitaciones diarias.

### 3.3.2 *Fenología*

Se registró el tiempo en días necesario para que el 50% de las plantas de cada parcela del primer bloque, en cada experimento, alcancen los estados de: emergencia (E), 1<sup>er</sup> pimpollo visible (1P), 1<sup>era</sup> flor abierta (1F), cut out (CO) y 1<sup>era</sup> cápsula abierta (1C). El estado de “cut- out” fue determinado cuando el número de nudos por encima de la última flor blanca en el tallo fue menor que cinco (Bourland et al., 1992).

Para cuantificar la duración de las etapas en las variedades, se utilizó la relación entre temperatura y tasa de desarrollo, a través del concepto de tiempo térmico con unidades de grados día (Monteith, 1984). Para el cálculo de la acumulación de grados día (GD) de este experimento se utilizó la  $T_b$  de 12 °C (Constable y Shaw, 1988), según la ecuación 14.

$$\text{GD: } \frac{(\text{temp. máx} - 12) + (\text{temp. mín} - 12)}{2} = \text{ecuación 14}$$

### 3.3.3 *Análisis estadístico*

En primer lugar, se realizaron promedios y se compararon con las series históricas de INTA Reconquista, que posee datos desde 1960 para las precipitaciones y desde 1970 para las demás variables cuantificadas. Las mismas se clasificaron según el mes y según el ambiente explorado.

Para el cálculo de las sumas térmicas, se utilizó la temperatura diaria y temperatura base, según Ecuación 14, y se hicieron promedios y desvíos estándares de los cuatro ambientes explorados, para cuatro etapas fenológicas: primer pimpollo visible (1P), primera flor blanca

abierta (1F), cut-out (CO) y primera cápsula abierta (1C). En este sentido, se calculó la tasa de progreso genético, según año de lanzamiento (AL), tal como se describió en los capítulos anteriores.

Además, con los datos recabados de fenología y condiciones ambientales, se registraron las sumas (Rad, Hel y ETP) y promedios (temperatura máxima y mínima media), según el parámetro meteorológico para el PeC de cada una de las variedades (10 días antes de la apertura de la primera flor a 10 días después del fin de la floración efectiva o cut-out). Con estos valores se realizaron regresiones lineales con todas las variables de rendimiento y calidad cuantificadas.

Para todas las regresiones mostradas, el cálculo de la significancia, el coeficiente de determinación ( $r^2$ ) y los gráficos se realizaron con el software SigmaPlot 14.0 (Systat Software, San Jose).

### **3.4 Resultados**

#### *3.4.1 Condiciones meteorológicas*

En la Tabla 12, se detallan las precipitaciones (PP), evapotranspiración potencial de referencia (ETP), radiación global (Rad), temperaturas medias (Tm), máxima medias (Tm<sub>ax</sub>) y mínima medias (Tm<sub>in</sub>) para cada uno de los meses donde se llevaron adelante los experimentos, tanto para la primera (C1) como para la segunda (C2) campaña, y la comparación de estas con el promedio histórico (H).

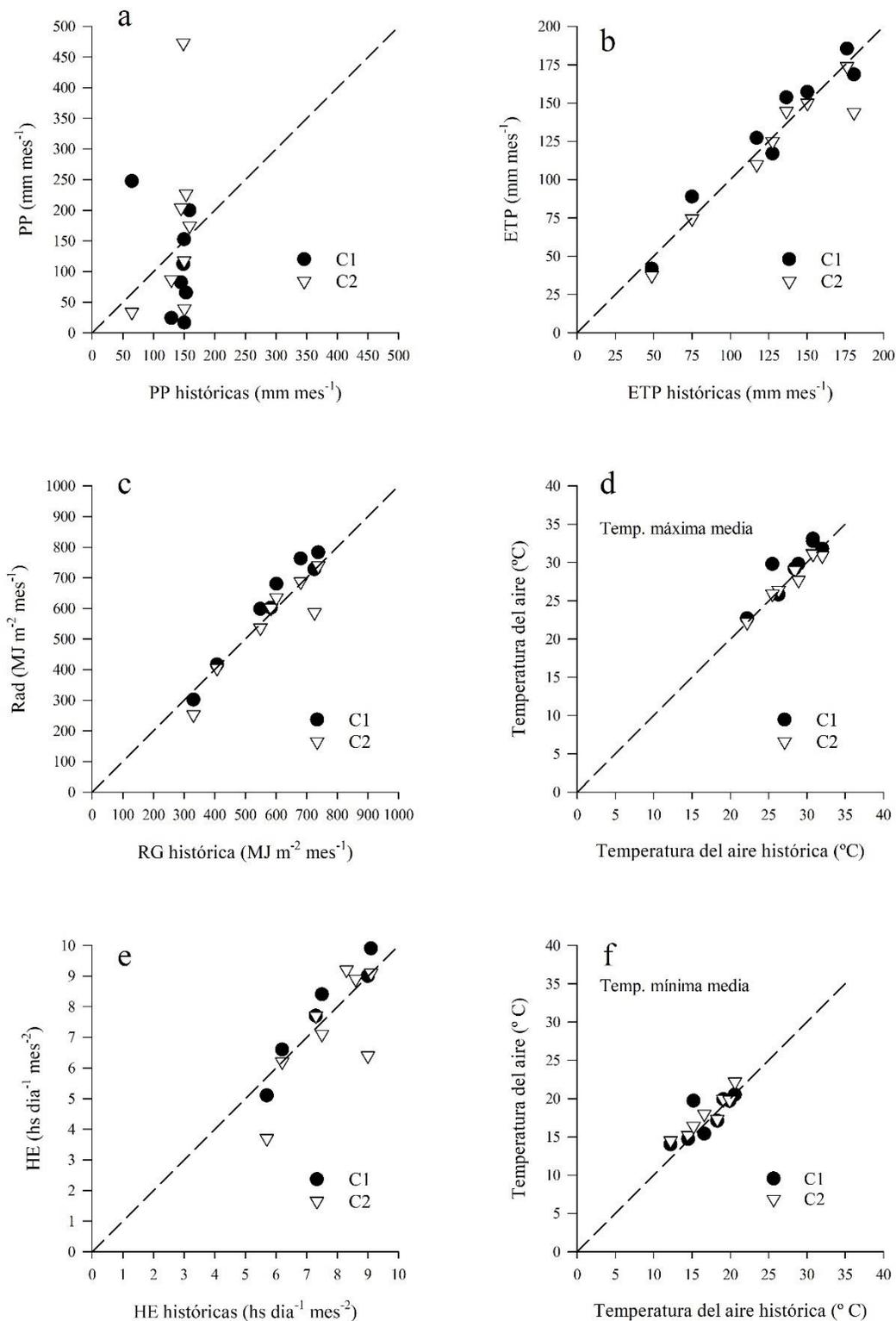
En C1, las PP mensuales registradas estuvieron por debajo de precipitaciones históricas (PP-H), desde el mes de octubre de 2017 hasta febrero de 2018 (Tabla 12). En este sentido, es importante remarcar que las precipitaciones acumuladas desde octubre de 2017 hasta febrero de 2018 registraron en total 300,1 mm, siendo la acumulación entre estos meses la menor de la historia de registros de la EEA Reconquista (1960-2020). También, la suma mensual de ETP presentó valores por encima de histórica (ETP-H), con excepción de los meses de octubre de 2017, enero y mayo de 2018. La suma de la Rad mensual registró valores por encima de la histórica (Rad-H) en todos los meses de C1, con excepción del mes de mayo de 2018 (Tabla 12). Con respecto a la variable temperatura, se destacan las altas temperaturas medias (superiores a histórica -Tm-H-) en los meses de diciembre de 2017 y abril de 2018,

registrando el mes de abril de 2018 la  $T_m$  más alta de la historia de la EEA Reconquista (1970-2020).

En C2, las PP mensuales registradas estuvieron por encima de PP-H para los meses de noviembre de 2018, diciembre de 2018, enero y marzo de 2019 (Tabla 12), teniendo el mes de enero de 2019 la particularidad de haber registrado el récord histórico de máxima precipitación para ese mes en la serie 1960-2020. La suma mensual de ETP registró valores cercanos a los promedios de ETP-H, excepto en el mes de enero de 2019 donde C2 presentó un menor valor. La suma de la Rad mensual registró valores por encima de Rad-H, solo en los meses de octubre, noviembre, diciembre de 2018 y febrero de 2019, observándose una clara disminución con respecto a Rad-H en el mes de enero de 2019 (Tabla 12). En términos de temperatura, no se observaron grandes diferencias con los valores históricos en  $T_m$ , no obstante, es importante destacar que la  $T_{mín}$  en el mes de enero de 2019 presentó una importante diferencia al compararla con  $T_{mín-H}$ . En este caso, la particularidad es que la  $T_{máx}$  en el mismo mes, estuvo por debajo de la  $T_{máx-H}$ , asociándose estos resultados a la menor amplitud térmica debido a la gran cantidad de días nublados y con precipitaciones. Para una mejor observación de los resultados hallados durante el experimento y con el objeto de facilitar la comparación con los resultados históricos, se presenta en la Figura 27 los datos de ambas campañas, comparados con los valores históricos, incorporándose la cuantificación de la heliofanía efectiva, siendo la misma la contabilización de horas de luz solar (HE). En la misma, se pueden observar que los datos que más sobresalen son los resaltados en los párrafos anteriores.

**Tabla 12.** Condiciones meteorológicas tales como: precipitaciones (PP) en mm, evapotranspiración potencial (ETP) en mm, suma de radiación global (Rad) en m<sup>-2</sup> y temperatura media (Tm), máxima media (Tmáx) y mínima media (Tmín) en °C, observadas para los meses de octubre a mayo, tanto para la primer (C1 – 2017 y 2018) como para la segunda (C2 – 2018 y 2019) campaña y el registro histórico (H) de la estación experimental de INTA Reconquista (1970 – 2021).

Mes	PP C1	PP C2	PP H	ETP C1	ETP C2	ETP H	Rad C1	Rad C2	Rad H	Tm C1	Tm C2	Tm H	Tmáx C1	Tmáx C2	Tmáx H	Tmín C1	Tmín C2	Tmín H
Octubre	24,0	86,5	129,3	117,0	124,9	127,6	602,1	601,3	583,5	20,2	20,8	20,4	25,8	26,4	26,3	14,7	15,2	14,5
Noviembre	82,3	203,9	144,9	157,2	150,0	150,3	762,6	687,3	680,7	22,3	23,6	22,5	29,2	29,0	28,4	15,4	18,0	16,6
Diciembre	65,2	226,6	153,1	185,5	174,0	176,2	783,1	739,7	737,6	26,3	25,6	24,9	32,8	31,2	30,8	19,9	19,9	19,1
Enero	112,1	473,1	148,8	168,6	143,8	180,7	728,0	586,8	725,3	26,1	26,6	26,2	31,8	30,9	32,0	20,5	22,2	20,6
Febrero	16,5	39,5	150,5	153,6	144,7	136,6	680,1	635,1	601,6	26,4	25,5	25,2	33,1	31,1	30,8	19,7	19,8	19,9
Marzo	199,7	174,6	158,8	127,2	109,9	117,2	598,3	536,5	549,1	23,5	22,5	23,5	29,8	27,7	28,9	17,1	17,3	18,3
Abril	152,5	117,6	149,9	88,9	74,5	75,0	416,5	404,9	407,5	24,8	21,1	20,2	29,8	25,9	25,5	19,7	16,4	15,2
Mayo	247,6	33,7	64,6	41,8	37,4	48,7	301,5	253,1	330,3	18,4	18,4	17,0	22,7	22,2	22,2	14,0	14,5	12,2



**Figura 27.** Comparación entre los promedios históricos (1970-2020) y valores observados de las principales variables climáticas, durante los años 2017, 2018 y 2019 de cultivo en Reconquista, Santa Fe, Argentina. a) precipitación acumulada ( $\text{mm.mes}^{-1}$ ), b) evapotranspiración potencial (ETP,  $\text{mm.mes}^{-1}$ ), c) radiación global (Rad,  $\text{MJ.m}^{-2}.\text{mes}^{-1}$ ), d) temperatura máxima media mensual ( $^{\circ}\text{C}$ ), e) heliofanía efectiva (HE,  $\text{hs.día}^{-1}.\text{mes}^{-2}$ ) y f) temperatura mínima media mensual ( $^{\circ}\text{C}$ ). Círculos negros corresponden a C1 y triángulos blancos a C2.

Después de analizar las condiciones meteorológicas que se dieron en las diferentes campañas y compararlos con los promedios históricos, resulta útil separar las condiciones a las que estuvieron expuestos cada uno de los cuatro ambientes (A) que se generaron con la combinación de las dos campañas y las dos fechas de siembra (Tabla 13). En este sentido, resulta útil mencionar que los ambientes A1 y A3 correspondieron a las fechas de siembra tempranas (FSI); mientras que A2 y A4 correspondieron a las fechas de siembra tardías (FSII).

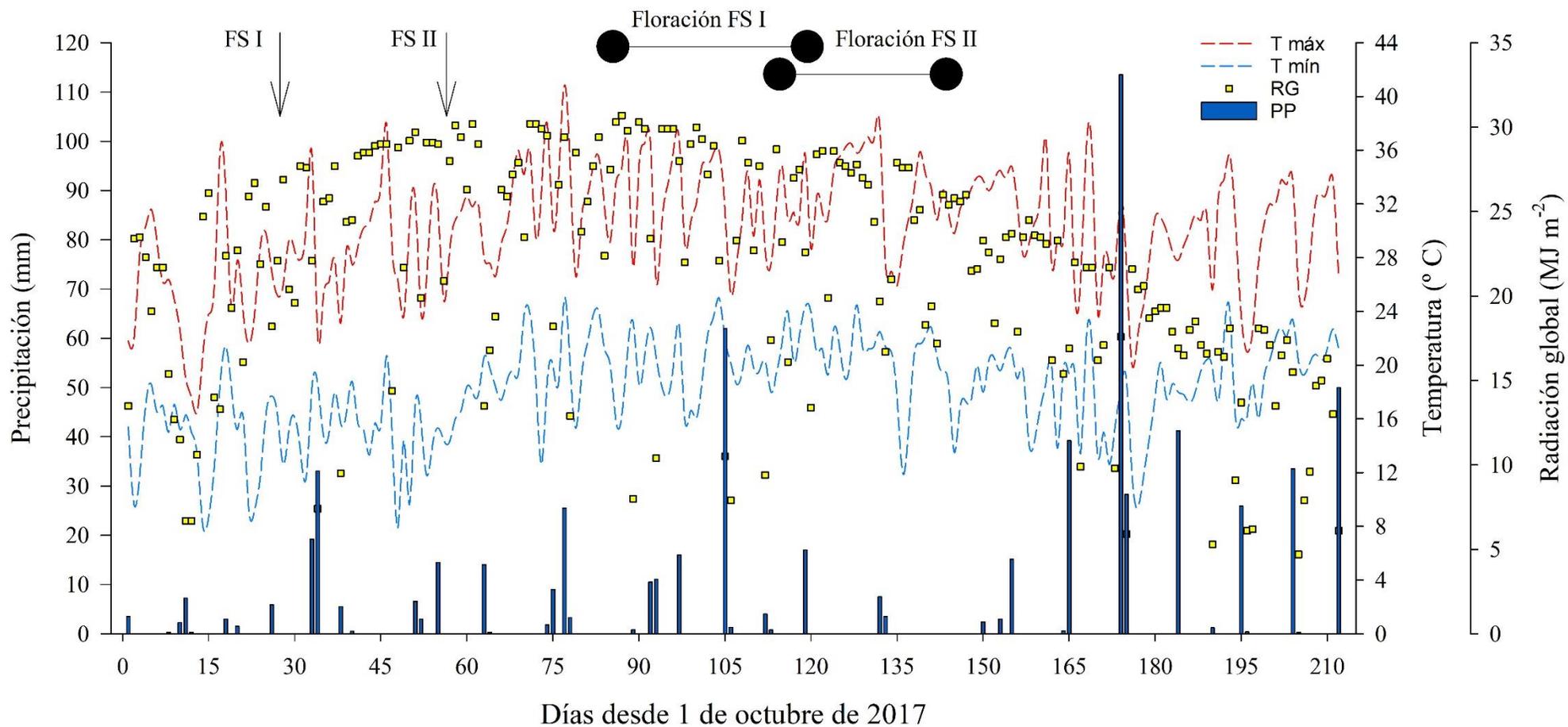
Al analizar la información presentada, observando además la Tabla 12 y Figura 27, se puede notar que la diferencia entre campañas fue mayor que entre las fechas de siembra dentro de cada campaña. Las variables en las que se observan las mayores diferencias son las temperaturas, Rad y PP; no obstante, dentro de cada campaña, en la mayoría de estas variables, la fecha de siembra temprana registró mejores condiciones para el crecimiento y desarrollo del cultivo de algodón que la fecha de siembra tardía. Por otro lado, comparando cada uno de los ambientes, A1 se destacó debido a que registró la mayor y menor  $T_{m\acute{a}x}$  y  $T_{m\acute{i}n}$  promedio, respectivamente, la mayor cantidad de días con temperaturas por encima de los 36 °C, el menor registro de precipitaciones, el mayor valor tanto de Rad promedio como de Rad durante el ciclo, el menor número de días con Rad por debajo de niveles de 19 MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>, la mayor ET<sub>0</sub> total y la mayor cantidad de lámina suplementaria de riego. Por otro lado, se destacan las altas precipitaciones registradas en A3 y A4 que, por un lado, provocaron una disminución de los promedios de temperatura máxima media y Rad recibida y, por otro lado, provocaron un aumento tanto del número de días con Rad < 19 MJ m<sup>-2</sup> y el ciclo promedio del cultivo.

**Tabla 13.** Datos promedios de las principales variables meteorológicas registradas durante los experimentos separadas según el ambiente (A) en el cual las variedades fueron evaluadas. A1: fecha de siembra temprana de la 1<sup>er</sup> campaña; A2: fecha de siembra tardía de la 1<sup>er</sup> campaña; A3: fecha de siembra temprana de la 2<sup>da</sup> campaña; A4: fecha de siembra tardía de la 2<sup>da</sup> campaña;

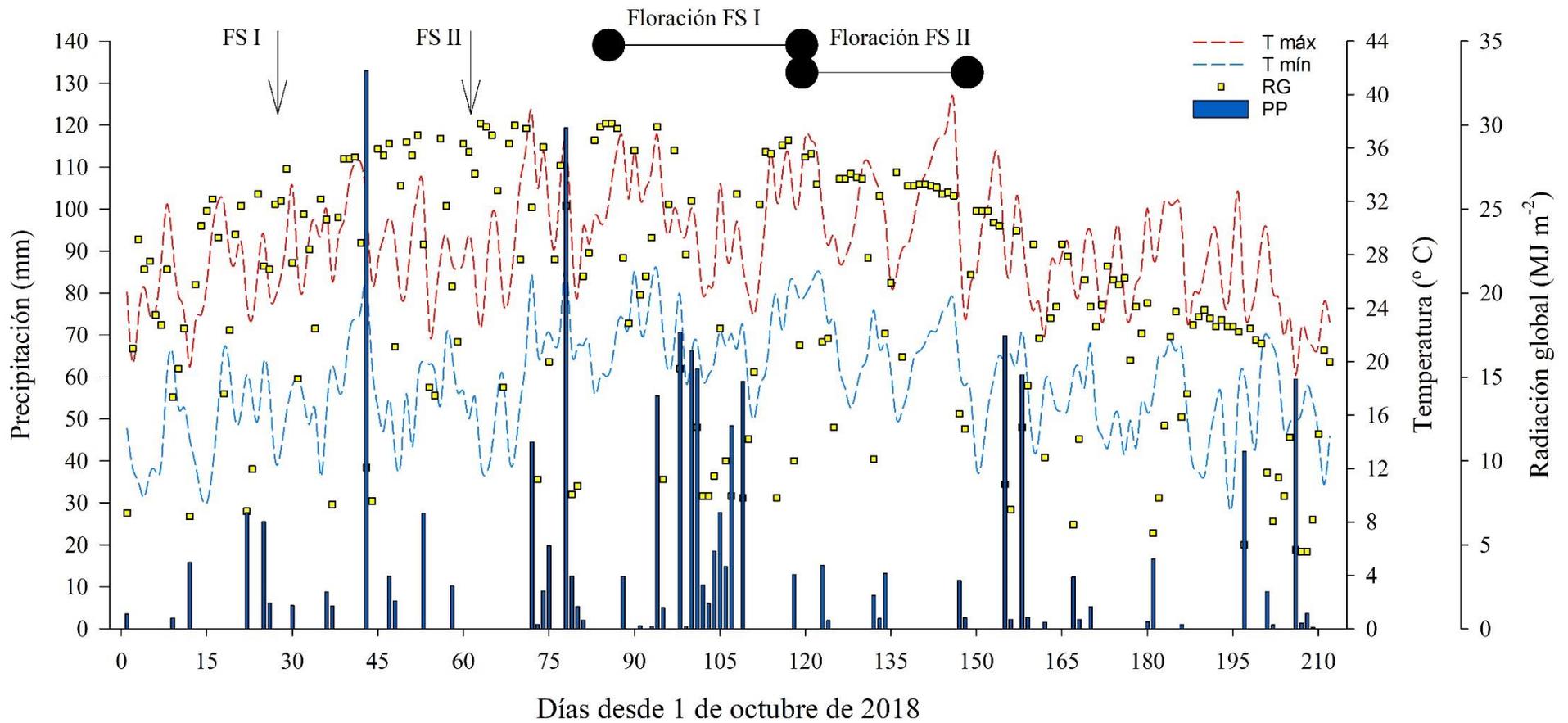
	A1	A2	A3	A4
$T_{m\acute{a}x}$ prom. (°C)	32,0	31,8	30,4	29,6
$T_{m\acute{i}n}$ prom. (°C)	19,0	19,2	20,0	19,5
N° días Temp > 36 ° C	14	13	10	10
PP (mm)	233,4	417,3	1065,7	1027,5
Rad prom. (MJ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	24,6	22,8	21,7	19,0
Suma Rad (MJ m <sup>-2</sup> )	3047,1	2764,1	2774,0	2580,1

N° días Rad < 19 MJ m <sup>-2</sup>	20	31	42	66
ET <sub>0</sub> total	688,2	626,5	639,5	583,0
Ciclo promedio a 1 <sup>era</sup> cosecha	123	120	127	135
Riego suplementario (mm)	240	50	0	0

Para un análisis complementario de las diferencias en los diferentes ambientes explorados se presentan las Figuras 28 y 29, en las cuales se observa un registro diario de PP, T<sub>máx</sub> y T<sub>mín</sub> y Rad diaria registrada para C1 y C2, respectivamente. Es importante destacar la gran diferencia con respecto a las PP, niveles de Rad y temperaturas que se observaron, especialmente durante los periodos de floración entre ambas campañas, es decir, durante los periodos críticos para la definición del rendimiento.



**Figura 28.** Precipitaciones (barras azules), temperatura máxima (líneas cortadas rojas), temperatura mínima (líneas cortadas azules) y radiación global (cuadrados amarillos), desde el 1º de octubre de 2017, en INTA Reconquista. Se indican los momentos de siembra y periodo de floración de la fecha de siembra temprana (FS I) y tardía (FS II).



**Figura 29.** Precipitaciones (barras azules), temperatura máxima (líneas cortadas rojas), temperatura mínima (líneas cortadas azules) y radiación global (cuadrados amarillos), desde el 1° de octubre de 2018, en INTA Reconquista. Se indican los momentos de siembra y periodo de floración de la fecha de siembra temprana (FS I) y tardía (FS II).

### 3.4.2 Sumas térmicas y fenología

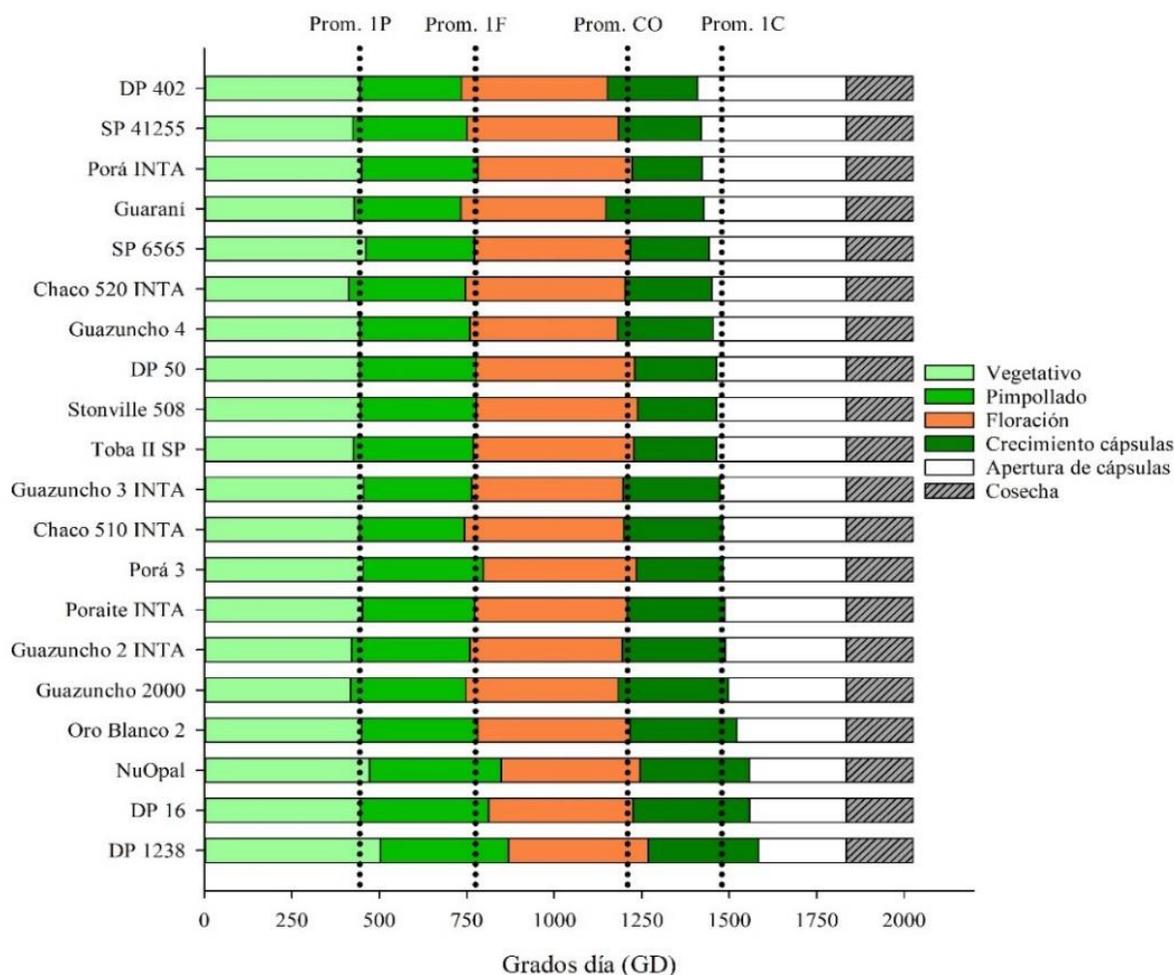
En la Tabla 14 se presentan las fechas de siembra, emergencia y cosecha para todos los ambientes evaluados. En ambas campañas, la fecha de siembra temprana fue realizada en el mismo día (a excepción del año) y la fecha de siembra tardía tuvo una diferencia de tres días entre años. La emergencia de las diferentes variedades no presentó grandes variaciones entre los ambientes y registró valores de entre 97-112 grados día (GD) desde siembra a emergencia. Asimismo, la cosecha principal se realizó con similares acumulaciones de temperatura, con excepción del ambiente cuatro, donde la misma sufrió un atraso debido a las condiciones meteorológicas que se presentaron. Estas condiciones fueron de alta nubosidad y precipitaciones, durante el periodo de pimpollado y floración, que pudieron haber provocado que varias posiciones inferiores se hayan perdido, debido a abortos naturales y, por consiguiente, el periodo de maduración y apertura de cápsulas haya sufrido un atraso, con respecto a los demás ambientes ensayados. Además, en todos los ambientes se realizaron dos momentos de cosecha, debido a la diferencia de maduración y ciclo de las variedades (Tabla 14).

**Tabla 14.** Fechas y grados día (GD) de siembras, emergencias y cosechas. DDE: días desde la emergencia.

	Campaña 2017/18						Campaña 2018/19					
	Exp 1	DDE	GD	Exp 2	DDE	GD	Exp 3	DDE	GD	Exp 4	DDE	GD
Siembra	30/10/17	-	-	28/11/17	-	-	30/10/18	-	-	1/12/18	-	-
Emergencia	9/11/17	0	98	7/12/17	0	112	8/11/18	0	97	11/12/18	0	111
Cosecha principal	12/3/18	123	1760	6/4/18	120	1739	15/3/19	127	1775	17/5/19	157	2069
Cosecha resto	17/4/18	159	2044	4/5/18	148	1980	28/3/19	140	1897	24/6/19	195	2180

Las variedades en promedio registraron 444, 775, 1210 y 1479 GD para alcanzar los eventos fenológicos de primer pimpollo visible (1P), primera flor blanca abierta (1F), cut-out (CO) y primera cápsula abierta (1C), respectivamente. Además, en la Figura 30 se pueden observar todos los tiempos requeridos para alcanzar los diferentes eventos fenológicos en todas las variedades evaluadas. En este sentido, Deltapine 1238 fue la variedad que requirió mayor tiempo térmico para alcanzar todos los eventos fenológicos, siendo la misma la de ciclo más largo (Figura 30). Por otro lado, Chaco 520 fue la que menor tiempo necesitó para alcanzar

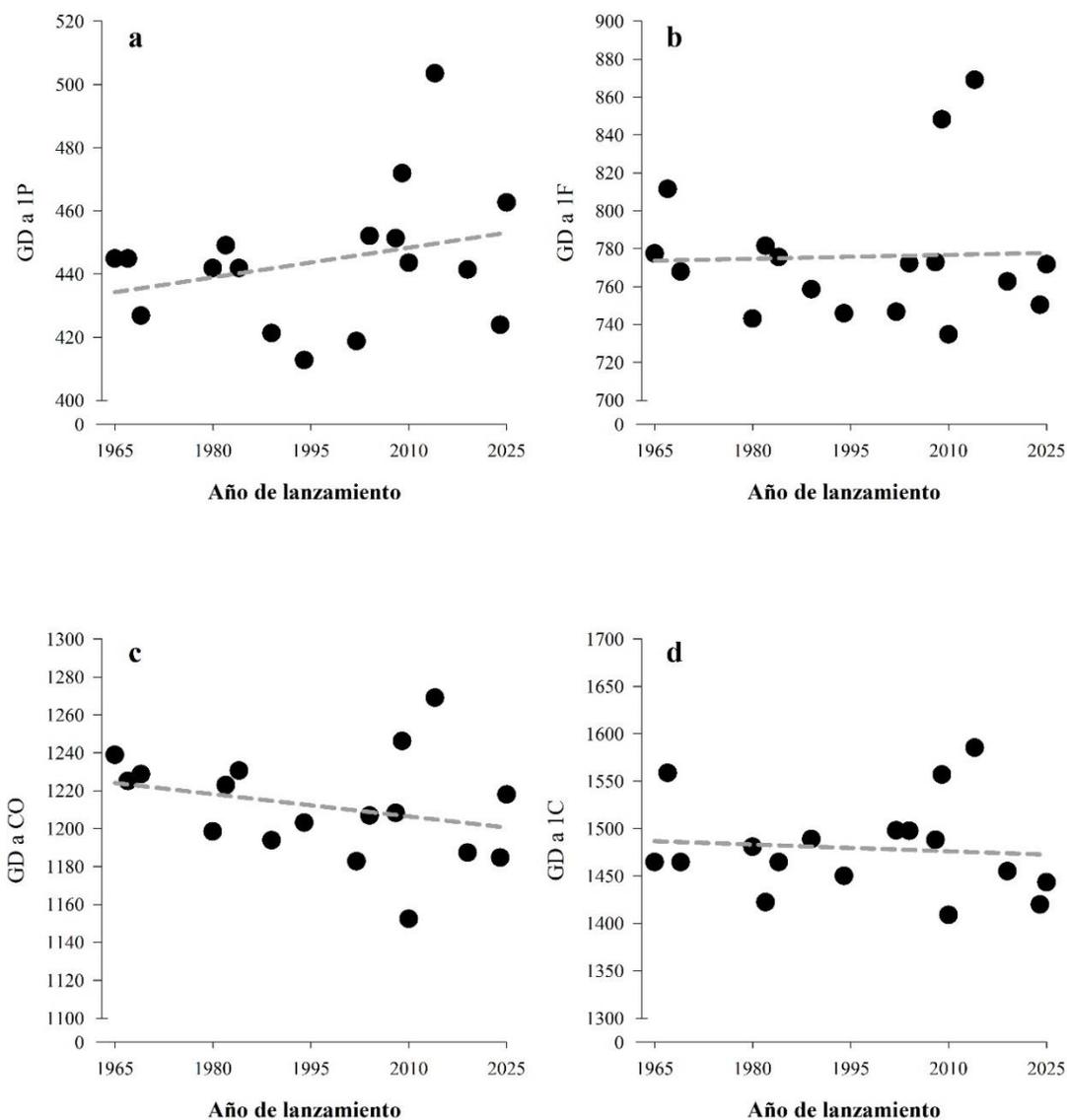
1P; mientras que Guaraní fue la variedad que menor tiempo precisó para alcanzar 1F y el estado de CO, y Deltapine 402 la que menor tiempo registró para alcanzar el estado de 1C.



**Figura 30.** Tiempo en grados día (GD) registrado para alcanzar los diferentes estados fenológicos en las variedades utilizadas en el ensayo ordenadas según largo del ciclo. Referencias: 1P: primer pimpollo visible, 1F: primera flor blanca abierta; CO: cut-out y 1C: primera cápsula abierta.

### 3.4.3 Sumas térmicas y progreso genético

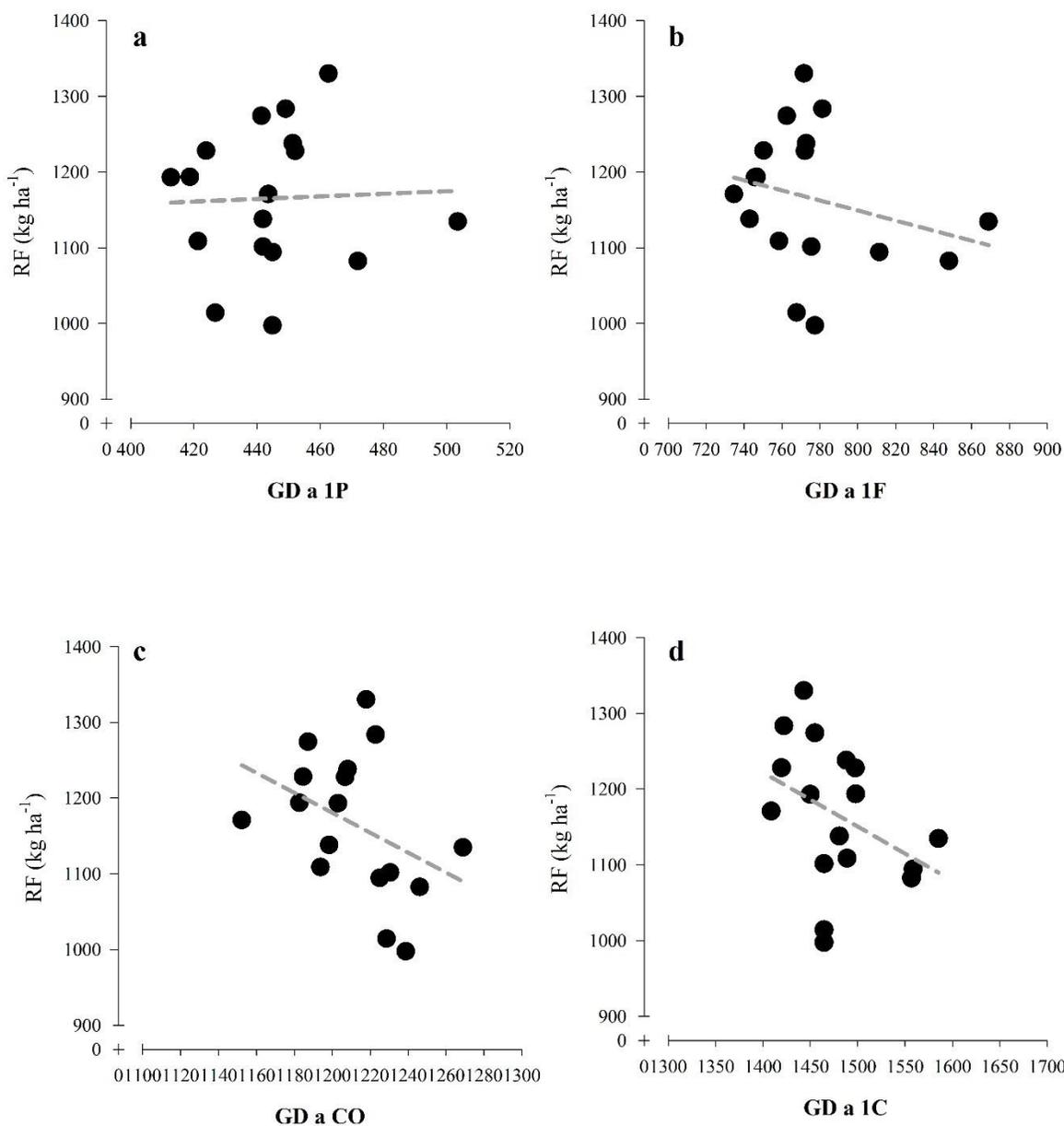
La relación entre el tiempo térmico requerido para alcanzar las diferentes etapas fenológicas, en todas las variedades y los años de lanzamiento (AL), se puede observar en la Figura 31. En el análisis de la misma se pudo notar que no se encontraron relaciones lineales significativas entre el AL y las sumas térmicas necesarias para alcanzar los principales eventos fenológicos.



**Figura 31.** Relación entre el año de lanzamiento del cultivar y los grados día (GD) necesarios para alcanzar los estados fenológicos de: a) primer pimpollo visible (1P), b) primera flor blanca abierta (1F), c) cut-out (CO) y d) primera cápsula abierta (1C).

Por otro lado, en la Figura 32 se puede observar la relación entre los requerimientos térmicos para alcanzar las diferentes etapas y el rendimiento de fibra que presentaron los distintos cultivares en los experimentos. En este sentido, ninguno de los eventos analizados registró relaciones significativas con el rendimiento de fibra. Es importante mencionar que se realizaron análisis de correlación para todos los componentes de rendimiento, los parámetros de calidad de fibra y semilla analizados (datos no mostrados), registrándose solo una correlación significativa y negativa entre el tiempo requerido para alcanzar 1C y NC, lo que

indicó que en aquellas parcelas con variedades más precoces se registraron mayores NC (datos no mostrados).



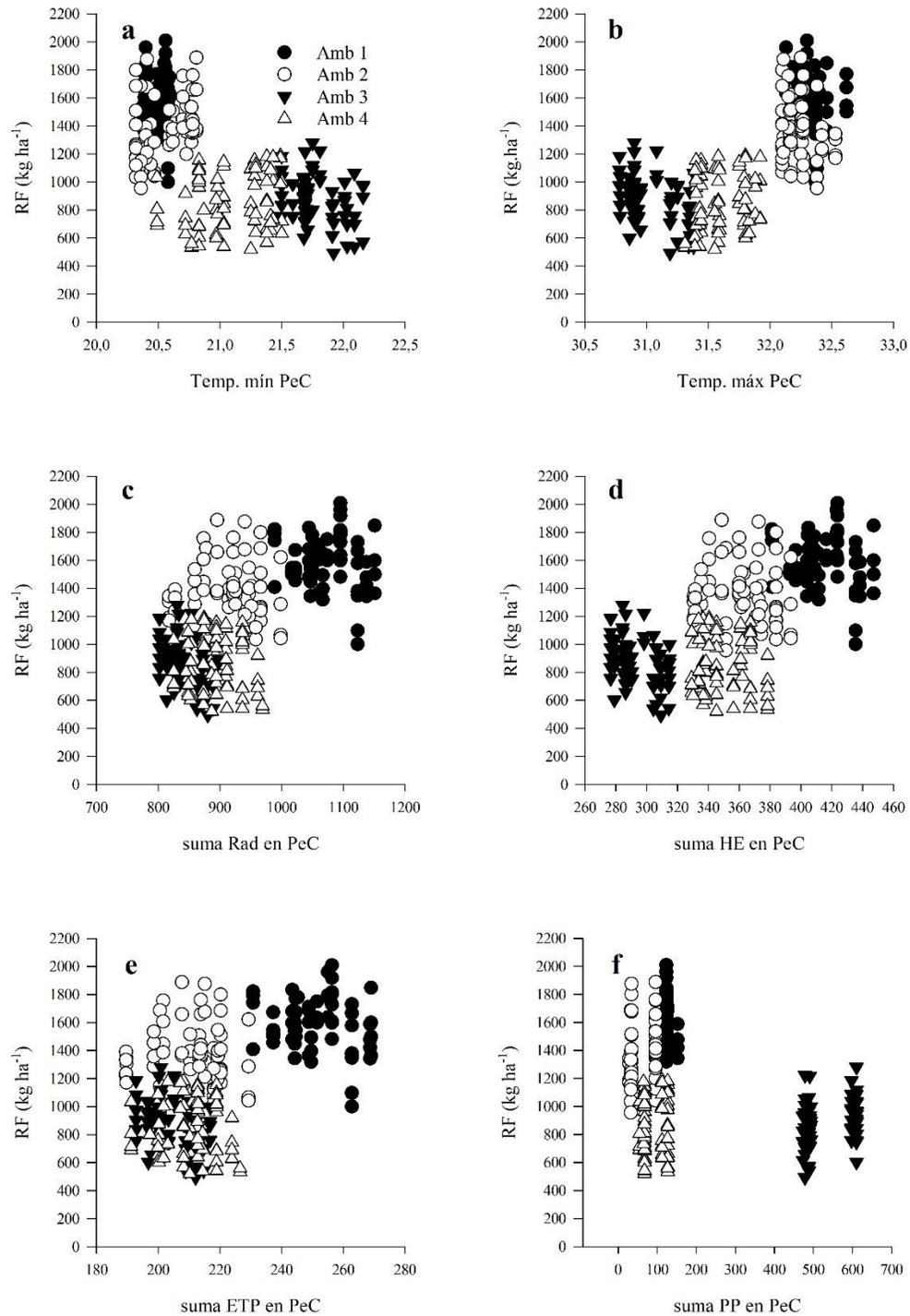
**Figura 32.** Relación entre los grados día (GD) necesarios para alcanzar los estados fenológicos de: a) primer pimpollo visible (1P), b) primera flor blanca abierta (1F), c) cut-out (CO) y d) primera cápsula abierta (1C) y el rendimiento de fibra (RF) promedio para todos los ambientes.

### 3.4.4 Condiciones ambientales durante el periodo crítico (PeC) y las variables de rendimiento, calidad de fibra y semilla

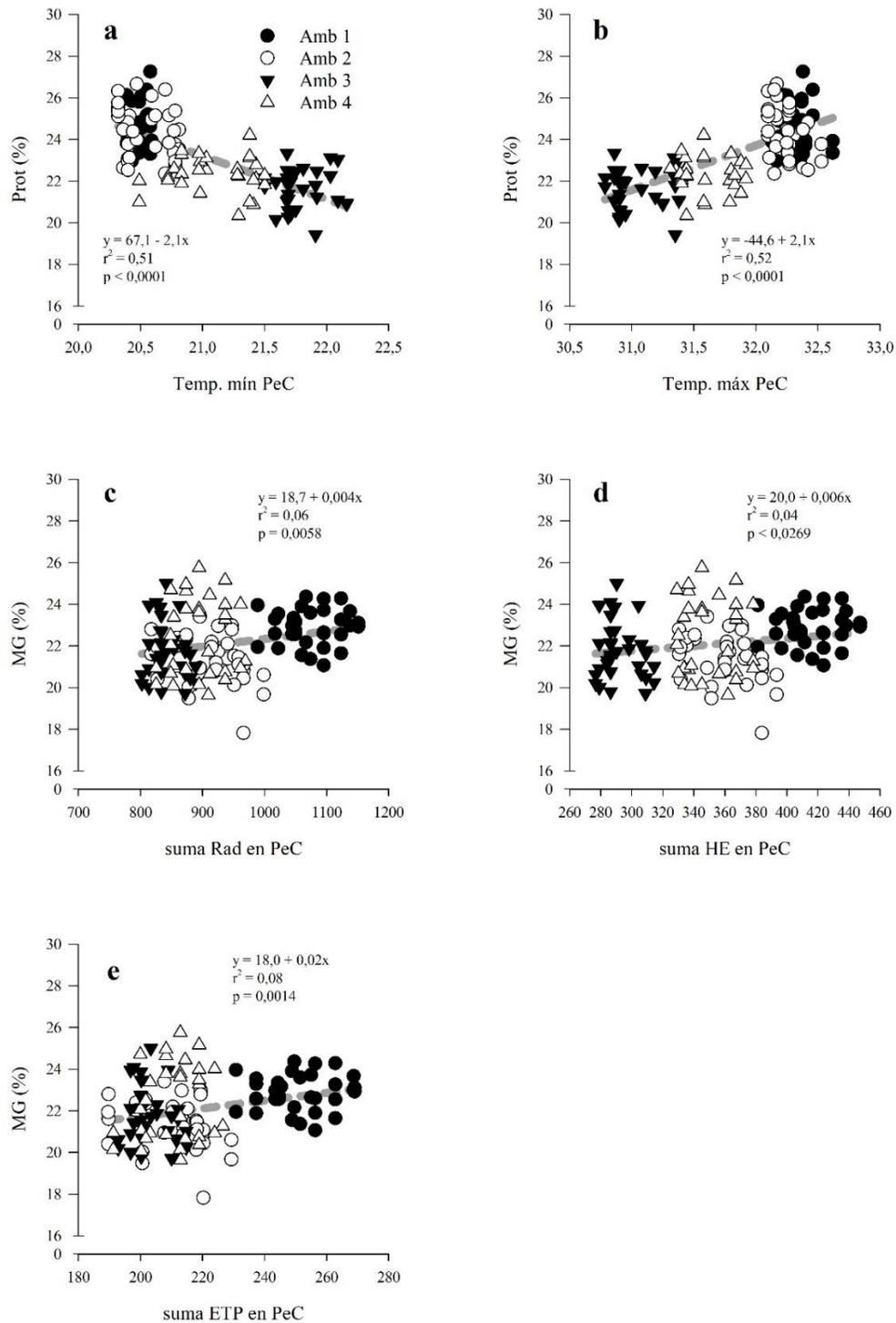
Las relaciones entre las principales variables meteorológicas y RF se pueden observar en la Figura 33. En la misma, se destacan tendencias positivas entre RF y el aumento, tanto de la

$T_{m\acute{a}x}$ , ETP, Rad y Hel durante el PeC, y negativas entre RF y el aumento, tanto de la  $T_{m\acute{i}n}$  y PP durante el PeC. Estas tendencias no se pueden ajustar con regresiones lineales, debido a la falta de ajuste para regresión lineal, no obstante, indican que cuando se registraron PeC con mayores horas de luz solar, acompañados de altas tasas de radiaciones solares, altas demandas de evapotranspiración y altas temperaturas, los rendimientos alcanzados fueron mayores. Por otro lado, en los PeC que registraron altas temperaturas mínimas y precipitaciones los rendimientos alcanzados fueron menores.

Un análisis similar fue realizado para todas las variables, tanto de rendimiento como de parámetros de calidad de fibra y semilla. Aquellas relaciones entre los parámetros que presentaron regresiones lineales significativas, en cuanto a pendiente y ajuste, se presentan en la Figura 34. En la misma, se puede observar cinco regresiones lineales significativas, que indican que tanto el porcentaje de proteína (Prot) como el contenido de aceite (MG) en la semilla estuvieron influenciados linealmente con algunas de las condiciones ambientales registradas durante el PeC. En este sentido, aumentos de la  $T_{m\acute{i}n}$  durante el PeC estuvieron asociados a menores porcentajes de Prot y mayores  $T_{m\acute{a}x}$  estuvieron asociadas a aumentos del porcentaje de Prot. Con respecto a MG, incrementos de esta variable estuvieron linealmente relacionados con aumentos de niveles de HE, Rad y ETP durante el PeC en los diferentes cultivares y ambientes explorados.



**Figura 33.** Relación entre el rendimiento de fibra (RF) en kg ha<sup>-1</sup> y: a) promedio de temperatura mínima media (Temp. mín) durante el periodo crítico (PeC) en °C; b) promedio de temperatura máxima media (Temp. máx) durante el PeC en °C y suma de c) radiación global (Rad) en MJ.m<sup>-2</sup>, d) heliofanía (HE) en horas, e) evapotranspiración potencial (ETP) en mm y f) precipitaciones durante PeC en mm. Círculos representan los datos de la primera campaña y triángulos representan los datos de la segunda campaña de ensayos. Por su parte, los símbolos rellenos de negro son las fechas de siembra tempranas, mientras que, los símbolos blancos son fechas de siembra tardías.



**Figura 34.** Regresión lineal entre: a) porcentaje de proteína (Prot) y el promedio de temperatura mínima media (Temp. mín) durante el periodo crítico (PeC) en °C; b) Prot y promedio de temperatura máxima media (Temp. máx) durante el PeC en °C, c) porcentaje de materia grasa (MG) y radiación global (Rad) en MJ m<sup>-2</sup>, d) MG y heliofanía (HE) en horas, e) MG y evapotranspiración potencial (ETP) en mm. Círculos representan los datos de la primera campaña y triángulos representan los datos de la segunda campaña de ensayos. Por su parte, los símbolos rellenos de negro son las fechas de siembra tempranas, mientras que, los símbolos blancos son fechas de siembra tardías.

### 3.5 Discusión

Después de analizar la variación y el progreso genético, tanto del rendimiento de fibra y sus componentes (Capítulo 1), como de los parámetros de calidad de fibra y semilla (Capítulo 2), se pretendió informar a los lectores acerca de las condiciones ambientales que se presentaron durante los experimentos, compararlas con los registros históricos y tratar de encontrar relaciones que puedan explicar las variaciones en el comportamiento registrado entre los diferentes ambientes, especialmente a través del análisis de las condiciones ambientales durante el PeC. Además, se realizó un análisis de la necesidad de sumas térmicas de los diferentes cultivares y años de lanzamiento para conocer, comparar y relacionar los diferentes largos de ciclo con los parámetros de rendimiento y calidad.

#### 3.5.1 *Sumas térmicas y ciclo de las variedades utilizadas en el país*

En el cultivo de algodón, el concepto de grados día es un importante indicador para la cuantificación del largo de ciclo de cada variedad, debido a que la temperatura es el único factor ambiental que lo afecta, a diferencia de cultivos como el trigo y la soja, donde el fotoperiodo y/o la vernalización influyen junto con la temperatura en la tasa de desarrollo de las variedades (Miralles y Slafer, 1999; Nico et al., 2016), lo que dificulta el cálculo del largo del ciclo a través de la suma de temperaturas. Como se mencionó en la introducción, para el cultivo de algodón, no existe una temperatura base universal para el cálculo de la suma térmica de los GD, sino que coexisten dos fórmulas comúnmente utilizadas. Los resultados registrados en la presente tesis coincidieron con ensayos realizados en el país (Angeloni et al., 2001) donde se pudo demostrar que la temperatura base de 12 °C, como indica la bibliografía australiana (Constable y Shaw, 1988), registró un mejor ajuste con los cultivares utilizados en el país, que la temperatura base de 15,5 °C utilizada por la bibliografía de Estados Unidos (datos no mostrados).

En los experimentos realizados, la emergencia del cultivo se registró 8 a 11 días después de realizada la siembra y 104,5 GD en promedio para todos los ambientes. Este valor está por encima de los 64 y 80 GD informados por Angeloni et al. (2001) y Constable y Shaw (1988), respectivamente. En este punto, resulta útil mencionar que entre los factores que pueden llegar a afectar la duración de esta etapa, se pueden mencionar a la temperatura del suelo, el sistema de labranza, la profundidad de siembra y la humedad del suelo, entre otros

(Oosterhuis, 1990). Del mismo modo, es importante recordar que todas las variedades utilizadas en el experimento se sembraron manualmente, y que las semillas de aquellos genotipos provenientes del banco de germoplasma no estaban ácidos deslindadas. Por lo tanto, la siembra manual (podría haber dejado diferencias en la profundidad de siembra) junto con el contenido de fibras en la semilla, pudieron haber ocasionado un atraso en la imbibición de la semilla y, por lo tanto, en la duración de la emergencia que pueda explicar la diferencia en los GD con los trabajos mencionados.

Con respecto a los demás eventos fenológicos, el promedio para primer pimpollo visible (1P) fue de 444 GD, variando desde 412 a 503 GD; para primera flor blanca (1F) el promedio registrado fue de 775 GD, variando desde 732 a 869 GD; para cut-out (CO) el promedio arrojó un valor de 1210 GD, oscilando desde 1146 a 1269; y para primera cápsula abierta (1C) el promedio fue de 1479 GD, con un rango desde 1408 a 1585 GD. El promedio de las sumas térmicas registradas en el presente estudio estuvo siempre por debajo de lo publicado por Constable y Shaw (1988), quienes reportaron 505, 777, 1302 y 1527 GD para variedades australianas en 1P, 1F, CO y 1C, respectivamente. Asimismo, todos los valores informados estuvieron cercanos a lo publicado por Angeloni et al. (2001), quienes en su trabajo informaron 494, 790, 977 y 1350 GD para 1P, 1F, CO y 1C, respectivamente. En este sentido es importante remarcar que ambos autores trabajaron con una sola variedad, motivo por el cual se pueden presentar variaciones en los resultados. Además, para la cosecha principal, el promedio de todos los ambientes ensayados fue de 1836 GD, con un repaso de cosecha realizado para todos los ambientes aproximadamente 200 GD después de la cosecha principal.

En general, las variedades utilizadas en Argentina presentaron menores requerimiento de temperatura cuando se las compara con los cultivares empleados en países como Australia (Constable y Shaw, 1988), Brasil (Rosolem, 2001) y Estados Unidos (Robertson et al., 2007). Uno de los motivos de la elección de cultivares más precoces para Argentina podría ser, por un lado, el menor número de días de la estación de crecimiento, debido a las menores temperatura y tasas de radiación solar, en comparación con los países mencionados y, por otro lado, debido a que la mayoría del territorio nacional utiliza el sistema de siembra en surcos estrechos que pueden aumentar la precocidad de los cultivares utilizados (Roche, 2007). Otra cuestión importante de remarcar es que, en los países mencionados, los valores

de GD para las diferentes variedades se pueden hallar fácilmente en los porfolios de las empresas o en los ensayos multi-ambientales, en cambio, en nuestro país la información solo se encuentra publicada en trabajos científicos y, la gran mayoría de los productores y técnicos que trabajan en el cultivo no conocen esta herramienta para la diferenciación de las variedades. Por este motivo, podría ser útil que en el futuro cercano, las variedades que se presenten dentro de INTA o en empresas privadas contengan la información del ciclo del cultivo, a través de la herramienta de GD, lo que podría facilitar la comprensión del mismo, independientemente de la región donde se produciría, y gracias a ello ubicar el PeC de cada una de las variedades en el momento óptimo para la mejora del rendimiento y la calidad de fibra del cultivo en el país.

### *3.5.2 Sumas térmicas y su relación con el año de lanzamiento y el rendimiento de fibra*

Como se pudo observar en los resultados, no se registraron relaciones significativas entre el año de lanzamiento de los genotipos y el tiempo térmico para alcanzar los principales eventos fenológicos. Asimismo, se pudieron constatar tendencias a aumentar los requerimientos a 1P y disminuir los requerimientos para alcanzar CO y 1C en las variedades modernas. Estos resultados hacen suponer que las variedades modernas presentarían un periodo vegetativo más largo y un acortamiento en la duración del periodo de floración, debido a los menores requerimientos para alcanzar CO y 1C. En este sentido, el programa de mejoramiento de algodón de INTA debería tener en cuenta que existen trabajos realizados donde se analizaron el efecto y perspectivas del aumento de la temperatura debido al calentamiento global en Australia (Williams et al., 2015) y China (Li et al., 2020; Li et al., 2021). Uno de los puntos en común en los reportes mencionados, es que el principal efecto del aumento de la temperatura promedio será el acortamiento del ciclo del cultivo. En este sentido, con los datos de GD y registros históricos, junto con las perspectivas de incremento de los diferentes modelos de calentamiento global del IPCC (Masson-Delmotte et al., 2021), se podría hacer un análisis similar a los mencionados anteriormente, con los datos climáticos y variedades de nuestro país y poder así, establecer un límite o umbral, por debajo del cual no sería conveniente continuar acortando el periodo crítico de las variedades.

En los trabajos de progreso genético mencionados para el cultivo de algodón tanto en la introducción del presente capítulo como en los anteriores, no se mencionaron asociaciones entre el año de lanzamiento y los días o sumas térmicas para las diferentes etapas fenológicas. Por otro lado, en el mismo apartado se presentó la relación entre los requerimientos de tiempo térmico, para alcanzar las principales etapas fenológicas, con el rendimiento de fibra. En este caso, tampoco se encontraron relaciones significativas para estas variables, no obstante, se pudo notar una tendencia negativa entre los mayores requerimientos térmicos para alcanzar tanto CO como 1C y RF, lo que significaría que existió una tendencia a que las variedades más precoces estuvieran asociadas a mayores rendimientos de fibra en los ambientes explorados. Esta tendencia positiva se podría asociar a la correlación significativa y negativa hallada entre el número de cápsulas (principal componente del rendimiento bruto) y los requerimientos térmicos para alcanzar 1C, no obstante, mayores estudios deben realizarse para investigar esta relación. El acortamiento del ciclo en ambientes como los que se presentan en el norte de Santa Fe, en los cuales la estación de crecimiento es limitada y, ocasionalmente, se presentan campañas con disminuciones en la tasa de radiación solar (debido a la nubosidad), la utilización de variedades con ciclo corto podría ser una ventaja, debido a que en estas variedades se podría producir un acortamiento del periodo crítico para la definición del rendimiento y calidad de fibra y, por lo tanto, aumentar la precocidad, rendimiento y calidad. En nuestro experimento, la disminución de la longitud del periodo crítico pudo aumentar el porcentaje de retención en las variedades de ciclo corto y, de este modo, aumentar el número de cápsulas por unidad de superficie y el rendimiento bruto alcanzado. Un análisis similar fue reportado por Iqbal et al. (2020) para variedades en Pakistán (uno de los principales países productores de algodón), demostrando un aumento del rendimiento en variedades de ciclo corto debido a un incremento en el índice de cosecha de las variedades.

### *3.5.3 Condiciones ambientales, periodo crítico y variables respuesta*

Durante el experimento se presentaron dos campañas completamente disímiles, en términos meteorológicos, donde en la primera, por ejemplo, se registró el récord histórico de bajas precipitaciones (1960 – 2021) para el INTA Reconquista con solamente 300,1 mm, entre los meses de octubre de 2017 hasta febrero de 2018 y, por otro lado, en la siguiente campaña se

registró en enero de 2019 un récord, con una suma cercana a los 500 mm en el mes, y un total de más de 1000 mm para el ciclo del cultivo. Las diferencias en las precipitaciones provocaron importantes efectos en las demás variables meteorológicas, como ser en la temperatura, radiación solar y evapotranspiración, entre otras. La mayor cantidad de días nublados en la segunda campaña, debido a las copiosas precipitaciones, provocó una disminución de la amplitud térmica diaria, haciendo que las temperaturas medias máximas y mínimas sean menores y mayores, respectivamente, que los promedios históricos y, por otro lado, los niveles de radiación solar recibida y la demanda evaporativa ambiental disminuyan drásticamente. Estas diferencias en las variables meteorológicas podrían haber sido el principal motivo por el cual el componente ambiental, y el efecto campaña dentro de cada análisis, presentaron los mayores valores en relación al componente genético y la interacción entre el ambiente y el genotipo. Con respecto a la variación entre las fechas de siembra, en el análisis de los datos meteorológicos se pudo notar que la siembra temprana registró mejores condiciones, tanto de temperatura como de radiación solar y heliofanía, independientemente de la campaña de estudio, que la siembra tardía. En los trabajos de progreso genético que se mencionaron en la introducción general, son pocos los que reportan las variables meteorológicas y asocian las mismas con los resultados de las variables respuestas. En este sentido, para el cultivo de algodón solamente Conaty y Constable (2020) explicaron las variaciones en el rendimiento por la diferencia interanual en los niveles de radiación solar y demanda evaporativa.

Por otro lado, con el objeto de definir los efectos de cada componente ambiental sobre las variables respuestas, los principales parámetros meteorológicos fueron delimitadas para el PeC propuesto por Paytas y Ploschuk (2013) y se realizaron regresiones lineales con el rendimiento de fibra, sus componentes y los parámetros de calidad cuantificados en la presente tesis. Los resultados indicaron que mayores rendimientos de fibra estuvieron asociados con mayores temperaturas medias máximas y menores temperaturas medias mínimas, además de mayores niveles de radiación global, heliofanía y evapotranspiración durante el PC, no obstante, todas estas relaciones mencionadas, como la mayor parte de la de los componentes de rendimiento y calidad presentaron falta de ajuste para regresiones lineales. Esto podría indicar que relaciones más complejas, que las relaciones lineales, estarían explicando la asociación entre las variables mencionadas. Además, los rendimientos

no se distribuyeron de una manera normal para la variable precipitación, posiblemente debido a la variabilidad que provoca el riego suplementario que se aplicó en la primera campaña. En la bibliografía no existen antecedentes donde las condiciones ambientales durante el PeC se asocien con las variables respuestas de este tipo de experimentos para el cultivo de algodón. Este tipo de análisis se podría continuar con regresiones de tipo múltiples o regresiones por el método de mínimos cuadrados (PLS), tomando las variables meteorológicas como predictoras, aunque los resultados de este tipo de análisis escaparían de los objetivos de la presente tesis. El motivo de la falta de ajuste en las relaciones citadas podría estar asociado, por un lado, a que con iguales datos de condiciones ambientales se presentaron importantes variaciones de las variables respuesta (por la variación ambiental y la utilización de varios genotipos) y, por otro lado, que un solo componente meteorológico no definiría linealmente las variables respuestas. No obstante, otro de los motivos de la falta de ajuste podría ser que el PeC del cultivo sea más corto o largo que lo propuesto por la bibliografía citada (Paytas y Ploschuk, 2013). Para el caso del cultivo de algodón, los autores citados establecieron el PeC con los requerimientos de asimilados de cada una de las cápsulas en crecimiento, y no se realizó un estudio directo donde se efectúen estreses durante diferentes etapas del cultivo y se evalué luego en qué etapa el cultivo presentó la mayor disminución de rendimiento. Ensayos de este estilo se realizaron para cultivos como trigo (Romina et al., 2014), avena (Mahadevan et al., 2016), soja (Monzon et al., 2021), maíz (Andrade et al., 1999), girasol (Echarte et al., 2013), entre otros. Sería de mucha utilidad para la comunidad científica y los productores del país que, para el cultivo de algodón, se pueda realizar un estudio de similares características a los mencionados y poder delimitar así, con base en un estudio científico, el periodo crítico para las variedades y manejos modernos de producción.

Por otra parte, a diferencia de los componentes de rendimiento y parámetros de calidad de fibra, distintos fueron los resultados que se hallaron para los componentes de calidad de la semilla, como el porcentaje de proteína y aceite. Para estas variables, se encontraron relaciones lineales significativas entre los contenidos cuantificados y algunas de las variables meteorológicas. Para el caso del contenido de proteína, el mismo registró una relación lineal positiva ante aumentos de la temperatura media máxima y, una relación lineal negativa ante aumentos de la temperatura media mínima durante el PeC. Asimismo, el contenido de aceite

presentó aumentos lineales significativos con incrementos de la suma de radiación global, heliofanía y evapotranspiración potencial durante el PeC. Para este caso, son escasos los estudios realizados en el cultivo que relacionen ambas variables, no obstante, se reportaron trabajos donde durante la etapa del desarrollo de la semilla, características del cultivar (Kohel y Cherry, 1983; Singh y Narayanan, 1991), condiciones ambientales (Li et al., 2009; Turner et al., 1976; Zhu et al., 2010) y manejos del cultivo (Duli et al., 1993; Sawan et al., 2006; Xu et al., 1993) influyeron en el crecimiento del embrión y, por consiguiente, en el contenido de aceite y proteína en grano. En estos trabajos reportados se analizan mayormente la variabilidad estacional y no puntual como en nuestro caso, que se delimitaron a las variables meteorológicas durante el periodo crítico. Por otra parte, en cultivos donde los subproductos de las semillas tienen una mayor importancia, debido a que son directamente consumidos por el humano o por el ganado, existe una mayor revisión bibliográfica y definición sobre la relación entre algunas de las variables meteorológicas y el contenido de aceite y/o proteína. Una de las relaciones más importantes y largamente estudiadas es la relación entre la radiación solar interceptada durante el llenado del grano y la concentración de aceite en girasol (Aguirrezábal et al., 2003). Esta relación indica que, ante incrementos de radiación interceptada, el contenido de aceite en el grano de girasol aumenta. En el cultivo de soja existen varios estudios donde la variación debido a las condiciones ambientales presentes o creadas, a través de un algún tipo de stress, hizo variar la composición acídica y/o proteica de la semilla (Carrera et al., 2009; Sobko et al., 2020; Song et al., 2016). Asimismo, Zuil et al. (2012) demostraron efectos, tanto de la radiación como de la temperatura, sobre concentración y composición de aceite en el cultivo de maíz en Argentina. En este cultivo, al igual que para el girasol, los autores coinciden con lo reportado por este experimento donde incrementos de radiación solar disponible se ajustan con aumentos de la concentración de aceite.

### **3.6 Conclusión**

En este capítulo se presentaron las principales diferencias registradas entre fechas de siembra y ambientes que se registraron durante el experimento que explicaron las diferencias encontradas en los capítulos previos. En este sentido, tanto el rendimiento como el número de cápsulas por unidad de superficie, y la mayor parte de los parámetros de calidad,

presentaron mayores valores para la fecha de siembra temprana y el ambiente 1 (fecha de siembra temprana de la primera campaña). Por otro lado, el peso promedio por cápsula junto con sus principales componentes (F/C, F/S y %F) fueron mayores en la fecha de siembra tardía, aunque entre los ambientes, el 1 continuó siendo el que registró los mayores valores para las variables mencionadas. Sin embargo, del total de variables cuantificadas, tanto de rendimiento como de calidad, solamente NSC, Str, Ac. Palmítico, Ac. Oleico, F/S y Ac. Linoleico presentaron los mayores valores en ambientes diferentes al 1. En este sentido, no solo las variables meteorológicas pudieron haber influido en los cambios que se registraron entre las fechas de siembra y los ambientes, sino también las relaciones intrínsecas entre los componentes. Como síntesis se puede establecer que las cápsulas presentaron mayor peso en fechas de siembra tardía, debido a que presentaron mayores tamaños de semilla o menores número de semillas por cápsula. El mayor tamaño de semilla permitió que se registraran mayores pesos de fibra por cápsula y por semilla, que traccionaron a un incremento del porcentaje de fibra en fechas tardías. El motivo de menores tamaños de cápsulas y semillas en fechas temprana podría haber estado relacionado a un mayor porcentaje de retención de estructuras reproductivas y, por lo tanto, un mayor número de cápsulas por unidad de superficie, que disminuyeron los fotoasimilados disponibles para cada una de las cápsulas en las variedades en la fecha de siembra temprana.

## CAPÍTULO 4

Dinámica de asimilados fuente-destino  
y su relación con el año de lanzamiento  
y las variables de rendimiento

#### 4.1 Introducción

El progreso genético del cultivo de algodón en Argentina, como se pudo analizar en los capítulos anteriores, registró un aumento significativo del rendimiento desde 1965 hasta la actualidad, con una tasa de incremento anual de  $3,24 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . Este incremento estuvo acompañado de un aumento significativo en el rendimiento bruto, porcentaje de fibra, número de cápsulas por unidad de superficie y fibra semilla<sup>-1</sup>. Asimismo, en el mismo periodo no se registraron aumentos significativos en los otros componentes de rendimiento ni en todos los parámetros de calidad de fibra y semilla analizados (con excepción del contenido de aceite). Del mismo modo, se expusieron las principales diferencias ambientales que se generaron en los diferentes experimentos y se relacionaron las mismas, tanto con los parámetros de rendimiento como los de calidad mencionadas anteriormente. En este último capítulo, se pretende informar a los lectores sobre el análisis de las características morfológicas de los cultivares, dinámicas de crecimiento, partición de asimilados y parámetros relacionados a los mapeos de las diferentes variedades utilizadas en los experimentos.

El cultivo de algodón, como fue descrito en la introducción general, es un cultivo perenne que antiguamente presentaba un hábito de crecimiento indeterminado similar a un arbusto antes de ser domesticado por el hombre (Hutchinson et al., 1947). A través de las técnicas de mejoramiento genético y de selección, el algodón ha sido transformado en un cultivo con un tipo de hábito de crecimiento más determinado, que favorece un desarrollo reproductivo por sobre la producción vegetativa, a comparación de los ancestros de la especie (Wells, 2016). Una de las formas de cuantificar lo que destinan las variedades a materia seca vegetativa y reproductiva es a través de los conceptos de índice de materia seca reproductiva/vegetativa (R/V), alocación reproductiva (AR) e índice de cosecha (IC). El parámetro R/V fue utilizado por Wells y Meredith (1984b) quienes demostraron que las variedades modernas de algodón registraban mayores R/V justificando así los incrementos de rendimiento a través del tiempo en variedades de Estados Unidos. Además, el concepto de AR, introducido por Bazzaz et al. (1987) y utilizado por primera vez en el cultivo de algodón por Sadras et al. (1997), refiere a la proporción del total de materia seca en madurez fisiológica que corresponde a la fibra y semilla (materia seca reproductiva) sobre el total de materia seca producida. Asimismo, el IC fue utilizado en el cultivo por varios autores, entre los que se destacó Shorter et al. (1991),

quien definió al mismo como la proporción de fibra sobre el total de materia seca en madurez fisiológica y, a diferencia del término anterior, tiene en cuenta el porcentaje de fibra de las variedades.

Por otra parte, en este capítulo además de los muestreos de materia seca y partición de asimilados, se realizaron mapeos ecofisiológicos. Los mismos se definen como un método práctico de caracterización morfológica y del patrón de floración de las plantas, a través del registro local de estructuras fructíferas y/o vegetativas, con el objeto de diagnosticar y de tomar decisiones de manejo (Raphael et al., 2019). Este se caracteriza por ser una práctica con mucha antigüedad ya que existen registros que reportan trabajos realizados en África en el año 1926 utilizando esta metodología (Munro y Farbrother, 1969). Esta práctica se caracteriza por ser un efectivo método para estudiar los patrones de fructificación de las diferentes variedades y el efecto de ataques de plaga y manejos sobre los mismos (Constable, 1991). La metodología y cantidad de variables a incluir en un mapeo puede variar dependiendo los objetivos del mismo, la disponibilidad de instrumentos y de tiempo. La principal variable que resulta de este tipo de análisis es el cálculo de la retención de las estructuras reproductivas (RG), siendo esta variable, y la distribución de la misma dentro de la planta, parámetros que juegan un importante rol en la definición del rendimiento final obtenido (Paytas, 2010).

El rendimiento del algodón puede verse afectado por el desprendimiento o aborto de las estructuras reproductivas, como pimpollos, flores, bochas o cápsulas, cuya magnitud y efecto depende del momento en el cual se produzcan y supone una pérdida de rendimiento desde leve hasta grave (Sadras, 1995). Una vez que el crecimiento reproductivo comienza con el desarrollo de los pimpollos, varios factores potencialmente pueden afectar el proceso que determina, tanto el número de estructuras reproductivas generadas como la retención de las mismas (Guinn et al., 1981; Heitholt et al., 1992). Varios autores reportaron que si la disponibilidad de asimilados es adecuada para mantener las estructuras reproductivas en desarrollo, entonces las mismas serán retenidas (Constable et al., 1992; Jenkins et al., 1990a, b). Sin embargo, si la demanda de éstas excede el suministro de asimilados, la retención de las mismas disminuirá como resultado de un incremento en el número de abortos (Guinn et al., 1981). No obstante, es importante remarcar que la retención o aborto de las estructuras reproductivas depende, en última instancia, de una serie de factores fisiológicos de mayor

complejidad que la simple relación entre la oferta y la demanda de asimilados (Constable et al., 1992; Jenkins et al., 1990a, b). Entre los factores fisiológicos, las concentraciones hormonales y los factores de suministro de asimilados hacia las estructuras reproductivas, en la fase de desarrollo de las cápsulas, son importantes y pueden afectar la retención de frutos (Hearn y Constable, 1984a). También, dependiendo del cultivar y de las condiciones de crecimiento, la capacidad de carga de las cápsulas podría calcularse en función de la capacidad fotosintética y de la tasa de crecimiento potencial de los frutos (Hearn y Constable, 1984b). Por otra parte, la distribución de las posiciones dentro de la planta juega del mismo modo un importante rol en la determinación del rendimiento, debido a que, las primeras posiciones en las ramas reproductivas producen las cápsulas más grandes en términos de tamaño y número (Heitholt y Schmidt, 1994). En este sentido, Jenkins et al. (1990a) reportaron que el 70% del rendimiento total fue producido por las cápsulas ubicadas en las primeras posiciones de las ramas reproductivas y que, los tamaños de las cápsulas eran mayores en la parte media de las plantas. El motivo de estos resultados lo asociaron al hecho de que las primeras posiciones de fructificación dentro de las ramas reproductivas, tienen una ventaja competitiva para los asimilados sobre otras posiciones, debido a que, las primeras posiciones son destinos principales de asimilados por situarse en una ubicación más próxima del tallo principal que las demás posiciones (Constable y Rawson, 1980; Kerby et al., 1987; Oosterhuis, 1990).

Del total de trabajos que se mencionaron hasta el momento, durante el desarrollo de la presente tesis, pocos son aquellos en los cuales, tanto para el cultivo de algodón como para otros cultivos, se hayan explorado las variables relacionadas al crecimiento vegetativo y reproductivo, la partición de asimilados y mapeos de dinámicas de floración en distintos momentos del ciclo junto con las variables de rendimiento y calidad. El primer grupo de autores que trabajo con datos conjuntos de rendimiento y análisis de partición de asimilados fueron Wells y Meredith que, mediante dos publicaciones reflejaron que el incremento de rendimiento de variedades entre 1905 y 1978 en Estados Unidos estuvo explicado, entre otras variables, a un cambio en la proporción de materia seca vegetativa y reproductiva en cultivares modernos (Wells y Meredith, 1984a). Asimismo, los autores reportaron que las variedades modernas, además de presentar una mayor partición hacia las estructuras reproductivas, lo realizaron antes en el ciclo del cultivo, y esto significaba un mayor índice

de cosecha (Wells y Meredith, 1984b). Además, en concordancia con lo mencionado anteriormente, Meredith y Wells (1989) no encontraron diferencias en la cantidad de materia seca total entre los cultivares, aunque las variedades modernas tenían una mayor cantidad de materia seca reproductiva que las obsoletas, presentando estas últimas una mayor altura y cantidad de asimilados destinados al tallo. También, estos autores realizaron estudios sobre la altura y la distancia entre los nudos de la planta y utilizaron el índice reproductivo/vegetativo (R/V), indicando que las variedades obsoletas presentaban ese valor  $<1$  y las modernas  $>1$  en el final del ciclo del cultivo (Meredith y Wells, 1989). Por otro lado, Yang et al. (2018) reportaron diferencias significativas en el total de materia seca y en el índice R/V en dos de tres momentos analizados para las variedades modernas, a comparación de las obsoletas en un trabajo realizado en China. Asimismo, Conaty y Constable (2020) encontraron progresos genéticos significativos para el total de materia seca y el índice de cosecha, en un estudio de diferentes cultivares australianos, lo que significa que los cultivares modernos presentaron mayores pesos totales de materia seca y, además, una partición mayor a la biomasa reproductiva en madurez fisiológica. Además, reportaron que el porcentaje de fibra fue el mayor contribuyente para el aumento del índice de cosecha en los cultivares utilizados (Conaty y Constable, 2020). Con respecto a las variables relacionadas a los mapeos ecofisiológicos, varios son los autores que trabajaron con estos índices (Bange et al., 2008; Constable, 1991; Guinn et al., 1981; Heitholt, 1993; 1999; Paytas, 2010), sin embargo, solamente Kilby et al. (2013) reportó variables relacionadas a la retención de órganos en trabajos de progreso genético en el cultivo de algodón. En este sentido, además de encontrar diferencias significativas entre las variedades, reportó una relación significativa y lineal entre la retención global de las estructuras en el momento final de muestreo y el rendimiento de fibra cuantificado (Kilby et al. 2013).

## 4.2 Objetivos

- Cuantificar y comparar los diferentes patrones de crecimiento, variables morfológicas y dinámicas de floración, en variedades utilizados en los últimos 50 años en Argentina.
- Estimar el progreso genético de las variables relacionadas al crecimiento, morfología y dinámica de la floración.

- Examinar las relaciones entre los componentes de rendimiento y las variables analizadas en el presente capítulo.

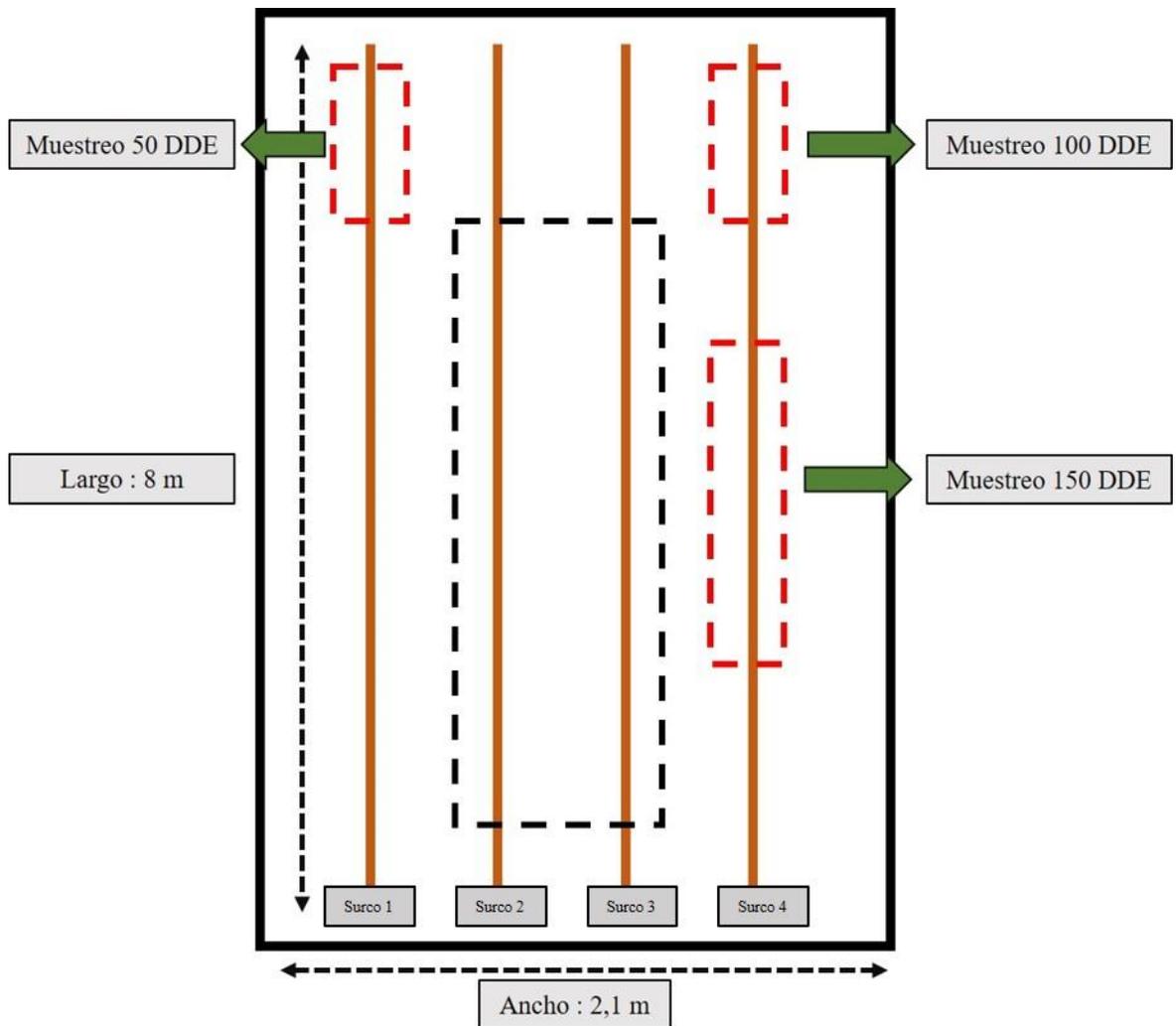
### **4.3 Materiales y métodos**

En este punto es importante mencionar que en este capítulo se utilizaron los cultivares, localización, experimentos y arreglo estadístico descritos en los puntos 1.3.1, 1.3.2, 1.3.3 y 1.3.4. Además, para este capítulo se realizaron las siguientes mediciones:

#### *4.3.1 Materia seca y partición de asimilados*

En cada uno de los experimentos, se realizaron tres muestreos destructivos de plantas por parcela durante el ciclo del cultivo. Los momentos seleccionados para realizar los muestreos fueron 50, 100 y 150 días después de la emergencia (DDE), el motivo de selección de estos momentos fue debido a que los mismos coincidieron, en la mayoría de las variedades, con los momentos fenológicos de 1<sup>era</sup> flor abierta, 1<sup>era</sup> capsula abierta y madurez fisiológica, respectivamente.

Los cortes de plantas fueron de 0,50 m lineales (0,25 m<sup>2</sup>) para los muestreos de 50 y 100 DDE, y de 1,00 m lineal (0,50 m<sup>2</sup>) para el muestreo de 150 DDE (Figura 35). Los cortes fueron realizados en los surcos exteriores de cada parcela y en posiciones que luego no fueron cosechadas. El último muestreo fue realizado una vez completada la cosecha, es por este motivo que se prefirió tomar un mayor número de plantas, y así aumentar la representatividad de la parcela.



**Figura 35.** Esquema de cada parcela en cada uno de los experimentos, detallando los lugares de cosecha y cortes de plantas para materia seca.

En cada uno de los momentos descriptos, se seccionaron todas las plantas procedentes de cada una de las parcelas en tallo (Ta), ramas reproductivas y peciolo (RR), ramas vegetativas (RV), hojas (H), pimpollos y flores (PF), bochas cerradas (Bo), perilla (Pe) y semilla + fibra (SF) según el momento de muestreo. Una vez seccionadas las plantas, las muestras fueron llevadas a estufa a 65 °C hasta peso constante (96 h). Luego, se pesó cada una de las muestras y se realizaron los cálculos para expresar los pesos secos en  $m^2$ .

### 4.3.2 Características morfológicas

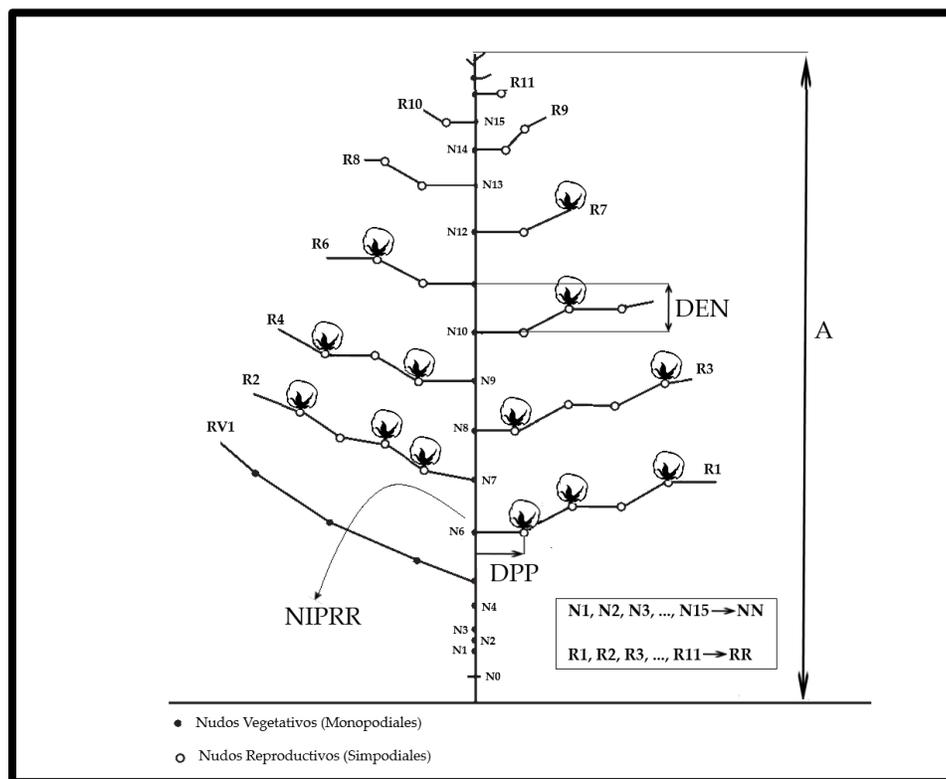
Las diferentes variables que se mencionan a continuación fueron registradas en los experimentos, antes de la sección de las plantas, en los momentos de corte de materia seca descritos en el apartado 4.3.1.

- Altura (A): se midieron las plantas desde la base del tallo hasta la punta del ápice.
- N° de nudos (NN): se contaron el número de nudos presentes en el tallo de cada planta muestreada.
- Distancia entre nudos (DEN): resultó de dividir la altura registrada de la planta con el número de nudos.
- N° de ramas vegetativas (NRV): se contaron las ramas vegetativas presentes en cada momento de muestreo.
- N° de ramas reproductivas (NRR): se contaron el número de ramas reproductivas presentes en todas las plantas de cada momento de muestreo.
- Nudo de inserción de la 1<sup>er</sup> rama reproductiva (NIPRR): se registró el número del nudo donde se insertó la 1<sup>er</sup> rama reproductiva en cada planta muestreada.
- Distancia de la 1<sup>era</sup> posición al tallo principal (DPP): se midió la distancia entre el tallo principal y la primera posición de la 1<sup>er</sup> rama reproductiva de cada una de las plantas.
- Altura de la rama de la 1<sup>era</sup> posición (AIPRR): se midió la altura que existe entre la base del tallo y la 1<sup>era</sup> rama reproductiva en cada tallo.
- Índice de Área foliar (IAF) y Área Foliar Específica (AFE): para el cálculo de estas variables, se midieron todas las hojas de las plantas en los muestreos a través de los equipos LICOR 3000 y LICOR 3050. El área de las hojas junto con el peso seco de las mismas de una superficie determinada permitió establecer el AFE (ecuación 15) e IAF (ecuación 16) de cada una de las variedades para los momentos de muestreo mencionados.

$$\text{AFE: } \frac{\text{área foliar (cm}^2\text{)}}{\text{peso seco hojas (g)}} = \text{ecuación 15}$$

$$\text{IAF: } \frac{\text{AFE (cm}^2\text{/g)} * \text{peso seco hoja (g/m}^2\text{)}}{10000} = \text{ecuación 16}$$

Con el objeto de clarificar las mediciones realizadas en este apartado se presenta la Figura 36 con la descripción gráfica de la mayoría de las variables medidas en este apartado.



**Figura 36.** Arquitectura de una planta de algodón y características morfológicas medidas en el apartado 2.6.4. Referencias: NIPRR: Nudo de Inserción de la Primera Rama Reproductiva; DPP: Distancia a la Primera Posición; N: Nudo; R: Rama reproductiva; RV: Rama Vegetativa; NN: Número de Nudos; RR: Número de Ramas Reproductivas; DEN: Distancia Entre Nudos; A: Altura de la planta. Imagen adaptada de Bourland et al. (1992).

Además, es necesario aclarar que se hicieron las mediciones de alocación reproductiva (AR) e índice de cosecha (IC) descritas en el punto 1.3.5.

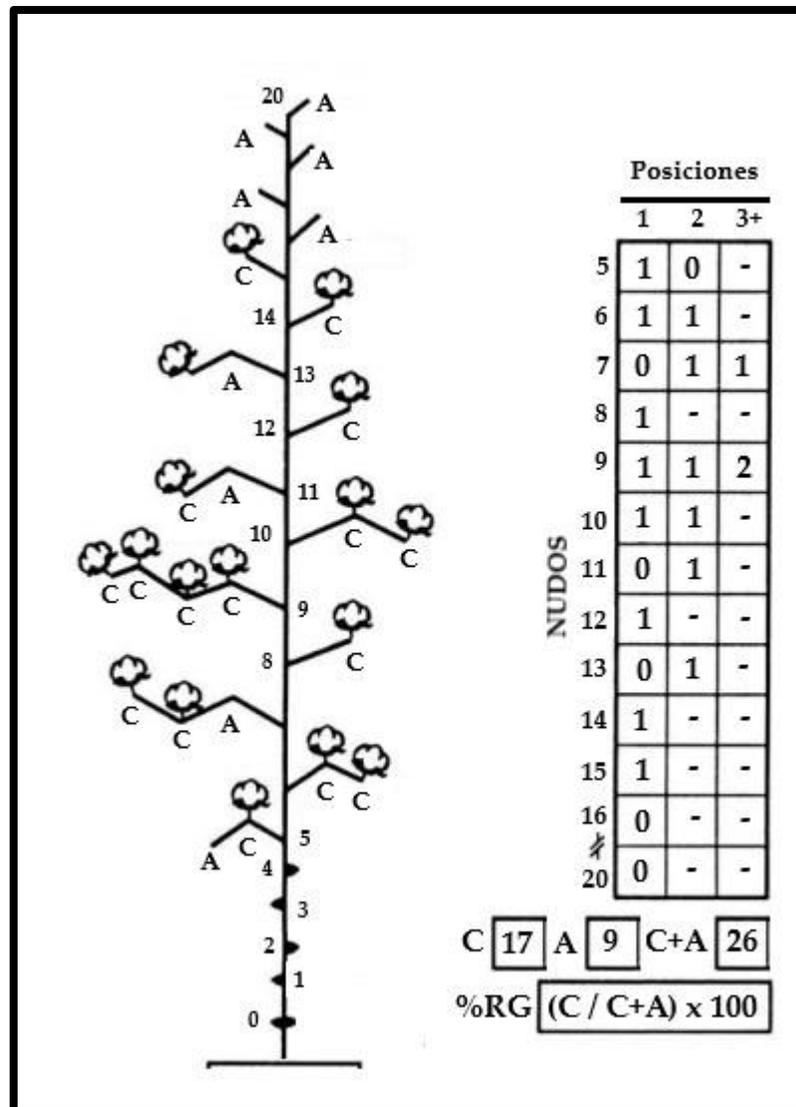
#### 4.3.3 Dinámica de floración

Junto con las mediciones de las características morfológicas mencionadas en el apartado anterior, se realizaron mapeos de dinámica de floración en todas las plantas recogidas en el campo para la partición de asimilados. Este procedimiento se realizó registrando en cada una de las posiciones reproductivas que generó la planta, la presencia de un pimpollo, una flor, una bocha verde, una cápsula abierta o un aborto (Guthrie y Kerby, 1993). Con estos datos se realizaron dinámicas de floración de las diferentes variedades, calculando el número de estructuras y porcentaje de retención en cada uno de los momentos muestreados, con la metodología explicada en la Figura 37. Del mismo modo y con la misma información se

podieron realizar cálculos de retención y número de estructuras reproductivas, diferenciando cada una de las ramas reproductivas o posiciones (1<sup>era</sup>, 2<sup>da</sup> o 3<sup>era</sup>).

Con el objeto de que la metodología sea comprendida, en el ejemplo de la Figura 37, se obtuvieron un total de 17 estructuras reproductivas con un % de retención global de 65%. Asimismo, se puede distinguir que, de las 17 estructuras reproductivas, 8 se presentaron en la 1<sup>er</sup> posición, 6 en la 2<sup>da</sup> posición y 3 en la 3<sup>era</sup> posición. Además, el % de retención en la 1<sup>era</sup>, 2<sup>da</sup> y 3<sup>era</sup> posición fue de 61%, 86% y 100%, respectivamente.

Por último, aclarar que en la Figura 37, se observan solamente cápsulas debido a que es un ejemplo del muestreo realizado a los 150 DDE. En los muestreos anteriores, también se registraron pimpollos, flores y bochas.



**Figura 37.** Esquema ilustrativo de realización de dinámica de floración en planta de algodón. Para cada nudo y posición se registran los pimpollos, flores o cápsulas retenidas. C: cápsula retenida; A: aborto; %RG: porcentaje de retención global, determinado por la relación entre el total de estructuras reproductivas retenidas y el total de posiciones reproductivas generadas por planta. Imagen adaptada de Guthrie y Kerby (1993).

#### 4.3.4 Análisis estadístico

Se utilizó la técnica de análisis de la varianza (ANOVA), aplicando el módulo de modelos lineales mixtos del programa estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2011). Para esto, se tomaron como efectos fijos las variedades (V), la fecha de siembra (FS), momento (M) y todas las interacciones entre estos factores, y se seleccionaron la campaña (C) y el bloque dentro de cada campaña (B) como efectos aleatorios. Además, teniendo en cuenta que los muestreos se realizaron en la misma parcela, se aplicó una función de correlación de errores de simetría compuesta y se aplicó una heterocedasticidad entre momentos para las variables

evaluadas. Las estimaciones de los parámetros para este modelo se obtuvieron aplicando el método de máxima verosimilitud restringida (REML).

Por otro lado, para el cálculo del progreso genético, se realizó en cada uno de las variables mencionadas anteriormente un ANOVA, particionando según el momento de muestro y tomando en este caso como efectos fijos el año de lanzamiento (AL), FS y su interacción (FS\*AL); mientras que los efectos aleatorios fueron campaña y bloque dentro de campaña. Con los resultados promedios de cada año de lanzamiento, luego del ANOVA, se realizaron regresiones lineales entre la variable dependiente y la variable independiente (AL). Las pendientes en cada una de las regresiones fueron los estimadores del progreso genético anual para cada uno de los componentes analizados. El cálculo de la significancia, el coeficiente de determinación ( $r^2$ ) y los gráficos se realizaron con el software SigmaPlot 14.0 (Sly1stat Software, San Jose).

Asimismo, para examinar los coeficientes de correlación entre las variables asociadas al crecimiento, morfológicas y de dinámica de floración con el rendimiento de fibra (RF), se realizaron mediciones de las medidas de correlaciones parciales entre dos variables, a través del método de correlaciones de Pearson, con los datos de las variables correspondientes al tercer momento de muestreo (M3). Se calcularon la prueba de significancia de las correlaciones y se graficaron con el paquete corrplot de RStudio (RStudio, 2020).

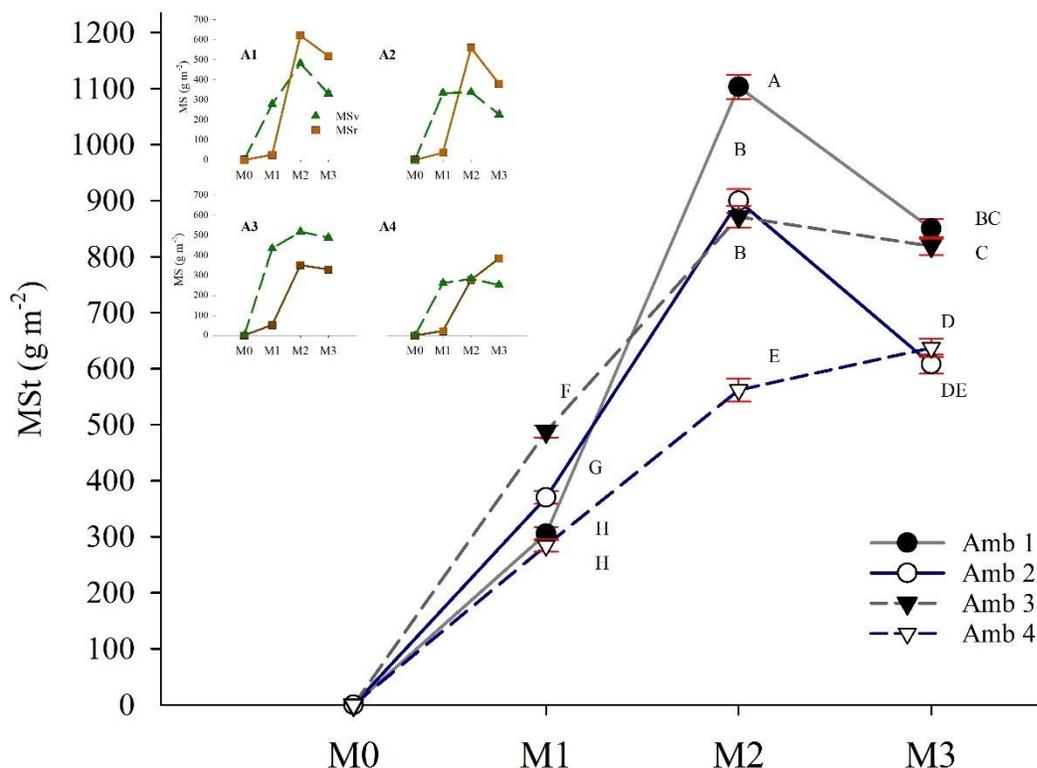
## **4.4 Resultados**

### *4.4.1 Análisis y comparación de las variables de crecimiento y partición de asimilados*

La Figura 38 ilustra el promedio de materia seca total (MSt) de todos los cultivares evaluados, según el ambiente y momento de partición. En general, no hubo grandes diferencias entre las campañas, en términos de MSt, con excepción de M2, donde C1 registró mayores valores que C2. Asimismo, entre las fechas de siembra, en todos los momentos de muestreos, FSI presentó mayores valores de MSt que FSII. Además, entre los momentos de partición realizados, M2 registró un mayor promedio de MSt ( $858 \text{ g.m}^{-2}$ ) que M3 ( $728 \text{ g.m}^{-2}$ ) y M1 ( $362 \text{ g.m}^{-2}$ ).

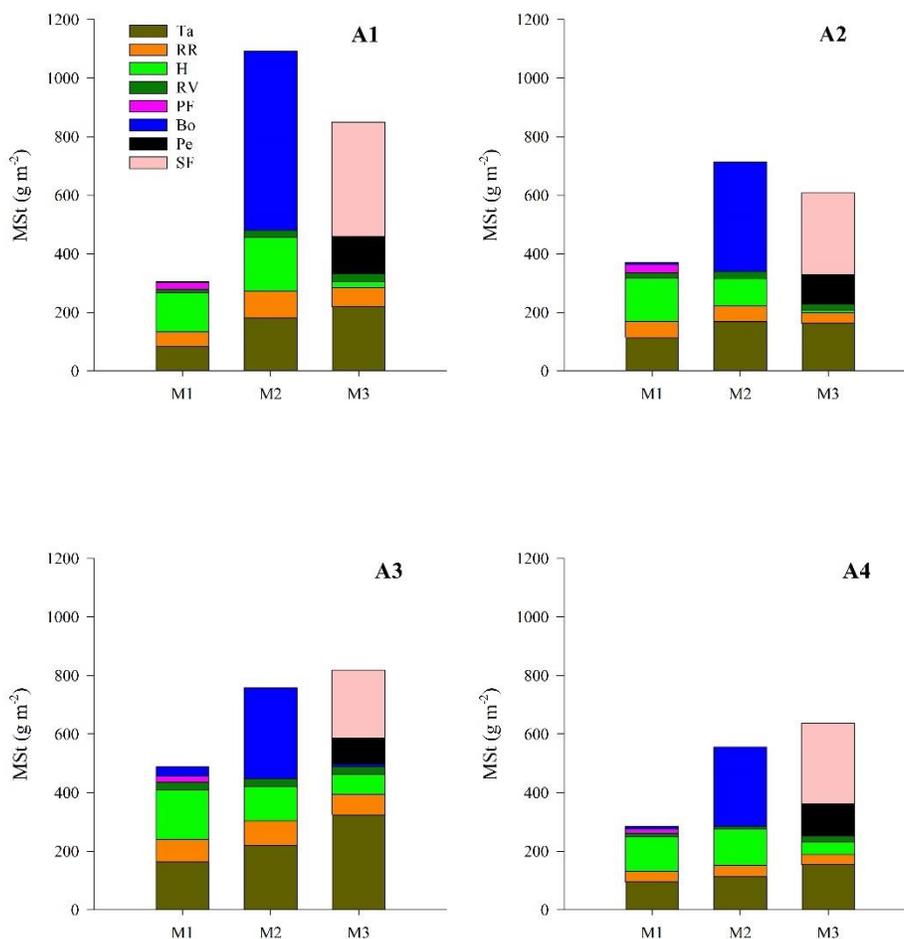
Por otro lado, en cada uno de los momentos de muestreo, tal como se describió en la metodología, la MSt fue dividida según el órgano de la planta, clasificándose en materia seca vegetativa (MSv) y reproductiva (MSr), según corresponda. El sub-gráfico presente en la

Figura 38 muestran la MSt dividida en MSv y MSr según el ambiente. En el análisis de la misma, se pudo observar que la MSv fue la componente que mayor aportó a la MSt en el momento M1 y que, MSr fue mayor para los momentos M2 y M3, con una excepción en el ambiente 3, donde MSv fue la mayor componente en todos los momentos de muestreo. En general, los máximos valores, tanto de MSr como de MSv, se alcanzaron en el momento M2 y en los ambientes A1 para MSr y A3 para MSv. Por otro lado, como se observa en la curva de MSt, A3 presentó uno de los mayores valores de MSt, tanto para M1 como en M2, no obstante, la mayor parte de la misma fue MSv. Asimismo, el ambiente A4, es en el único donde se observó un aumento de MSt desde M2 a M3, siendo este incremento posible debido al aumento de la MSr.



**Figura 38.** Figura principal: Materia seca total (MSt) promedio para todos los cultivares en los diferentes momentos de muestreo. M0: 0 días desde emergencia (DDE). M1: 50 DDE. M2: 100 DDE. M3: 150 DDE. Círculos negros y blancos indican campaña 1 para fecha de siembra temprana (línea sólida gris) y tardía (línea punteada azul), respectivamente. Triángulos negros y blancos indican campaña 2 para fecha de siembra temprana (línea punteada gris) y tardía (línea sólida azul), respectivamente. Figura secundaria: Materia seca vegetativa (líneas punteadas verdes) y reproductiva (líneas sólidas marrones) para los tres muestreos en los ambientes 1 (A1), 2 (A2), 3 (A3) y 4 (A4).

Como se mencionó en la metodología, en cada uno de los momentos de muestreos la MSt fue particionada y los resultados se pueden observar en la Figura 39. M1 estuvo representado fundamentalmente por órganos vegetativos, entre esos órganos se destacaron las hojas (H), tallos (Ta) y peciolos-ramas reproductivas (RR), siendo las H el principal componente de peso para M1 en todos los ambientes (39%). Con respecto a la MSr, los pimpollos y flores (PF) fueron los componentes más importantes en M1 en la mayoría de los ambientes, representando menos del 10% de la MSt. A partir de M2, la distribución de la MSt presentó un importante cambio en todos los ambientes, quedando la MSr como el principal componente de la MSt, excepto para el ambiente A3. En cada uno de los ambientes (incluso en A3), las bochas cerradas (Bo) fueron el principal componente de MSr, y representaron para M2, en promedio, 50% de la MSt en todos los ambientes. Con respecto a la MSv, el principal componente en términos relativos de peso en M2 fueron los Ta (22%), H (17%) y RR (8%). Con respecto al último momento de muestreo (M3), la MSr con las semillas y fibras (SF) y las perillas (Pe) representaron en promedio, entre todos los ambientes, un 60% de la MSt, con excepción de A3 donde estos componentes representaron solamente un 39%. Para el mismo momento de muestreo, el principal componente de la MSv continuó siendo Ta y se registró una importante disminución de H en todos los ambientes, debido fundamentalmente a la senescencia de las mismas (Figura 39).



**Figura 39.** Barras apiladas de materia seca (MSt) particionada según órgano: tallo (Ta-barra marrón), rama reproductiva y peciolo (RR – barra naranja), hojas (H – barra verde claro), rama vegetativa (RV – barra verde oscuro), pimpollos y flores (PF – barras fucsias), bochas cerradas (Bo - barras azules), perilla (Pe – barras negras) y semilla y fibra (SF – barras rosas), para los muestreos realizados 50 (M1), 100 (M2) y 150 (M3) días desde la emergencia para los 4 ambientes estudiados. A1: fecha de siembra temprana en campaña 2017/18; A2: fecha de siembra tardía en campaña 2017/18; A3: fecha de siembra temprana en campaña 2018/19 y A4: fecha de siembra tardía en campaña 2018/19.

Por otra parte, con el objeto de complementar la información sobre las variables relacionadas al crecimiento, expuesta en las figuras de la presente sección, en la Tabla 15 se presenta el resumen de los resultados del ANOVA realizado para las variables descriptas anteriormente, con las variedades (V), fecha de siembra (FS) y momento de muestreo (M) como factores de variación (FV). En este sentido, para resumir la información y que la tabla sea legible, solamente se presentan los resultados de las variables para las variedades en el momento M3. En cuanto a los resultados, se pudo observar que para la variable Ta se presentó una interacción significativa entre los tres FV evaluados, lo que hace necesario que los resultados tengan que ser tomados en cuenta teniendo en cuenta la variación conjunta de todos los

factores de variación. El mayor valor registrado para esta variable fue para Porá 3 en FSI y en el M3 con un valor de  $395 \text{ g m}^{-2}$ . Con respecto a RR, las diferencias significativas halladas fueron entre V y la interacción FS\*M, siendo Stoneville 508 y FSI en M2 donde se observaron los mayores valores de RR. Para la variable RV no se observaron interacciones significativas, por lo que se puede resaltar que la variedad Oro Blanco 2 y Porá 3 fueron las que mayores y menores pesos registraron, respectivamente. Del mismo modo, RV registró los mayores pesos en el momento M3 y en FSI. En la variable H, al igual que RV, no se observaron interacciones significativas entre los factores de variación, por lo que, las V, FS y M que registraron mayores valores de esta variable fueron Chaco 520, FSI y M1, respectivamente. Por otro lado, la variable Bo registró un comportamiento diferencial entre M, registrando variaciones tanto entre M\*FS como V\*M, siendo Porá y FSI en M2 los tratamientos que mayor Bo registraron. Para las variables reproductivas tales como PF, Pe y SF, solamente se tomaron en cuenta un momento de muestreo, siendo M1 para PF y M3 para Pe y SF, motivo por el cual M no fue utilizado en el modelo del ANOVA como factor de variación. La variable PF registró diferencias significativas solo entre V, siendo Chaco 510 la que mayor PF alcanzó. Además, se registraron diferencias significativas entre V y FS para SF y solo entre V para Pe. Guaraní y FSI registraron los mayores valores para SF, y Chaco 510 presentó el mayor peso de Pe. Por otra parte, todas las variables descriptas se agruparon en MSv, MSr y MSt, según correspondiera. Para MSv, no se registraron diferencias entre V y se presentó una interacción entre M\*FS donde FSI en M2 presentó el mayor valor. Además, en MSr se registraron diferencias significativas entre V, FS y M, sin interacciones entre los factores. Para ésta Chaco 510, M2 y FSI fueron la V, M y FS donde se presentaron los mayores valores de MSr, respectivamente. En la Figura Suplementaria 2 se presenta un gráfico para el mejor análisis y estudio de las interacciones entre las diferentes variables de crecimiento y el ambiente en el cual estuvieron expuestas.

Por último, los modelos mixtos permiten particionar la varianza de los errores entre todos los efectos aleatorios que colocamos dentro del modelo y así, obtener información adicional del análisis. En la parte final de la Tabla 15 se observa que, a diferencia de lo observado para la mayoría de los componentes de rendimiento y calidad de fibra, las variables relacionadas al crecimiento y partición de asimilados concentraron el mayor porcentaje de la variación dentro de la parte residual de los errores.

**Tabla 15.** Resultados del ANOVA para materia seca ( $\text{g m}^{-2}$ ) en las variables según Variedad (V), Momento (M) y Fecha de siembra (FS) evaluados en el experimento. Ta: materia seca (MS) de tallo, RR: MS de rama reproductiva y peciolo, RV: MS de rama vegetativa, H: MS de hoja, Bo: MS de bochas cerradas, PF: MS de pimpollos y flores, Pe: MS de perillas, SF: MS de semillas y fibra, MSt: MS total, MSv: MS vegetativa, MSr: MS reproductiva.  $\sigma^2$ : se refiere a la varianza. \*:  $p < 0,05$ ; \*\*:  $p < 0,01$  y \*\*\*:  $p < 0,001$ .

	Ta	RR	RV	H	Bo	PF <sup>+</sup>	Pe <sup>#</sup>	SF <sup>#</sup>	MSt	MSv	MSr
Stoneville 508	243,3	67,0	28,4	63,8	3,4	16,4 b	95,7	215,8 b	747,8	401,7	346,2
Deltapine 16	214,1	53,0	22,8	37,6	2,0	18,3 a	105,2	268,3 a	725,4	327,3	396,6
Toba II SP	172,0	48,1	26,1	29,6	3,0	25,3 a	102,3	276,4 a	678,8	277,3	399,9
Chaco 510	184,4	53,5	23,2	29,3	2,6	31,2 a	119,5	306,1 a	742,1	290,3	451,8
Porá	201,9	52,5	16,3	27,7	2,2	26,7 a	106,6	293,1 a	724,5	298,3	426,2
Deltapine 50	201,1	60,2	21,0	37,8	1,2	21,4 a	111,7	302,9 a	759,4	320,1	439,3
Guazuncho 2	199,4	52,1	22,7	36,6	0,0	23,4 a	99,5	263,1 a	679,7	311,9	360,9
Chaco 520	175,2	43,5	29,4	26,5	2,3	28,2 a	97,8	260,1 a	667,9	274,5	393,4
Guazuncho 2000	241,3	49,0	18,5	40,4	3,0	21,2 a	91,7	252,6 a	721,0	349,1	371,9
Guazuncho 3	197,3	49,1	20,6	27,9	4,9	23,9 a	107,6	275,5 a	710,5	294,9	415,6
Oro Blanco 2	221,7	59,2	34,6	18,3	1,4	19,7 a	111,4	263,7 a	760,3	338,3	425,2
Poraite	208,2	48,7	18,5	23,7	1,1	22,3 a	108,0	284,5 a	710,5	299,2	411,3
NuOpal	294,9	55,2	30,3	56,8	3,7	15,3 b	89,8	245,0 a	792,7	436,3	363,7
Deltapine 402	249,6	56,3	25,4	36,9	4,2	20,7 a	88,3	270,6 a	748,7	368,2	380,5
Deltapine 1238	264,7	46,5	30,1	72,4	5,5	14,2 b	95,9	262,4 a	800,6	413,7	386,9
Guazuncho 4	282,3	56,5	15,8	49,1	7,6	21,9 a	91,0	244,2 a	718,3	406,8	288,0
Guaraní	175,1	33,1	17,2	21,1	0,0	23,0 a	95,8	312,0 a	623,5	249,4	350,6
Porá 3	261,5	36,9	11,0	34,4	5,0	26,9 a	102,6	307,2 a	730,2	346,7	359,9
SP 41255	191,6	50,0	25,5	24,7	3,0	22,4 a	109,5	287,0 a	712,7	291,6	422,6
SP 6565	210,9	48,1	23,5	23,8	0,8	22,0 a	114,0	299,8 a	749,1	306,3	442,8
M1	116,7	55,0	17,0 b	140,2 a	2,7	-	-	-	368,2	329,9	35,1 c
M2	192,2	66,3	19,7 b	124,9 b	374,7	-	-	-	839,6	403,6	432,7 a
M3	219,5	51,0	23,0 a	35,9 c	13,0	-	-	-	725,2	330,1	391,7 b

Fecha de siembra (FS)	FS I M1	129,9	65,6 b	19,7 b	151,2 a	18,7 c	23,2	-	-	413,9 e	367,7 c	41,8 c
	FS II M1	103,4	44,4 c	14,4 c	129,2 b	7,2 d	21,3	-	-	322,5 f	292,2 d	28,4 d
	FS I M2	246,5	87,2 a	24,7 a	141,0 a	432,0 a	-	-	-	967,3 a	500,0 a	462,3 a
	FS II M2	137,9	45,5 c	14,8 c	108,9 c	317,4 b	-	-	-	712,0 c	307,2 d	403,2 b
	FS I M3	280,7	67,5 b	26,0 a	45,3 d	5,3 d	-	103,8	290,4 a	827,2 b	420,7 b	402,1 b
	FS II M3	158,3	34,3 d	20,0 b	26,5 e	0,2 e	-	100,6	258,7 b	623,1 d	239,5 e	381,2 b
	Variedad	***	***	***	***	ns	***	*	*	ns	***	**
FS	***	***	***	***	***	ns	ns	**	***	***	***	
Momento	***	***	***	***	***	-	-	-	***	***	***	
V*M	***	ns	ns	ns	*	-	-	-	ns	**	ns	
V*FS	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
M*FS	***	***	ns	ns	***	-	-	-	***	***	ns	
V*M*FS	**	ns	ns	ns	ns	-	-	-	ns	ns	ns	
$\sigma^2_{residual}$	1256,0	373,3	182,3	1306,1	379,5	64,6	631,5	7595,1	11996,8	8447,4	532,2	
$\sigma^2_{campana}$	398,0	2,56 <sup>E-06</sup>	1,5	290,0	11,0	34,3	277,9	4182,2	1,00 <sup>E-04</sup>	1154,0	1,30 <sup>E-05</sup>	
$\sigma^2_{bloque(campana)}$	23,5	3,4	1,96 <sup>E-06</sup>	7,1	7,57 <sup>E-07</sup>	1,8	18,3	140,9	12,3	6,7	19,9	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ) según DGC

+ Solo para momento 1 de partición - # Solo para momento 3 de partición.

#### 4.4.2 *Análisis y comparación de las variables morfológicas en diferentes momentos de muestreo y ambientes estudiados*

Al igual que para las variables asociadas al crecimiento y distribución de asimilados dentro de las plantas, en cada uno de los muestreos se realizaron una serie de mediciones morfológicas a las variedades utilizadas en los experimentos, que fueron explicadas tanto en el capítulo 2 como en la sección 6.3 del presente capítulo.

En la Tabla 16 se presenta el resumen de los resultados del ANOVA realizado para las variables descritas anteriormente, con los mismos FV y formato de presentación (los valores de las variedades solo para M3) que para la sección anterior. En general, se registraron diferencias significativas entre los FV utilizados en los modelos estadísticos para cada una de las variables y también, algunas interacciones entre los mismos. Para comenzar, las variables A y NN presentaron diferencias significativas entre las variedades e interacción entre FS\*M, donde la variedad NuOpal y la FSI en M2 registraron los mayores valores de A y NN; respectivamente. La variable DEN, que es un indicador del crecimiento de las distintas variedades, presentó diferencias significativas para FS\*M, siendo FSI y M3 los que registraron mayores valores para estos parámetros. Con respecto al número, tanto de RV como de RR, ambas variables registraron diferencias significativas entre las variedades e interacción entre FS\*M. Dentro de las variedades, NuOpal y Porá 3 presentaron el mayor y menor NRV, y Deltapine 16 y Toba II registraron el mayor y menor NRR, respectivamente. Además, las variables morfológicas asociadas a la posición del primer nudo reproductivo (NIPRR) y a la distancia de este tanto con el suelo (AIPRR), como con la primera estructura reproductiva (DPP), registraron diferencias entre los FV evaluados. En primer lugar, dentro de estas variables, NIPRR registró una interacción triple, donde la variedad NuOpal en FSII y M3 registró el mayor valor en el experimento. En segundo lugar, en AIPRR se observaron diferencias significativas entre V y una interacción significativa entre FS\*M, donde NuOpal y FSI en M2 presentaron los mayores valores. En tercer lugar, DPP no presentó interacciones y registró diferencias significativas para V, FS y M, donde Oro Blanco II, FSI y M3 presentaron los mayores valores para DPP. Por otra parte, con respecto a dos índices que permiten evaluar el desarrollo morfológico foliar de las diferentes variedades en los momentos y ambientes estudiados, se pudo observar que, por un lado, IAF registró diferencias significativas entre V y FS\*M y, por otro lado, AFE presentó diferencias solo

para FS (cabe destacar que para AFE solamente se realizaron las evaluaciones para los momentos 1 y 2). La variedad con mayor IAF en el experimento fue NuOpal y la FSI en M1, además, el AFE en FSI fue significativamente mayor que en FSII.

Por último, y al igual que el apartado anterior, la varianza de los errores para las variables relacionadas a la morfología de las plantas en los diferentes momentos de evaluación concentraron el mayor porcentaje de la variación dentro de la parte residual de los errores (Tabla 16).

**Tabla 16.** Resultados del ANOVA para las variables morfológicas en Variedades (V), Momentos (M) y Fecha de siembra (FS) evaluados en el experimento. A: altura, NN: número de nudos, DEN: distancia entre nudos, NRV: número de ramas vegetativas, NRR: número de ramas reproductivas, NIPRR: número de 1<sup>er</sup> rama reproductiva, AIPRR: altura vertical a 1<sup>er</sup> rama reproductiva, DPP: distancia horizontal a 1<sup>er</sup> rama reproductiva, IAF: índice de área foliar, AFE: área foliar específica.  $\sigma^2$ : se refiere a la varianza. \*: p<0,05; \*\*:p<0,01 y \*\*\*:p<0,001.

	A (cm)	NN	DEN (cm nudo <sup>-1</sup> )	NRV	NRR	NIPRR	AIPRR (cm)	DPP (cm)	IAF <sup>#</sup> (cm <sup>2</sup> cm <sup>-2</sup> )	AFE <sup>#</sup> (g cm <sup>-2</sup> )	
Variedades (V) en M3	Stoneville 508	84,2 a	17,8	4,8	1,2 b	12,2	6,7	23,5 b	7,8 a	3,0	193,1
	Deltapine 16	80,2 a	18,1	4,5	1,1 b	12,8	6,3	20,9 c	6,9 b	2,6	176,5
	Toba II SP	72,2 b	16,5	4,4	1,5 b	11,0	6,5	22,0 b	7,1 b	2,9	171,1
	Chaco 510	72,4 b	16,7	4,4	1,2 b	11,6	6,1	21,0 c	6,4 b	2,5	171,1
	Porá	76,0 a	17,6	4,4	1,0 b	11,5	7,0	22,7 b	6,8 b	2,6	175,0
	Deltapine 50	74,2 a	17,3	4,3	1,2 b	12,1	6,2	20,2 c	7,2 b	2,7	178,8
	Guazuncho 2	74,6 a	17,7	4,4	1,2 b	12,3	6,3	21,2 c	6,0 b	2,7	186,8
	Chaco 520	75,9 a	17,2	4,4	1,3 b	11,4	6,9	24,6 b	7,3 b	2,6	169,7
	Guazuncho 2000	81,0 a	17,7	4,7	1,3 b	12,3	6,4	24,6 b	6,0 b	2,7	189,4
	Guazuncho 3	78,4 a	17,6	4,5	1,1 b	11,8	6,8	24,4 b	7,1 b	2,4	171,3
	Oro Blanco 2	85,5 a	18,3	4,7	1,7 b	11,9	7,3	25,7 b	9,4 a	2,2	162,9
	Poraite	77,0 a	17,5	4,5	1,1 b	11,8	6,7	24,2 b	6,7 b	2,2	166,8
	NuOpal	88,3 a	18,9	4,7	2,4 a	11,9	8,0	31,4 a	8,8 a	3,1	191,2
	Deltapine 402	82,6 a	17,8	4,9	1,2 b	12,0	6,1	24,4 b	7,9 a	2,5	183,0
	Deltapine 1238	80,5 a	17,8	4,6	1,9 a	11,3	7,5	27,6 a	5,6 b	2,8	184,3
	Guazuncho 4	81,5 a	18,1	4,7	1,2 b	12,2	6,9	25,7 b	7,5 b	2,9	193,0
	Guaraní	71,9 b	17,2	4,4	1,0 b	11,2	6,9	22,2 b	5,8 b	2,2	172,7
	Porá 3	78,4 a	17,7	4,6	0,8 b	11,5	7,1	25,8 b	5,9 b	2,7	180,4
	SP 41255	77,8 a	17,3	4,5	1,1 b	11,9	6,4	22,1 b	6,1 b	2,3	176,9
	SP 6565	80,7 a	17,6	4,6	1,4 b	11,9	6,7	23,5 b	6,6 b	2,5	172,7
Momento (M)	M1	65,3	14,8	4,4 b	1,6	9,3	6,5	22,8	6,4 b	2,6	178,3 a
	M2	78,1	17,9	4,4 b	1,4	12,3	6,5	23,5	6,5 b	1,0	81,9 b
	M3	78,7	17,6	4,5 a	1,3	11,8	6,7	23,4	7,0 a	-	-

Fecha de siembra (FS)	FS I M1	72,9 b	14,9 d	4,9 b	1,6 a	10,0 d	5,9	24,3 a	7,0 b	3,1 a	195,9
	FS II M1	57,7 d	14,7 d	4,0 d	1,6 a	8,5 e	7,2	21,2 c	5,8 d	2,2 b	160,7
	FS I M2	88,7 a	18,4 a	4,8 b	1,5 b	13,4 a	6,0	24,5 a	7,4 a	1,4 c	88,1
	FS II M2	67,6 c	17,4 c	3,9 d	1,2 c	11,2 c	7,2	22,5 b	5,7 d	0,6 d	75,7
	FS I M3	88,9 a	17,9 b	5,0 a	1,2 c	12,6 b	6,3	24,2 a	7,7 a	-	-
	FS II M3	68,4 c	17,3 c	4,1 c	1,4 b	11,1 c	7,2	23,5 a	6,2 c	-	-
	Variedad	*	***	ns	***	***	***	***	***	***	**
FS	***	***	***	ns	***	***	***	***	***	***	***
Momento	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	-
V*M	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-	-
V*FS	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
M*FS	***	***	ns	***	**	***	***	***	ns	***	-
V*M*FS	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	-
$\sigma^2_{residual}$	170,0	1,1	0,7	0,7	1,7	0,7	10,8	3,4	0,9	1086,0	
$\sigma^2_{campana}$	1,00 <sup>E-06</sup>	1,3	0,3	0,1	1,1	0,05	0,0	3,5	4,41 <sup>E-02</sup>	4,1	
$\sigma^2_{bloque(campana)}$	1,44 <sup>E-22</sup>	0,1	3,60 <sup>E-09</sup>	0,0	7,29 <sup>E-02</sup>	5,76 <sup>E-06</sup>	0,4	0,0	4,41 <sup>E-08</sup>	7,92 <sup>E-05</sup>	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ) según DGC

#### 4.4.3 *Análisis y comparación de las variables relacionadas a la dinámica de floración y a los índices de la partición de asimilados*

En la Tabla 17 se presenta el resumen de los resultados del ANOVA para las variables relacionadas a la dinámica de floración descritas anteriormente, con los mismos FV y con el mismo formato de presentación (los valores de las variedades solo para M3) que en las secciones anteriores. En general, se observaron diferencias significativas entre las variedades para las variables analizadas y algunas interacciones entre los FV. La retención global de estructuras reproductivas (RG) presentó diferencias entre variedades e interacción significativas (FS\*M), siendo SP 6565 y la FSI en M1 los que mayores RG registraron. En esta variable es importante remarcar que en M1 siempre se observaron los mayores valores de retención y que, para M2 y M3, la FSII registró mayores valores de RG que FSI. Cuando la RG fue clasificada dependiendo la posición de la estructura reproductiva en la planta, se obtuvieron interacciones significativas (FS\*M) y diferencias entre variedades solamente para R1P. La variedad SP 6565 fue la que registró mayor R1P, y la FSI en M1 registró los máximos valores de R1P y R2P. Por otra parte, al referirse al número total de posiciones para estructuras reproductivas por unidad de superficie (NP), se registraron diferencias significativas para V, FS y M, siendo Deltapine 16, FSI y M2 las que mayores valores registraron. Al clasificar, al igual que a la variable RG, las posiciones según se encontraban en primera (NP1P) o segunda posición (NP2P), se observaron diferencias significativas, tanto entre variedades como entre FS\*M. Dentro de las variedades, SP 6565 y SP 41255 registraron los valores significativamente mayores para NP1P y NP2P, respectivamente. En la interacción de los FV mencionados, nuevamente la FSI en M1 presentó valores superiores, tanto en NP1P como en NP2P. Por otro lado, el índice R/V presentó diferencias entre los factores de variación evaluados e interacciones (FS\*M y M\*V). Además, tanto AR como IC para M3 presentaron diferencias entre V y FS, siendo la variedad Guaraní y FSII las que presentaron mayores valores para estas variables.

Por último, y al igual que el apartado anterior, la varianza de los errores para las variables relacionadas a la morfología de las plantas, en los diferentes momentos de evaluación, concentraron el mayor porcentaje de la variación dentro de la parte residual de los errores (Tabla 17).

**Tabla 17.** Resultados del ANOVA para las variables relacionadas a la dinámica de floración en Variedades (V), Momentos (M) y Fecha de siembra (FS) evaluados en el experimento. RG: retención global, R1P: retención en 1<sup>era</sup> posición, R2P: retención en 2<sup>da</sup> posición, NP: número de posiciones, NP1P: número de posiciones en 1<sup>era</sup> posición, NP2P: número de posiciones en 2<sup>da</sup> posición, AR: alocación reproductiva, IC: índice de cosecha.  $\sigma^2$ : se refiere a la varianza. \*: p<0,05; \*\*:p<0,01 y \*\*\*:p<0,001.

		RG (%)	R1P (%)	R2P (%)	NP (NP m <sup>-2</sup> )	NP1P (NP m <sup>-2</sup> )	NP2P (NP m <sup>-2</sup> )	R/V	AR <sup>#</sup>	IC <sup>#</sup>
Variedades (V) en M3	Stoneville 508	26,4	32,1	16,4	398,9	72,7	18,8	1,01	0,30 b	0,11 b
	Deltapine 16	27,7	35,7	19,9	434,0	85,4	28,5	1,38	0,37 a	0,14 a
	Toba II SP	26,6	34,8	16,1	364,0	72,0	18,6	1,54	0,39 a	0,14 a
	Chaco 510	28,1	35,6	20,0	389,2	78,7	24,2	1,73	0,39 a	0,15 a
	Porá	30,6	38,7	17,2	373,5	83,4	20,9	1,65	0,39 a	0,15 a
	Deltapine 50	27,3	34,3	21,2	427,1	78,9	26,8	1,61	0,40 a	0,15 a
	Guazuncho 2	27,5	35,6	20,0	406,4	82,1	22,3	1,30	0,36 a	0,14 a
	Chaco 520	27,0	35,2	15,3	371,3	77,2	18,6	1,55	0,39 a	0,15 a
	Guazuncho 2000	28,4	33,6	21,0	345,5	69,9	19,8	1,28	0,35 a	0,14 a
	Guazuncho 3	28,4	36,4	17,7	398,0	81,3	22,1	1,60	0,38 a	0,16 a
	Oro Blanco 2	25,5	33,2	17,9	422,6	75,8	24,6	1,63	0,39 a	0,16 a
	Poraité	29,4	37,0	17,0	362,7	77,0	19,7	1,57	0,38 a	0,16 a
	NuOpal	25,1	29,9	16,3	391,6	64,7	19,9	1,05	0,31 b	0,11 b
	Deltapine 402	27,7	36,0	15,4	366,4	75,9	16,8	1,29	0,36 a	0,14 a
	Deltapine 1238	27,5	32,6	17,8	361,2	68,1	18,7	1,09	0,34 a	0,14 a
	Guazuncho 4	25,8	33,9	16,8	376,1	77,9	16,0	0,78	0,31 b	0,12 b
	Guaraní	29,5	39,2	21,5	330,6	84,3	16,5	1,49	0,43 a	0,18 a
	Porá 3	31,8	37,3	36,0	327,8	79,9	21,6	1,34	0,39 a	0,16 a
	SP 41255	30,3	37,2	23,0	403,5	85,2	29,0	1,55	0,38 a	0,16 a
	SP 6565	32,8	41,1	21,4	386,9	93,2	25,4	1,62	0,39 a	0,16 a
Momento (M)	M1	71,5	75,8	63,7	333,2 c	137,8	77,2	0,10	-	-
	M2	27,5	35,2	19,8	426,6 a	82,5	27,1	1,16	-	-
	M3	28,1	35,4	19,4	381,9 b	78,2	21,4	1,40	-	-

Fecha de siembra (FS)	FS I M1	75,5 a	81,8 a	69,2 a	375,6 c	160,9 a	91,4 a	0,11 e	-	-
	FS II M1	67,7 b	69,9 b	58,2 b	290,8 e	114,7 b	63,1 b	0,10 e	-	-
	FS I M2	23,9 d	32,9 d	20,1 c	482,5 a	83,3 c	27,5 c	0,95 d	-	-
	FS II M2	31,1 c	37,5 c	19,5 c	370,8 c	81,9 c	26,8 c	1,36 b	-	-
	FS I M3	24,9 d	33,9 d	19,3 c	431,5 b	80,9 c	22,1 d	1,09 c	0,33 b	0,13 b
	FS II M3	31,4 c	37,0 c	19,5 c	332,2 d	75,4 d	20,8 d	1,72 a	0,41 a	0,16 a
	Variedad	*	***	ns	***	***	***	***	***	***
FS	*	ns	***	***	***	***	***	***	***	***
Momento	***	***	***	***	***	***	***	-	-	-
V*M	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	-	-	-
V*FS	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
M*FS	***	***	**	ns	***	***	***	-	-	-
V*M*FS	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-	-	-
$\sigma^2_{residual}$	282,2	195,7	577,4	5397,8	820,2	1016,3	3,60 <sup>E-03</sup>	4,90 <sup>E-03</sup>	9,00 <sup>E-04</sup>	
$\sigma^2_{campana}$	11,2	96,2	5,4	4,00 <sup>E-04</sup>	289,3	3,9	1,44 <sup>E-10</sup>	1,60 <sup>E-03</sup>	1,00 <sup>E-04</sup>	
$\sigma^2_{bloque(campana)}$	0,2	8,65 <sup>E-05</sup>	7,29 <sup>E-02</sup>	436,8	9,0	4,4	1,00 <sup>E-02</sup>	1,00 <sup>E-04</sup>	1,96 <sup>E-06</sup>	

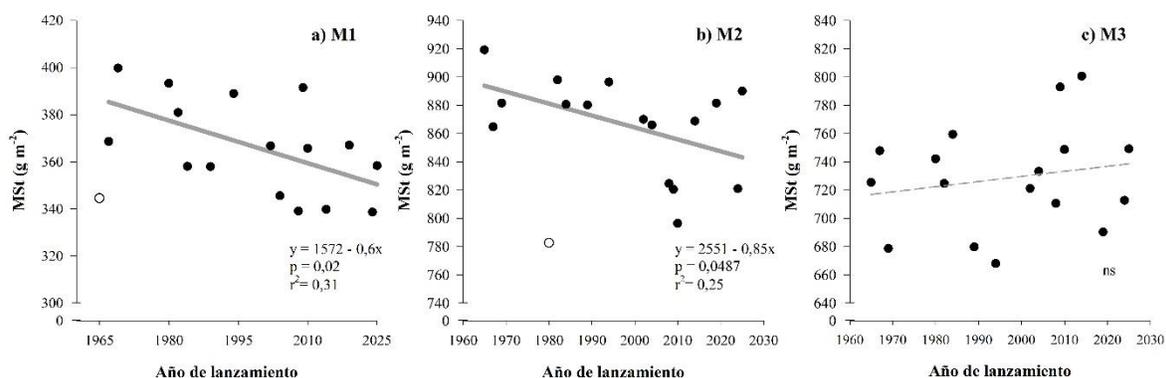
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ) según DGC

# Solo para momento 3 de partición

#### 4.4.4 Progreso genético de las variables relacionadas al crecimiento, morfología y dinámica de floración

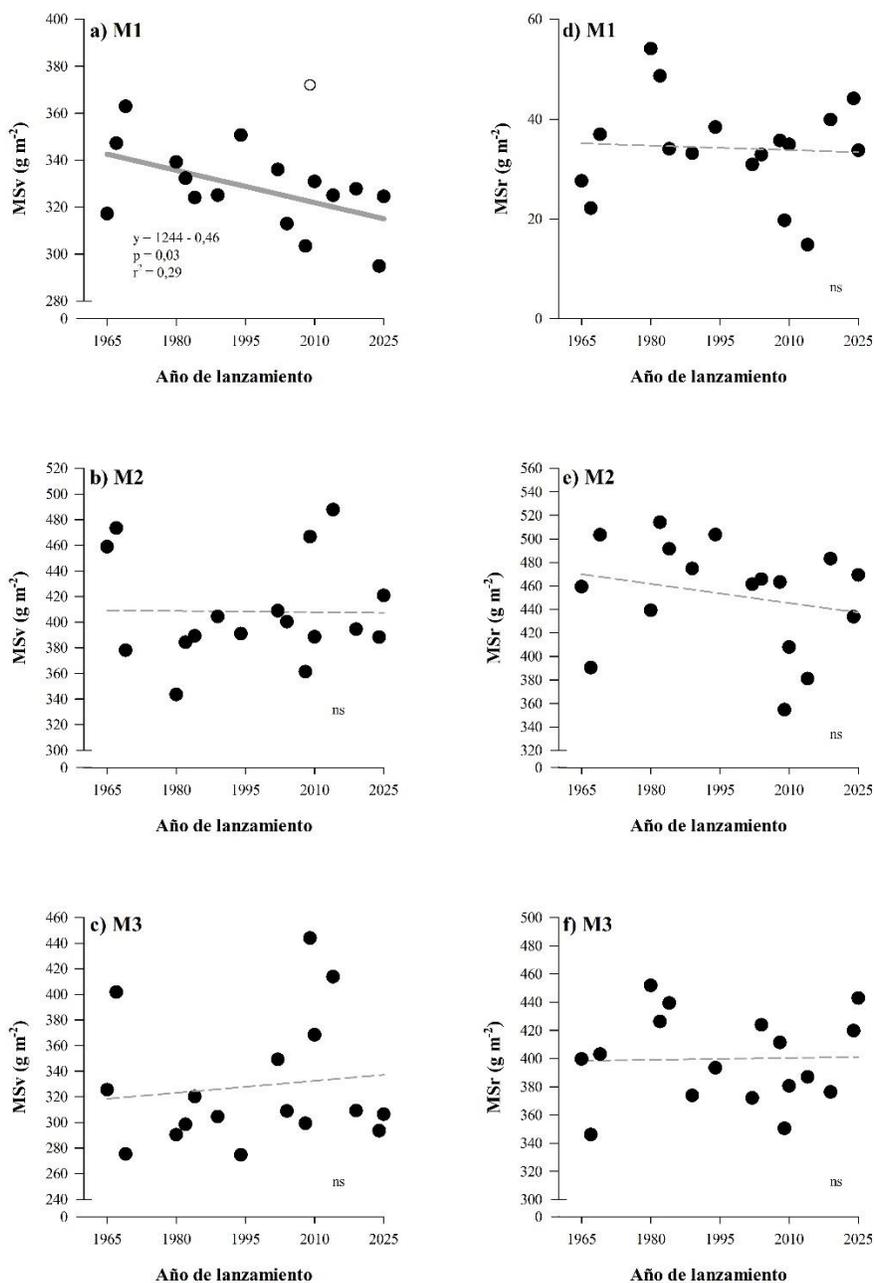
##### 4.4.4.1 Variables relacionadas al crecimiento

La materia seca total (MSt) registró un progreso genético negativo y significativo para M1 y M2 (Figura 40). La MSt registró un descenso entre los años de lanzamiento analizados de 0,60 y 0,85  $\text{g m}^{-2}$  para M1 y M2, respectivamente, que indica un descenso promedio de 36 y 51  $\text{g m}^{-2}$  de MSt durante el periodo analizado.



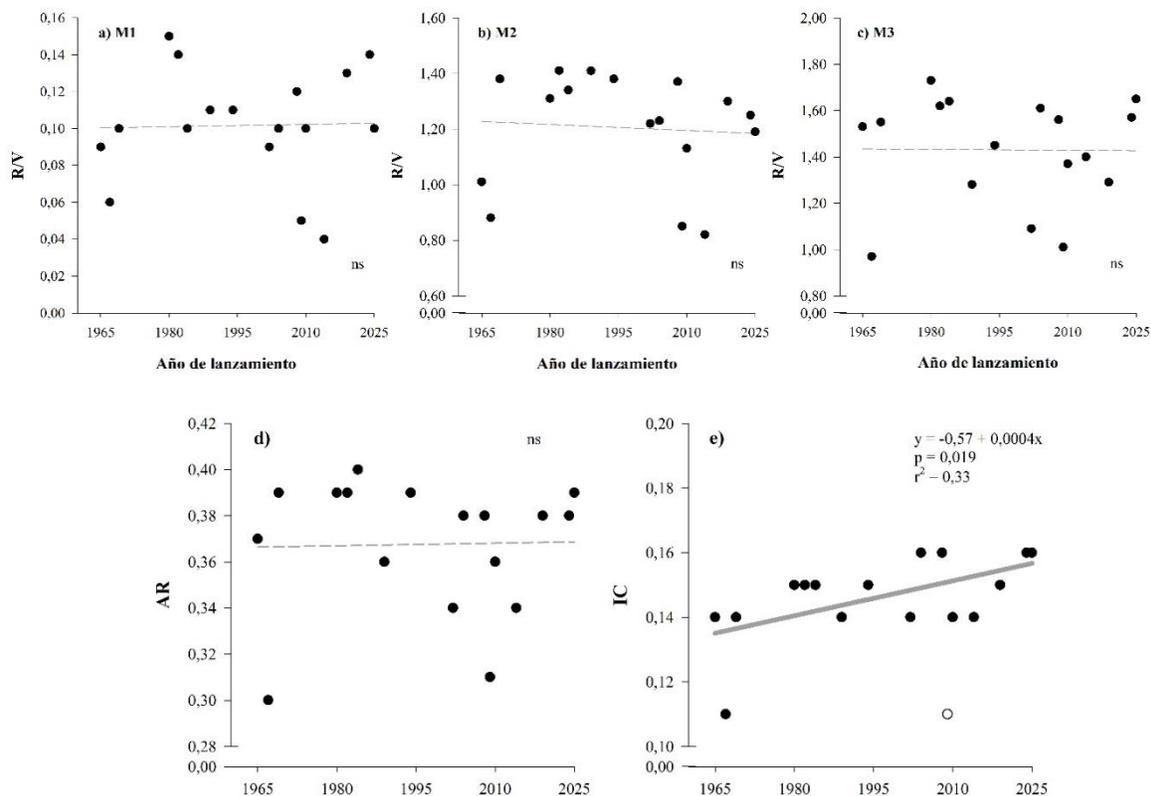
**Figura 40.** Tasas estimadas de progreso genético para materia seca total (MSt) de algodón, utilizando cultivares desde 1965 hasta la actualidad, en 4 ambientes de estudios, para 3 muestreos realizados durante el ciclo del cultivo: a) M1: 50 días desde la emergencia (DDE), b) M2: 100 DDE y c) M3: 150 DDE. Los puntos blancos no se tuvieron en cuenta para la regresión y corresponden al año de lanzamiento 1965 y 1980 para M1 y M2, respectivamente. Líneas solidas representan regresiones significativas.

Por otra parte, al dividir la MSt en materia seca vegetativa (MSv) y reproductiva (MSr), se observa solamente una relación lineal significativa para M1 en la MSv (Figura 41a). Esta tendencia fue negativa y significó una disminución de 27,6  $\text{g m}^{-2}$  de MSv para el periodo analizado. Para los otros momentos, no se observaron tendencias positivas o negativas entre los años de lanzamiento, y en la mayoría de ellos la recta estuvo cercana a una constante. Con los resultados particionados de la MSt, se puede observar que la disminución significativa en MSt para M1 estuvo asociado a una disminución de MSv.



**Figura 41.** Tasas de progreso genético para materia seca vegetativa (MSv) para: a) primer momento de muestreo (M1), b) segundo momento de muestreo (M2) y c) tercer momento de muestreo (M3), y para materia seca reproductiva (MSr) para d) M1, e) M2 y f) M3. El punto blanco en a) no se tuvo en cuenta para la regresión y corresponde al año de lanzamiento de 2009. Líneas solidas representan regresiones significativas.

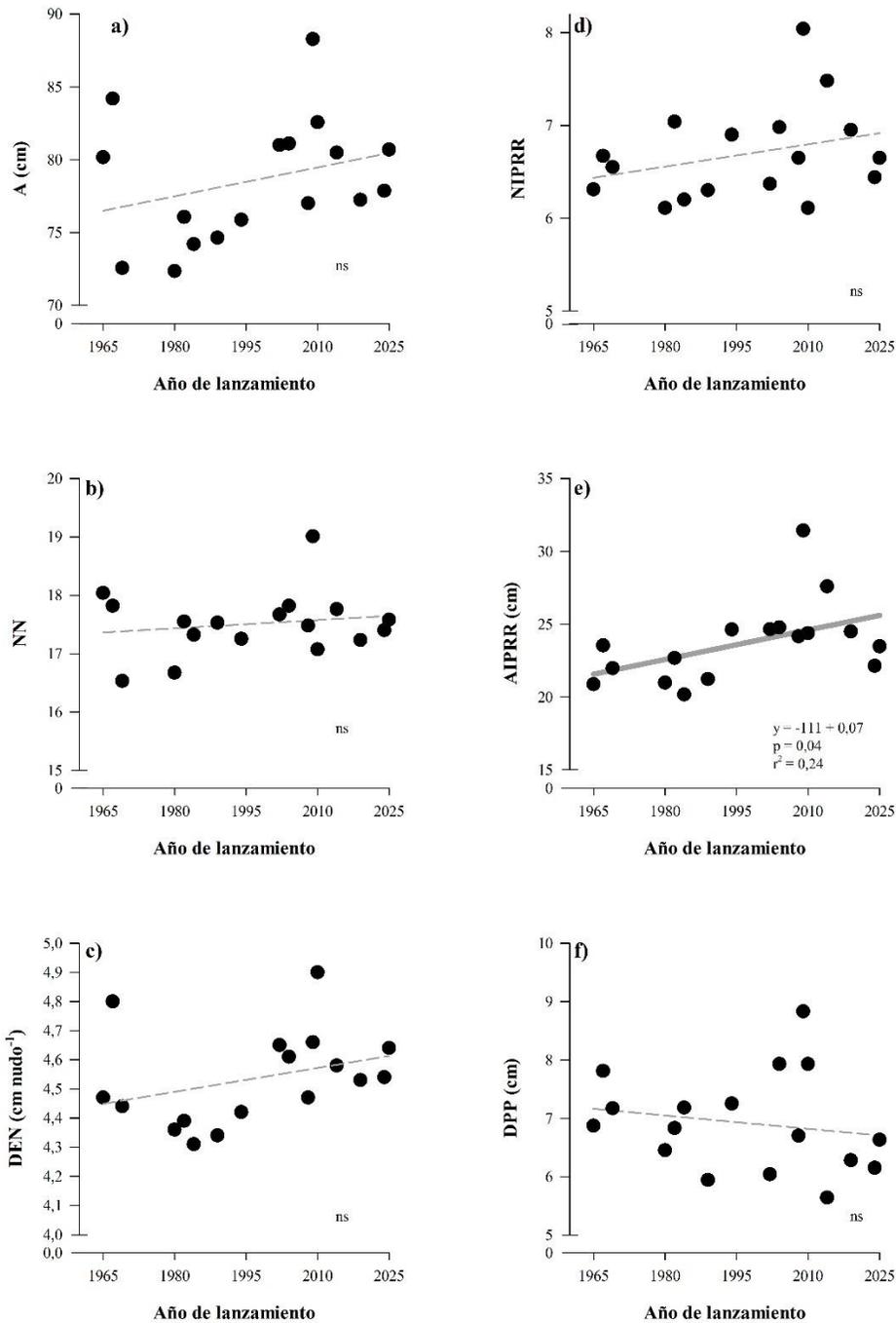
Por otro lado, no se observaron progresos genéticos significativos para el índice reproductivo/vegetativo (R/V) y para la alocaión reproductiva (AR). Sin embargo, si se identificó un progreso genético significativo y positivo para el índice de cosecha (IC) en las variedades utilizadas en el experimento (Figura 42e).



**Figura 42.** Tasas de progreso genético para el índice reproductivo/vegetativo (R/V) para: a) primer momento de muestreo (M1), b) segundo momento de muestreo (M2) y c) tercer momento de muestreo (M3), d) alocación reproductiva (AR) para M3 y e) índice de cosecha (IC) para M3. El punto blanco en e) no se tuvo en cuenta para la regresión y corresponde al año de lanzamiento de 2009. Líneas solidas representan regresiones significativas.

#### 4.4.4.2 Variables morfológicas

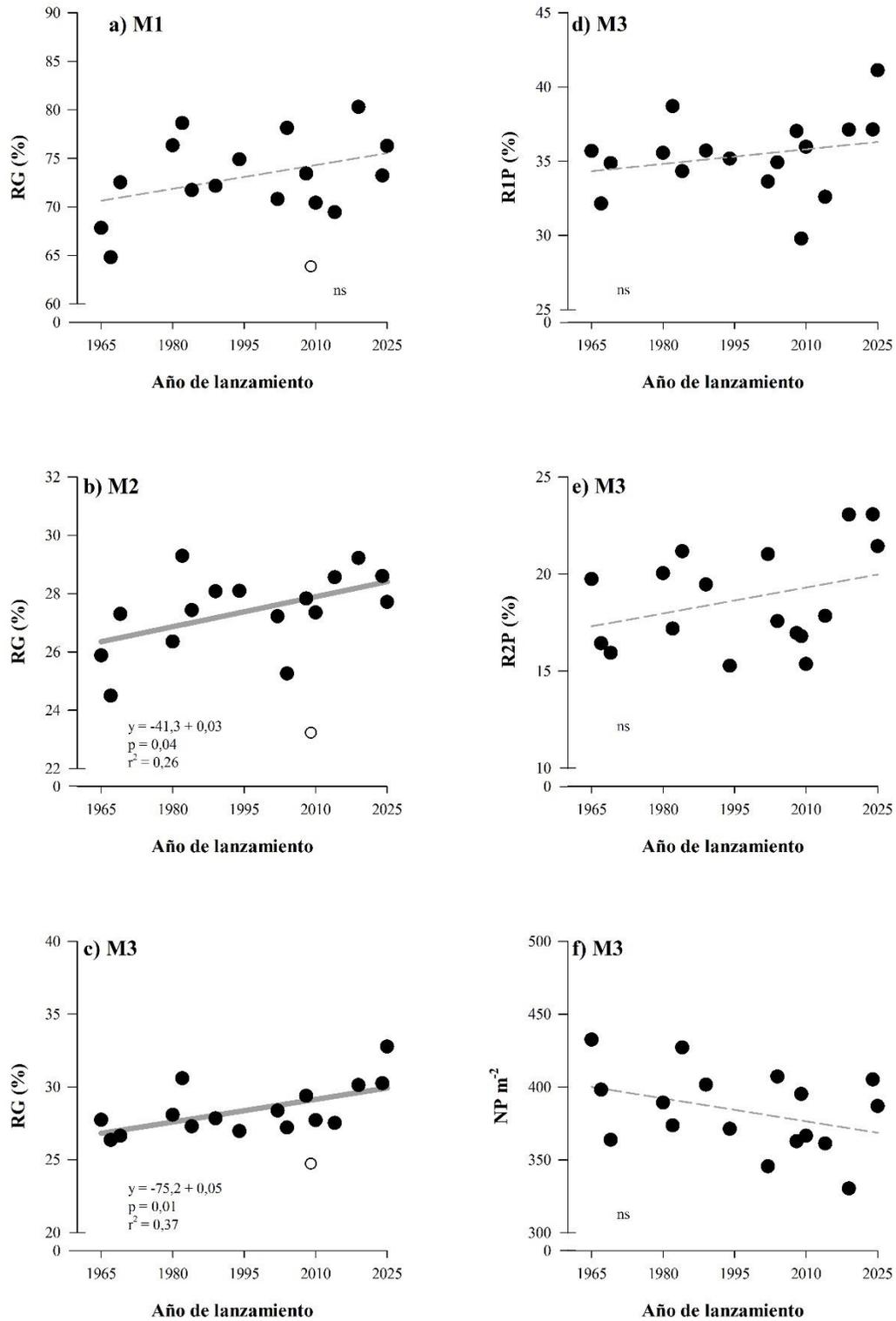
Del mismo modo que el progreso genético fue determinado para las variables relacionadas al crecimiento, en la Figura 43 se puede observar el análisis realizado para las variables relacionadas a la morfología de las plantas realizado para el momento de muestreo M3. De todas las variables evaluadas en esta instancia, solamente AIPRR presentó progreso genético significativo, con un incremento de 4,2 cm en el periodo analizado. Las demás variables registraron, en general, tendencias positivas para las variedades modernas, con excepción de DPP, donde se observó una tendencia negativa con el año de lanzamiento.



**Figura 43.** Tasas de progreso genético para variables relacionadas a la morfología de las plantas, para el muestreo de 150 días desde emergencia (M3) en: a) altura (A), b) número de nudos (NN), c) distancia entre nudos (DEN), d) nudo de la primera estructura reproductiva (NIPRR), e) altura de la rama de la primera estructura reproductiva (AIPRR) y f) distancia horizontal a la primera estructura reproductiva (DPP). Líneas solidas representan regresiones significativas.

#### 4.4.4.3 Variables relacionadas a la dinámica de floración

El progreso genético RG en los diferentes momentos de muestreos y para las diferentes posiciones, junto con el total de posiciones generadas, se puede observar en la Figura 44. Entre todas las variables evaluadas en esta instancia, el progreso genético fue significativo solamente para la variable RG en los momentos de muestreo M2 y M3 demostrando un incremento en el periodo analizado de 1,8 y 3,0% de RG, para M2 y M3, respectivamente.

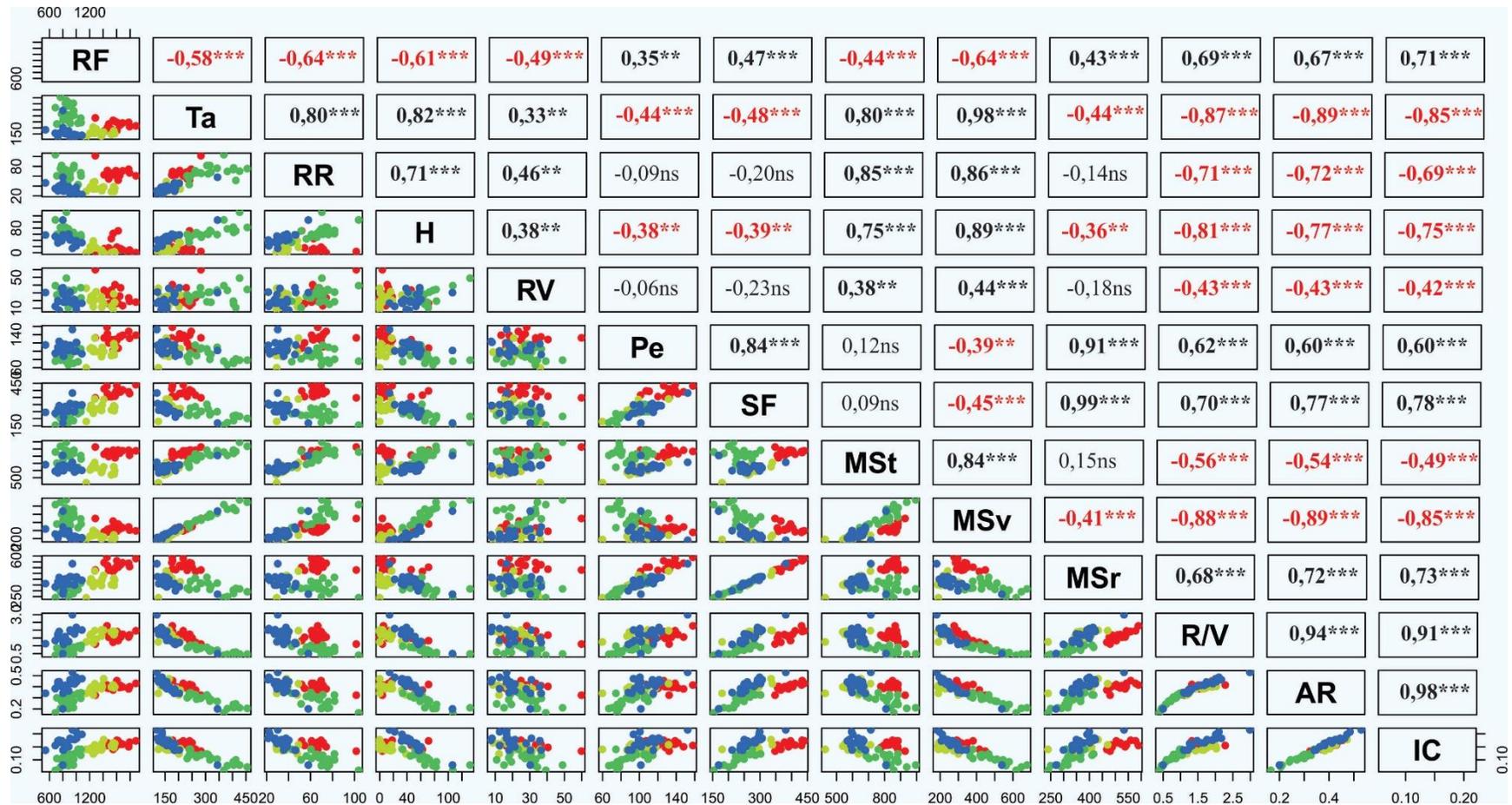


**Figura 44.** Tasas de progreso genético para variables relacionadas a la dinámica de floración: retención global (RG) para: a) primer momento de muestreo (M1), b) segundo momento de muestreo (M2) y c) tercer momento de muestreo (M3), d) retención en la primera posición para M3 (R1P), e) retención en la segunda posición (R2P) y f) número de posiciones m<sup>-2</sup>. El punto blanco en a, b y c no se tuvo en cuenta para la regresión y corresponde al año de lanzamiento de 2009. Líneas solidas representan regresiones significativas.

#### 4.4.5 *Relación entre el rendimiento de fibra y las variables estudiadas en este capítulo*

##### 4.4.5.1 Rendimiento de fibra y variables de crecimiento

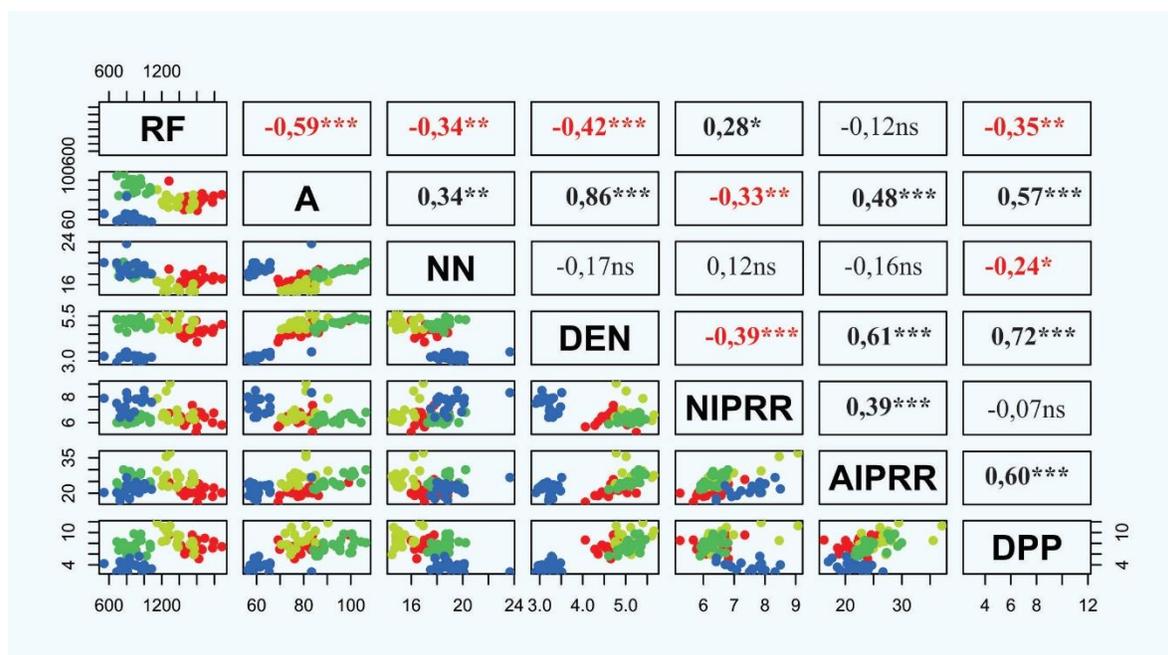
En la Figura 45 se presentan los resultados de las correlaciones entre RF y las variables de crecimiento y partición, es necesario remarcar que el panel de correlaciones fue llevado a cabo con los datos que se obtuvieron en las parcelas en el tercer momento de muestreo (M3). RF presentó correlaciones con el peso seco de perillas (Pe), semilla y fibra (SF), materia seca reproductiva (MSr), índice reproductivo/vegetativo (R/V), alocación reproductiva (AR) e índice de cosecha (IC). Asimismo, RF registró correlaciones negativas con: peso seco de tallo (Ta), de ramas reproductivas y peciolo (RR), de hoja (H), de ramas vegetativas (RV), de materia seca total (MSt) y de materia seca vegetativa (MSv). Además, en general, las partes vegetativas de las plantas presentaron correlaciones negativas con el rendimiento y con las partes reproductivas. Contrariamente, los constituyentes de la MSr registraron correlaciones positivas con RF y negativas con MSv.



**Figura 45.** Panel de correlaciones parciales entre rendimiento de fibra (RF) en kg ha<sup>-1</sup> y el peso seco en g m<sup>-2</sup> de las variables de crecimiento y partición correspondientes al muestreo de los 150 días desde la emergencia (M3). Referencias: Tallo (Ta), ramas reproductivas y peciolo (RR), hojas (H), ramas vegetativas (RV), perilla (Pe), semillas y fibras (SF), materia seca total (MSt), MS vegetativa (MSv), MS reproductiva (MSr), índice reproductivo/vegetativo, alocación reproductiva (AR) e índice de cosecha (IC). En el triángulo superior derecho se encuentran los valores de las correlaciones de Pearson y su significancia, siendo \*: p<0,05; \*\*: p<0,01 y \*\*\*: p<0,001. El triángulo inferior izquierdo muestra la distribución entre cada una de las variables analizadas de a pares. Cada punto representa el promedio de una variedad en un ambiente siendo los puntos rojos (FSI) y amarillos (FSII) la campaña I y los puntos verdes (FSI) y azules (FSII) la campaña II.

#### 4.4.5.2 Rendimiento de fibra y variables morfológicas

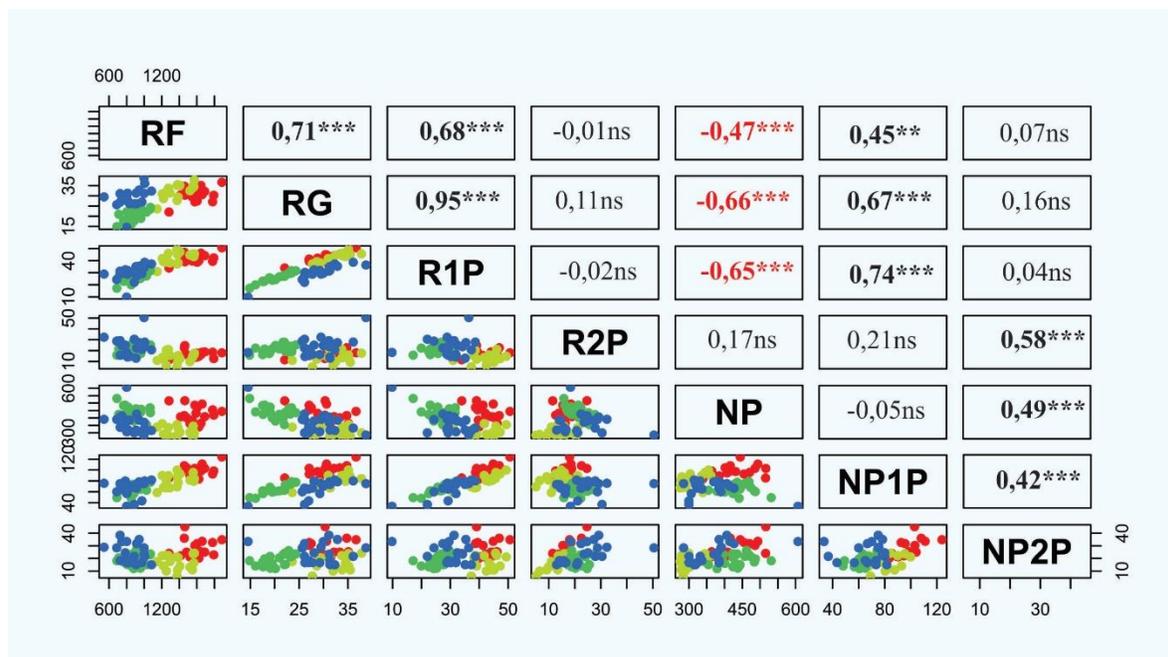
En la Figura 46 se puede observar el resultado del análisis de correlaciones parciales entre RF y las variables morfológicas de los diferentes cultivares, recabadas durante el tercer momento de muestreo (M3). En este sentido, la única variable que presentó correlación positiva con RF fue NIPRR; mientras que, tanto A, NN, DEN y DPP registraron correlaciones negativas. Estos resultados en términos de morfología de planta indican que plantas más compactas (menos altura y largo de entrenudos) presentaron mayores rendimientos. Además, los resultados hallados indicaron que las plantas con mayor altura presentaron del mismo modo un mayor número de nudos finales, junto con una mayor separación entre esos entrenudos y, del mismo modo, mayores alturas desde la base y del tallo a la primera posición reproductiva. En este sentido, las correlaciones negativas halladas entre el rendimiento y los índices de crecimiento pudieron haber estado traccionados por la relación negativa entre la altura y el rendimiento.



**Figura 46.** Panel de correlaciones parciales entre rendimiento de fibra (RF) en kg ha<sup>-1</sup> y las variables morfológicas correspondientes al muestreo de los 150 días desde la emergencia (M3). Referencias: altura (A), número de nudos (NN), distancia entre nudos (DEN), nudo de la primera estructura reproductiva (NIPRR), altura de la primera rama reproductiva (AIPRR) y distancia horizontal a la primera estructura reproductiva (DPP). En el triángulo superior derecho se encuentran los valores de las correlaciones de Pearson y su significancia, siendo \*: p<0,05; \*\*: p<0,01 y \*\*\*: p<0,001. El triángulo inferior izquierdo muestra la distribución entre cada una de las variables analizadas de a pares. Cada punto representa el promedio de una variedad en un ambiente siendo los puntos rojos (FSI) y amarillos (FSII) la campaña I y los puntos verdes (FSI) y azules (FSII) la campaña II.

#### 4.4.5.3 Rendimiento de fibra y variables relacionadas a la dinámica de floración

Los resultados del análisis de correlaciones parciales realizados entre el rendimiento de fibra (RF) y las variables relacionadas a la dinámica de floración, recabadas durante el tercer momento de muestreo (M3), se puede observar en la Figura 47. Las variables que presentaron correlación significativa y positiva con RF fueron RG, R1P y NP1P; mientras que RF registró correlaciones negativas con NP.



**Figura 47.** Panel de correlaciones parciales entre rendimiento de fibra (RF) en  $\text{kg ha}^{-1}$  y las variables relacionadas a los estudios de dinámica de floración correspondientes al muestreo de los 150 días desde la emergencia (M3). Referencias: retención global (RG), retención en 1<sup>era</sup> posición (R1P), retención 2<sup>da</sup> posición (R2P), número de posición  $\text{m}^{-2}$  (NP), número de posiciones en 1<sup>era</sup> posición  $\text{m}^{-2}$  (NP1P) y número de posiciones en 2<sup>da</sup> posición  $\text{m}^{-2}$  (NP2P) En el triángulo superior derecho se encuentran los valores de las correlaciones de Pearson y su significancia, siendo \*:  $p < 0,05$ ; \*\*:  $p < 0,01$  y \*\*\*:  $p < 0,001$ . El triángulo inferior izquierdo muestra la distribución entre cada una de las variables analizadas de a pares. Cada punto representa el promedio de una variedad en un ambiente siendo los puntos rojos (FSI) y amarillos (FSII) la campaña I y los puntos verdes (FSII) y azules (FSII) la campaña II.

## 4.5 Discusión

El presente trabajo es el único realizado en el país que abarque las variables relacionadas al rendimiento, calidad de fibra y semilla, crecimiento y desarrollo de los asimilados. Del mismo modo, es importante resaltar que en el actual programa de mejoramiento de algodón de INTA, ningunas de las variables analizadas en el presente capítulo son tenidas en cuenta como objetivo de mejoramiento para el cultivo (Royo et al., 2007).

### 4.5.1 *Parámetros de crecimiento, morfológicos y de dinámica de floración durante los diferentes momentos de muestreo*

En primer lugar, la dinámica de materia seca total (MSt), en los diferentes momentos de muestreo, mostró curvas similares para los cuatro ambientes explorados, donde se observaron importantes aumentos de MSt entre M1 y M2, y disminuciones desde M2 hasta M3, con una excepción en el ambiente 4, donde se registró un incremento de MSt entre M2 y M3. Los promedios de MSt para todas las variedades, en los diferentes ambientes, fueron de 362, 858 y 728 g m<sup>-2</sup> para M1, M2 y M3, respectivamente. Cabe destacar que la información para esta variable se presentó con los datos promedios de todas las variedades, debido a que no se presentaron diferencias significativas en los diferentes ambientes explorados entre las mismas. La importante disminución de MSt que se produjo entre los momentos de muestreos M2 y M3, para la mayoría de los ambientes explorados, coincide con lo reportado por Meredith y Wells (1989) quienes fundamentaron esta disminución debido a la senescencia y caída de las hojas, algo que se pudo constatar con los datos del presente estudio en la Figura 39 y con la información de la Figura suplementaria 2. Asimismo, en nuestros experimentos se observaron caídas entre M2 y M3 de la MSr, las cuales estuvieron asociados al derrame o aborto de bochas verdes que no completaron el crecimiento debido a factores bióticos o abióticos. Por otra parte, entre los demás factores de variación evaluados, la MSt fue mayor para la FSI en todos los momentos evaluados, presentándose también diferencias entre las campañas analizadas, donde C1 registró menores y mayores valores de MSt para los momentos M1 y M2, respectivamente, sin registrarse diferencias en M3. Entre los trabajos similares realizados para el cultivo de algodón en el mundo, Wells y Meredith (1984a), al igual que nuestro estudio, no encontraron diferencias significativas entre las variedades y reportaron valores promedios de 161, 963 y 944 g m<sup>-2</sup> de MSt para momentos similares a

M1, M2 y M3, respectivamente. Asimismo, Mondino (2000) informó valores promedios de 250, 1050 y 1310 g m<sup>-2</sup> de MSt para momentos similares a M1, M2 y M3, respectivamente, sin encontrar diferencias significativas entre dos variedades argentinas durante dos campañas en la zona de regadío de la provincia de Santiago del Estero. Por otra parte, tanto Yang et al. (2018) como Conaty y Constable (2020) reportaron diferencias significativas para la variable MSt en cultivares de diferentes épocas en el momento de muestreo final (M3). En este punto es importante remarcar que los valores promedios de MSt registradas para variedades de China y Australia fueron de 1625 y 2228 g m<sup>-2</sup> de MSt, respectivamente. Estos valores de MSt duplican y hasta triplican los valores promedios cuantificados para las variedades argentinas en nuestro trabajo, pudiendo ser la longitud del ciclo de las variedades el principal motivo de esta diferencia, debido a que, los países mencionados utilizan variedades de ciclo largo para aprovechar la mayor estación de crecimiento que les permite el ambiente en el cual producen. Además, todos los trabajos mencionados anteriormente coinciden con los resultados de la presente tesis donde las diferencias entre ambientes, en términos de MSt, fueron mayores a las diferencias entre cultivares evaluados dentro de cada uno de los ambientes. El motivo de este comportamiento se lo podría asociar a las variables relacionadas a la producción de MSt, las cuales son la radiación solar, el largo del periodo de crecimiento, la eficiencia en el uso de la radiación (EUR) y la eficiencia de intercepción (ei) (De la Fuente et al., 2006). Los resultados encontrados, tanto en nuestro trabajo como en los citados, demuestran que las diferencia entre ambientes, en términos de radiación solar recibida y largo del ciclo, son mayores a las diferencias genotípicas que puedan existir entre cultivares, dentro de un mismo ambiente, para los parámetros de EUR y ei.

En segundo lugar, la partición de asimilados en cada uno de los momentos y ambientes explorados demostró que MSt, en M1, estuvo representada en su mayor parte por estructuras vegetativas, entre las que se destacaron hojas, tallos, peciolo y ramas reproductivas. A partir de M2, la composición de la MSt registró un cambio significativo en términos de peso de las diferentes partes, estando representada tanto en M2 como en M3 principalmente por estructuras reproductivas, siendo el peso seco de las bochas cerradas y la fibra y semilla los principales componentes de la MSr en los muestreos M2 y M3, respectivamente. Con respecto a la MSv en estos dos momentos, el tallo continuó siendo el principal componente de la misma y se produjo un importante descenso de la variable hojas desde M1 hasta M3,

que se relacionó, como ya fue comentado anteriormente, a la senescencia y caída de las mismas. En este sentido, son pocos los trabajos relacionados al progreso genético del cultivo de algodón que estudiaron la composición de la materia seca en los diferentes momentos de muestreo durante el ciclo, no obstante, Meredith y Wells (1989) informaron los porcentajes de participación de los diferentes órganos de la planta para momentos similares a M1 y M2 de nuestro estudio. En este sentido, nuestros resultados coinciden con los autores mencionados donde la MSt estuvo compuesta fundamentalmente por estructuras vegetativas en M1, dentro de las que se destacaron hojas y tallos conformando el 90% de la MSt para M1. Esta relación entre las estructuras vegetativas y reproductivas cambió en M2, donde la MSt estuvo conformada por un 45% de bochas en crecimiento, quedando el tallo como principal componente de la MSv para M2 (Meredith y Wells, 1989), resultados similares a los cuantificados en nuestros experimentos donde el peso seco de las bochas cerradas en M2 promedió un 49% entre los cuatro ambientes.

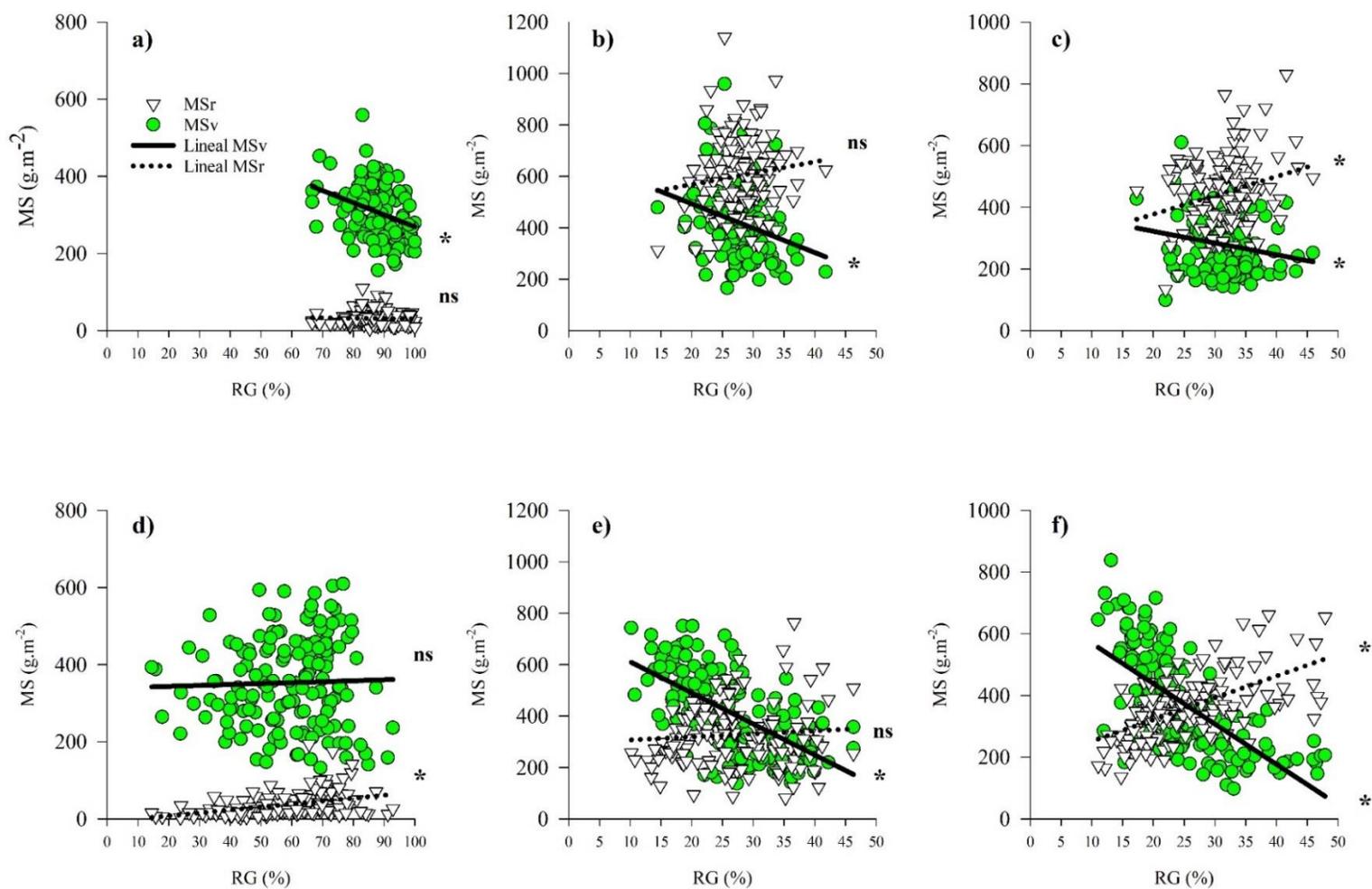
En tercer lugar, el análisis de las variables morfológicas de las variedades utilizadas en la presente tesis arrojó valores que difirieron estadísticamente en la mayoría de ellos, siendo el factor de variación variedades y la interacción entre momentos de muestreo y fechas de siembra donde se observaron las principales diferencias. En la presente tesis, además de trabajar con las variables morfológicas comunes para el cultivo, como la altura de la planta, el número de nudos y la distancia promedio entre nudos, se realizaron mediciones innovadoras en términos de la ubicación de la primera posición de las estructuras reproductivas dentro de la planta cuantificando, tanto NIPRR, AIPRR y DPP. Esta cuantificación permitió conocer la ubicación de las estructuras reproductivas de las diferentes variedades dentro de las plantas pudiendo esto tener implicancias tanto prácticas como fisiológicas (Constable, 1991). Por un lado, las implicancias prácticas están asociadas a la cosecha mecánica de las variedades, debido a que las variables descritas describen la arquitectura de la planta y, por lo tanto, la facilidad para la cosecha mecánica. Por otro lado, las implicancias fisiológicas están relacionadas al periodo de crecimiento de las cápsulas, debido a que aquellas variedades que fijan las posiciones en ramas inferiores tienen la ventaja de contar con un mayor tiempo para el crecimiento de esas estructuras reproductivas y, posibilitar así, que tengan un mayor tiempo para acumular asimilados y aumentar el peso (Jenkins et al., 1990b). Asimismo, es importante mencionar que existen otras variables

morfológicas que se utilizaron en otros trabajos y no fueron cuantificadas en el presente estudio como el diámetro del tallo (Guzman Hernandez et al., 2021) y el ángulo de inserción de las ramas al tallo principal (Mondino, 2000). Al igual que para las variables anteriores, son pocos los trabajos realizados en estudios de progreso genético de algodón que analizaron variables morfológicas junto con las de rendimiento, no obstante, Wells y Meredith (1984a) reportaron diferencias significativas de altura, en momento similares a M1, entre variedades utilizadas en Estados Unidos, siendo la altura promedio para ese estudio de 105 cm, valor superior comparado a los 65 cm reportados en este estudio. Además, Meredith y Wells (1989) en su trabajo de variedades en surcos convencionales (100 cm de distancia entre surco) informaron diferencias significativas para A, DEN, NN y NIPRR, para momentos similares a M1 y M2 del presente estudio. En este caso, los valores de A fueron menores que los reportados para nuestras variedades en M1 (44 cm) aunque mayores que los reportados para M2 (128 cm contra 78 cm de nuestro estudio). Por otro lado, tanto la DEN (6,5 cm) como el NN (21) y el NIPRR (7,2) reportados en el trabajo citado fueron mayores que los informados en nuestro experimento, sugiriendo que las condiciones de crecimiento fueron mayores en el trabajo mencionado (Meredith y Wells, 1989). Con respecto a estudios realizados en el continente americano, Guzman Hernandez et al. (2021) reportaron A de 159 cm para M3 en variedades utilizadas en Venezuela. Cabe destacar que la importante diferencia informada en términos de altura, entre las variedades de nuestro país y las reportadas por los autores aludidos, podría estar relacionado tanto a la genética como al distanciamiento entre surcos utilizado (Roche, 2007). Con respecto a las variables innovadoras, reportadas por nuestro estudio, no existe en la bibliografía datos similares utilizados en estudios de progreso genético para realizar comparaciones entre las variedades para esas variables. Asimismo, es importante mencionar que estas variables morfológicas registraron un mayor porcentaje de varianza genética que aquellas relacionadas, tanto al rendimiento como a los parámetros de calidad de fibra, razón por la cual tendrían una mayor heredabilidad y estabilidad en distintos ambientes y podrían ser tenidas en cuenta en el programa de mejoramiento, siempre y cuando tengan algún impacto sobre el rendimiento (datos no mostrados).

En cuarto lugar, las variables relacionadas al mapeo ecofisiológico y a la dinámica de floración de los diferentes cultivares registraron, al igual que las variables morfológicas, diferencias estadísticamente significativas en la mayoría de las variables, especialmente entre

los factores de variaciones de variedades y en la interacción entre las fechas de siembra y los momentos de muestreo. La variable RG registró el mayor valor en M1 y fue disminuyendo a medida que transcurrió el ciclo del cultivo, finalizando con un promedio entre todos los ambientes de 28% de RG en M3. Esta importante disminución a medida que el ciclo del cultivo transcurrió se debe, como fue mencionado en la introducción, al derrame o desprendimiento de las estructuras reproductivas por motivos fisiológicos, ambientales o bióticos (ataque de insectos). Además, entre los ambientes evaluados promediando los valores de todas las variedades, la RG registró importantes variaciones especialmente entre las campañas siendo la diferencia siempre a favor de C1, tanto en M1 (28% de diferencia), como en M2 (1%) y M3 (7%). Conjuntamente, entre fechas de siembra, FSII registró mayores valores, con excepción de M1, donde el mayor porcentaje de RG fue para FSI. Por otra parte, al igual que las variables informadas en este capítulo, no son muchos los trabajos que realizaron estudios de progreso genético y cuantificaron parámetros relacionadas a la retención de estructuras. Con respecto a esto, solamente Kilby et al. (2013) reportaron diferencias significativas para RG entre variedades, en M3, en seis cultivares australianos, presentando valores cercanos a los de nuestro experimento, con una variación de RG de entre 22 a 38%. Con respecto a la importante diferencia en términos de RG entre campañas, especialmente en M1, es importante mencionar que, según Patterson et al. (1977) los cultivos que crecen bajo mayores niveles de radiación solar tienen una mayor capacidad fotosintética y asimilan más carbono que aquellos que crecen en condiciones de menores niveles de radiación. Sumado a esto, trabajos realizados para el cultivo de algodón, demostraron que en condiciones ambientales de bajos niveles de radiación solar, las cápsulas pequeñas en crecimiento tenían mayor probabilidad de ser derramadas, debido a la reducción de la actividad fotosintética y la acción hormonal (Guinn, 1974). En este sentido, las condiciones de alta nubosidad y baja tasa de radiación a las cuales estuvieron expuestos las variedades en C2, a comparación de C1 (capítulo 3), pudieron haber sido los principales motivos que provoquen los importantes cambios en los datos cuantificados de RG para ambas campañas. Para comprobar esta teoría se realizó un gráfico de dispersión que se puede observar en la Figura suplementaria 3 donde se presenta una relación positiva entre el aumento de Rad y la RG, con excepción de A1. Esta importante diferencia en términos de RG provocó, del mismo modo, cambios en la composición de la MSt y pudo haber estado asociada a la variación de

los resultados en MSt hallados entre los distintos ambientes evaluados (Figura 48). Este cambio se podría explicar debido que, al aumentar las posiciones fijadas en las plantas, el cultivo destina los asimilados disponibles hacia las estructuras reproductivas en desarrollo, en cambio, cuando se producen abortos por cuestiones bióticas o abióticas, esos asimilados disponibles se destinan a las estructuras vegetativas de la planta (Sadras, 1995).

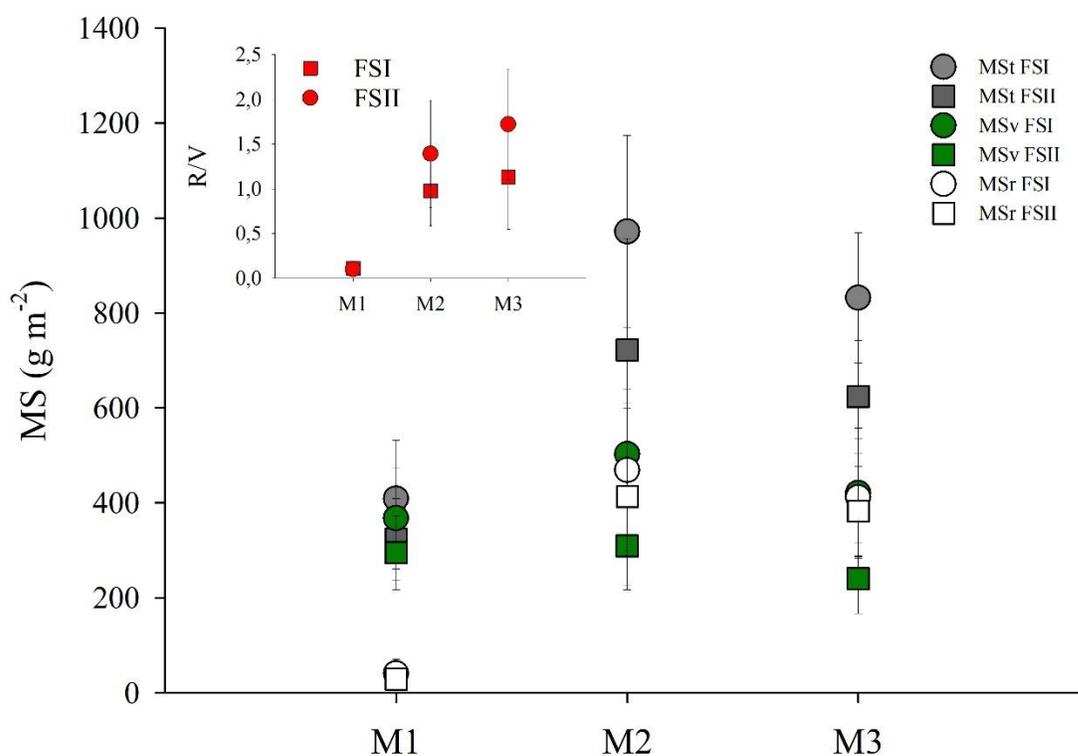


**Figura 48.** Gráficos de dispersión entre la retención global (RG) en % y la materia seca (MS) para los momentos de muestreo de 50 días después de la emergencia (a y d), 100 días después de la emergencia (b y e) y 150 días después de la emergencia (c y f) para la primera (a, b, c) y segunda (d, e, f) campañas de estudio. Círculos verdes indican materia seca vegetativa (MSv) y triángulos blancos la materia seca reproductiva (MSr). La línea negra sólida y punteada indican regresiones de MSv y MSr con RG, respectivamente. \* indican que la regresión es significativa.

El análisis de la Figura 48 permite ultimar que en nuestros experimentos la retención de estructuras reproductivas determinó la partición de la materia seca total, independientemente de la campaña de estudio. Las regresiones lineales halladas establecen que la MSr y MSv fueron mayores y menores, respectivamente, a medida que la RG de las estructuras se incrementó. Por otra parte, en el presente estudio se pudo constatar que las estructuras ubicadas en las primeras posiciones de la planta presentaron en todos los momentos y ambientes, mayores porcentajes de RG que las segundas posiciones. El motivo podría estar asociado a la ventaja competitiva de las primeras posiciones, por la ubicación más cercanas al tallo principal y, por lo tanto, significar el destino principal de los asimilados para las plantas (Constable y Rawson, 1980; Kerby et al., 1987; Oosterhuis, 1990).

Los índices utilizados (tanto en el presente estudio como en la bibliografía) que indican la relación de peso entre las estructuras reproductivas y vegetativas, a lo largo del ciclo, fueron R/V, AR e IC. En nuestro trabajo, solamente R/V pudo ser evaluado en los tres momentos de muestreos, ya que, tanto AR como IC, relacionan la MSt con la materia seca de la fibras y semillas, variables que fueron cuantificadas solamente en M3. Con respecto a la variable R/V, la misma reportó interacciones significativas, tanto entre M\*FS como entre V\*M, indicando que existió una gran variación entre los valores de esta variable a lo largo de las variedades, ambientes y momentos. Los resultados promedios para todas las variedades fueron de 0,10, 1,16 y 1,40 para M1, M2 y M3, respectivamente, indicando que antes del momento de inicio de floración las plantas fijaron mayoritariamente estructuras vegetativas y que, a medida que transcurrió el ciclo del cultivo, la relación de peso fue cambiando hasta que la MSr tuvo un mayor porcentaje de peso. Además, en términos de la diferencia entre los ambientes, C1 y FSII registraron mayores valores de R/V que C2 y FSI en todos los momentos de muestreo, respectivamente. La diferencia entre campañas se puede atribuir, como ya fue mencionado anteriormente, a las mejores condiciones ambientales especialmente en términos de radiación solar disponible para los cultivos, no obstante, para evaluar las importantes diferencias entre las fechas de siembra, se realizó un análisis gráfico que se detalla en la Figura 49. La curva es similar a lo analizado en el punto 4.4.1, sin embargo, en esta oportunidad se presentan conjuntamente los resultados, tanto de la MSt como de la MSv y MSr, además de particionar los valores según la fecha de siembra utilizada. En la misma se puede observar que la FSI acumuló, en general, una mayor cantidad de MSt

presentándose pequeñas diferencias en M1 e incrementándose hacia M2 y M3. Del mismo modo, se puede notar que esta diferencia estuvo constituida, en su mayor parte, por MSv debido a que la MSr fue similar para todos los momentos. Esta discrepancia provocó que se registraran importantes cambios en el índice R/V, ya que, las variedades utilizadas en el experimento produjeron en FSII menores cantidades de MSt, no obstante, la cantidad de MSr no se vio alterada por el cambio de FS. Esto significa que, cuando los cultivares fueron expuestos a estaciones de crecimiento más cortas y con condiciones menos propicias para el crecimiento del cultivo, los mismos registraron mayores niveles de partición hacia las estructuras reproductivas que provocaron que el promedio de R/V en M3 cambie de 1,72 a 1,13 para FSII y FSI, respectivamente, demostrando que los cultivares en la FSII destinaron proporcionalmente un 50% más de MSt a MSr.



**Figura 49.** Figura principal: Materia seca (MS) promedio para todos los cultivares en los diferentes momentos de muestreo. M1: 50 días desde emergencia (DDE). M2: 100 DDE. M3: 150 DDE según sea materia seca total (MSt- símbolos grises), materia seca vegetativa (MSv – símbolos verdes) y materia seca reproductiva (MSr – símbolos blancos) para fecha de siembra temprana (FSI – círculos) y fecha de siembra tardía (FSII – cuadrados). Figura secundaria: índice reproductivo/vegetativo (R/V) para los tres momentos antes mencionados para fecha de siembra temprana (FSI) y tardía (FSII).

Estudios análogos reportan en la bibliografía índices de R/V promedio de 0,06; 0,26 y 1,10 para momentos similares a M1, M2 y M3, respectivamente, quedando los valores de los cultivares argentinos por encima de los mencionados en este reporte (Wells y Meredith, 1984b). Asimismo, Meredith y Wells (1989) reportaron valores de R/V promedios, para todos los cultivares utilizados, de 0,02 y 1,03 para momentos similares a M1 y M2, siendo los valores registrados en nuestro experimento cercanos a las variedades mencionadas en este estudio. En este sentido, es importante mencionar que los trabajos citados tienen varios años de antigüedad y que, seguramente las variedades actuales no presentan los mismos índices. Estudios cercanos en el tiempo, reportaron otros tipos de índices, por ejemplo, Yang et al. (2018) observó diferencias significativas entre variedades chinas de diferentes eras, en la relación entre MSr y MSt, en tres momentos similares a los analizados en nuestro estudio. Los valores que reportó fueron de 17, 57 y 60% para M1, M2 y M3, respectivamente. Los mismos estuvieron cercanos a los valores para el mismo parámetro en nuestro estudio, los cuales fueron de 10, 51 y 56% para M1, M2 y M3, respectivamente. Estos valores, a diferencia de R/V, indican el porcentaje total de la MSt que está representada por estructuras reproductivas y es similar en M3 para el parámetro AR, aunque en este último índice no se incluye el peso de las perillas. En este sentido, los resultados encontrados en nuestro experimento demostraron diferencias significativas entre variedades y fechas de siembra, tanto para AR como para IC. Las variedades que tuvieron una mayor tasa de partición hacia los productos de interés del cultivo (semillas y fibras) registraron valores de 43 y 18% para AR e IC, respectivamente. Por otro lado, los menores valores entre las variedades para estos índices fueron para AR e IC de 30 y 11%, respectivamente. Asimismo, entre los ambientes y, al igual que para el parámetro R/V, tanto C1 como FSII registraron mayores valores para las variables mencionadas (AR e IC), destacando que el motivo de estos resultados es similar a lo explicado para la variable R/V. Para estas variables, solamente Conaty y Constable (2020) informaron valores para 10 cultivares australianos evaluados durante tres temporadas, registrando diferencias significativas entre cultivares y valores de entre 48 y 60% para AR y de entre 14 a 21% para IC. En este sentido, es importante destacar que la importante diferencia entre las variedades utilizadas en este estudio, indica que estas variables deberían ser caracteres importantes que se debe tener en cuenta para el programa de mejoramiento genético de INTA. Esto es así debido a que, por un lado, según se pudo constatar en el

presente estudio existe una significativa variación entre los cultivares utilizados en Argentina en los últimos 50 años y, por otro lado, la mejora de estos caracteres permitiría aumentar los rendimientos de algodón obtenido con iguales cantidades de MSt acumuladas.

#### *4.5.2 Progreso genético de las variables complementarias al rendimiento*

El presente estudio permitió cuantificar las tasas de progreso genético para las variables asociadas a la morfología de las plantas, los parámetros de crecimiento y aquellas relacionadas a los mapeos ecofisiológicos. En este sentido, las variables en las que se cuantificaron aumentos o disminuciones significativas, dependiendo del año de lanzamiento de los diferentes cultivares utilizados, fueron: MSt en M1 y M2, MSv en M1, IC en M3, AIPRR en M3 y RG en M2 y M3. Las estimaciones de MSt registraron un descenso significativo con el año de lanzamiento de 36 y 51 g m<sup>-2</sup> durante el periodo analizado para M1 y M2, respectivamente. Asimismo, cuando la MSt fue dividida según correspondía a MSv o MSr, solamente se cuantificó un descenso significativo de MSv en M1 que significó una disminución de 27,6 g m<sup>-2</sup> de MSv durante el periodo analizado. La disminución significativa de MSt que se observó en M2, no fue acompañado por descensos significativos de MSv o MSr, sin embargo, se pudo constatar tendencias negativas de ambas variables con el AL que explicaron el descenso significativo de esta variable en M2. Además, es importante destacar que en M3 se cuantificaron tendencias positivas con el año de lanzamiento, tanto para MSt, como para MSv y MSr, lo que indica que el crecimiento desde M2 a M3 fue mayor en los cultivares modernos que revirtieron las tendencias negativas tanto de M1 como de M2. Entre los trabajos referidos al progreso genético de algodón realizados en el mundo donde se estudiaron también las variables relacionadas a la acumulación y partición de asimilados, nuestros reportes coinciden con Wells y Meredith (1984a) quienes tampoco encontraron relación entre AL y MSt en M3 entre los diferentes años y fechas de siembra de su evaluación. Asimismo, estos autores encontraron que los cultivares modernos presentaban correlaciones negativas entre la MSv y AL en momentos similares a M2 y M3, lo que indicaba que los cultivares modernos completaban la transición desde vegetativo a reproductivo más temprano que los cultivares obsoletos, algo que se pudo constatar en nuestro estudio solamente para M1. Por otra parte, tanto Yang et al. (2018) como Conaty y Constable (2020) registraron tasas positivas y significativas de progresos genéticos de MSt en M3 para los

programas de mejoramiento de variedades de China y Australia, respectivamente. Además, es importante destacar que estos autores asociaron el incremento en MSt al aumento significativo del rendimiento de fibra, debido a que los cultivares modernos presentaron mayor biomasa, y esto les permitió mantener una mayor cantidad de cápsulas por unidad de superficie. Asimismo, es importante mencionar que el aumento de MSt puede ser logrado, incrementando algunos de los parámetros que intervienen en su determinación como: la tasa de radiación recibida, el largo del ciclo, la eficiencia en el uso de la radiación (EUR) o la eficiencia en la intercepción de la radiación (ei) (De la Fuente et al., 2006). Esto quiere decir que, si el programa de mejoramiento genético de algodón de INTA quisiera aumentar la MSt de los cultivares modernos, las alternativas serían alargar el ciclo o incrementar los parámetros fisiológicos como la asimilación de carbono (aumentando la tasa fotosintética o disminuyendo el consumo de carbohidratos por la respiración), la EUR o la ei. En este punto, es importante tener en cuenta que en nuestro país la longitud del ciclo se encuentra limitada por las condiciones ambientales y los cultivares de ciclo largo podrían no mostrar una buena adaptación en todas las regiones productoras del país. Por otra parte, el cambio de tendencia negativa, entre el año de lanzamiento y la MSt, observado para MSt entre M2 y M3, podría asociarse a un aumento de la fijación de carbono en la etapa del ciclo media y tardía de los cultivares modernos por sobre los cultivares obsoletos, resultados que coinciden con lo reportado por Yang et al. (2018). No obstante, para llegar a la conclusión que llegaron los autores mencionados, se deben realizar estudios específicos de niveles de asimilación de carbono por fotosíntesis en distintos momentos del ciclo del cultivo.

Por otro lado, dentro de los índices que relacionan la MSt, MSv y MSr, solamente se encontraron progresos genéticos para la variable IC. En este sentido, el incremento significativo para IC y no para AR sugiere que los cultivares modernos y obsoletos particionaron la misma proporción de la MSt hacia los órganos reproductivos. El incremento en el porcentaje de fibra en los cultivares modernos posibilitó que en el término IC, que relaciona directamente la fibra con la MSt, se registre un aumento significativo con el año de lanzamiento de las variedades. Los resultados reportados sobre el aumento significativo en el parámetro IC y la ausencia de incremento en AR coincide con los datos observados en Conaty y Constable (2020) y Sadras et al. (1997) quienes evidenciaron este incremento en IC, por el hecho de que los cultivares modernos fueron seleccionados por la capacidad de

alterar la partición reproductiva dentro de cada cápsula en favor del incremento del peso de la fibra por sobre el peso de la semilla. Este incremento en la partición de asimilados hacia la fibra puede registrarse a expensas de los recursos destinados a la semilla, lo que podría resultar, si se sigue disminuyendo el tamaño de la semilla, en una reducción tal que vaya en detrimento de la performance en la emergencia y el vigor de la plántula de estas variedades (Snider et al., 2016). Por otra parte, en nuestro estudio no se encontraron progresos significativos en la variable R/V, en ninguno de los momentos analizados, algo que si encontraron Wells y Meredith (1984b) para momentos similares a M1, M2 y M3.

Con respecto a las variables morfológicas, se pudo observar progresos significativos solamente para la altura, donde se ubica la primera posición reproductiva en el tallo, sin estar este resultado relacionado al nudo donde se inserta esta primera posición. En este sentido, Mauney (1986) establece que no solo la genética determina la posición de la primera estructura reproductiva, sino que también, factores ambientales como la temperatura y la tasa de radiación solar tienen efectos significativos sobre la ubicación de la misma. En nuestro experimento, además de observar incrementos significativos para AIPRR, se reportaron tendencias positivas en A, NN, DEN, NIPRR, lo que indica que los cultivares modernos tenderían a, por un lado, tener más altura y largo de entre nudos y, por otro lado, separar las primeras posiciones desde la superficie del suelo y que estas posiciones se encuentren más cercanas al tallo. Con respecto a los datos de los indicadores morfológicos, tanto de la posición, como de la altura y del nudo de inserción de la primera estructura fructífera en la planta, son sumamente importantes debido a que, a diferencia de las variables relacionadas al crecimiento, presentaron un importante porcentaje de la parte genética en los componentes de la varianza (datos no mostrados), lo que significa que son más estables entre los diferentes ambientes y presentan mayor heredabilidad en cruzamientos. Además, estas variables morfológicas son indicadores de la precocidad de los diferentes cultivares, debido a que, si la posición en la que se insertó la primera rama reproductiva se encuentra más cercana a la superficie y en un menor número de nudos, en un mismo tiempo térmico, tendremos la posibilidad de desarrollar una mayor cantidad de posiciones reproductivas que una variedad que fije las posiciones en nudos superiores. Por otra parte, con respecto a la cantidad de estructuras reproductivas en los diferentes momentos analizados, Wells y Meredith (1984b) reportaron que los cultivares modernos presentaban, por un lado, una

mayor cantidad de pimpollos y de flores y, por otro lado, estas estructuras se presentaban antes en el tiempo, lo que significaba que los cultivares modernos tenían mayor precocidad. Estos resultados no coinciden con lo hallado para nuestro experimento, donde no se presentaron diferencias en el número de estructuras reproductivas (datos no mostrados) aunque si se registraron diferencias en el porcentaje de retención de las mismas y, por lo tanto, un mayor número final de cápsulas por unidad de superficie, como ya fue observado en el Capítulo 1.

Del mismo modo que para las variables morfológicas, dentro de las variables relacionadas a los mapeos ecofisiológicos realizados, durante todos los muestreos y ambientes explorados, solamente se registró progreso genético significativo para RG en M2 y M3. Asimismo, cuando RG fue clasificada en R1P o R2P, se observaron dos tendencias positivas con el año de lanzamiento, aunque con una pendiente mayor para R2P, lo que indicaría que las variedades modernas tendieron a aumentar en mayor medida la retención en R2P que en R1P durante el periodo analizado. El incremento significativo de RG en los cultivares modernos se podría explicar (al igual que el incremento en la MSt en M3) a un aumento de disponibilidad de asimilados que posibilitaron la retención de un mayor número de estructuras reproductivas, no obstante, para llegar a esta conclusión se deben continuar con estudios específicos en términos de tasas fotosintéticas de los diferentes cultivares. Además, los aumentos significativos de RG observados en M3, explican en gran parte, el incremento significativo en el número de cápsulas por unidad de superficie que se reportó en el Capítulo 1 y que posibilitó el incremento de rendimiento de fibra a lo largo de la historia en Argentina. Por otra parte, como ya se mencionó en el presente capítulo, son escasos los trabajos que reportaron resultados de estas variables en el cultivo de algodón y nulos en trabajos de progreso genético del cultivo. El principal motivo de la ausencia de datos referidos a estas variables, en trabajos con un gran número de variedades, posiblemente resida en el hecho de la cantidad de recursos necesarios y la dificultad para llevar a cabo este tipo de mediciones. Con el objeto de dimensionar esta afirmación, en el presente estudio fueron mapeadas un total de 4657 plantas de algodón.

Por último, varias de las regresiones en los estudios progreso genético en este apartado fueron efectuadas sin tener en cuenta el AL de 2009 que corresponde a la variedad NuOpal (Tabla 5). El motivo de la eliminación de esta variedad de los análisis fue que la misma presentó

resultados fuera del rango de resultados normales y esperados. El motivo de estos resultados podría residir en el hecho de que esta variedad tiene la característica de ser una variedad extremadamente vigorosa (Radovancich, 2021). La vigorosidad de esta variedad, junto con las prácticas de manejo aplicadas durante los experimentos, tales como alta tasa de fertilización, distanciamiento de surcos estrecho y riego suplementario, facilitaron que NuOpal exprese todo su potencial de crecimiento, en detrimento de la partición de asimilados hacia estructuras reproductivas. La solución para este resultado podría haber estado atenuado con la aplicación externa de reguladores de crecimiento, que podrían haber mejorado el balance en la partición de asimilados entre la MSv y MSr (Cordeiro et al., 2021; Gonias et al., 2012; Zhao et al., 2020). Sin embargo, la metodología elegida para el ensayo establecía que todos los cultivares debían ser tratados de igual manera, debido a que, la aplicación de reguladores de crecimiento en aquellas variedades de menor vigor, podría haber resultado en disminuciones de rendimiento. Por otra parte, la disminución en la retención global en esta variedad, y la consecuente caída en el rendimiento, también pudo haber estado asociada al exceso de crecimiento vegetativo y el consecuente sombreamiento sobre las parte media e inferior de la planta (Wells y Meredith, 1984a).

#### *4.5.3 Herramientas para el diseño de una arquitectura de planta deseada para alcanzar altos rendimientos*

En este capítulo se logró encontrar diferencias y progresos genéticos significativos entre las distintas variedades, fechas de siembra y momentos de muestreos realizados para variables de crecimiento, morfológicas y de dinámicas de floración. Asimismo, se obtuvo un análisis detallado de las relaciones que existieron entre estas variables y el rendimiento de fibra, principal producto de interés para la producción de algodón en el país y objetivo trascendental del presente trabajo. Las relaciones que se presentaron entre las variables estudiadas registraron variaciones en todos los ambientes y variedades, tanto en el valor como en la magnitud de dichas relaciones. Conocer los parámetros de estas relaciones entre las variables de la arquitectura de la planta, al igual que la de los capítulos anteriores, podrían ser herramientas de vital importancia para el programa de mejoramiento de algodón de INTA, debido a que les permitiría conocer la estructura de planta deseada que acompañe el aumento de los rendimientos. Por otra parte, cabe destacar que los resultados que se mostraron en este

capítulo indicaron las correlaciones entre el rendimiento de fibra y las variables mencionadas registradas solamente en el tercer momento de muestreo (M3). Del mismo modo, existe información de las correlaciones realizadas entre las variables cuantificadas en M1 y M2, con las diferentes variables asociadas en el rendimiento.

El rendimiento de fibra, como era esperable, estuvo positiva y negativamente correlacionado con el peso de las variables reproductivas y vegetativas, respectivamente. Dentro de las variables vegetativas, el peso seco de las ramas y peciolos, hojas y tallos tuvieron las mayores correlaciones negativas con el rendimiento, y conjuntamente con el peso seco, tanto de la fibra como de la perilla, fueron las que mayores correlaciones positivas con rendimiento mostraron. Asimismo, se pudo observar que el tallo, seguido por el peso de las ramas, peciolos y hojas fueron los principales componentes de la MSv en M3; mientras que el peso de la fibra y semilla explicaron la mayor parte de la variación de la MSr en el mismo momento de muestreo. Estos resultados indican que se deberían priorizar aquellos cultivares de algodón que tengan una senescencia de hojas rápida en los momentos finales del ciclo y que no destinen grandes proporciones de los asimilados a los tallos y peciolos. Además, solamente la MSv presentó correlación positiva con MSt en M3. Con respecto a otros trabajos de algodón realizados con metodologías similares, Wells y Meredith (1984c) reportaron resultados similares indicando correlaciones negativas entre el peso seco de la hoja y del tallo con el rendimiento de fibra, para un momento de muestreo similar a M3. Por otro lado, tanto el índice R/V como la AR y el IC registraron correlaciones positivas entre ellos y con el rendimiento de fibra. Esto indica que a medida que las plantas destinan una mayor proporción de sus asimilados a los órganos reproductivos de las mismas, mayores serán estos índices y, por lo tanto, mayor el rendimiento obtenido. Relaciones similares entre estos índices y el rendimiento de fibra fueron reportados por otros autores, tanto para el parámetro R/V (Wells y Meredith, 1984c) como para AR e IC (Conaty y Constable, 2020).

Con respecto a las variables morfológicas, la relación negativa entre la altura y el rendimiento coincide con algunos reportes de la bibliografía (Meredith y Wells, 1989). En este sentido, cuando se relacionaron las características morfológicas con las variables de crecimiento y partición se pudo observar que a medida que las plantas presentaban más altura y número de nudos, los pesos de los tallos eran mayores. Esto supondría que, las plantas con mayor altura y número de nudos y, por lo tanto, con mayores pesos destinados al tallo, registraron menores

rendimientos de fibra comparativamente con aquellas que destinaron menores asimilados al tallo. Con respecto a la posición de las estructuras reproductivas en la planta, como fue explicado anteriormente, las cápsulas en aquellas variedades con posiciones fijadas en nudos inferiores, tendrán un mayor tiempo para acumular asimilados y desarrollarse que las posiciones fijadas en la parte superior y, por lo tanto, tendrán una mayor capacidad para aumentar tanto el número como la cantidad de semillas y fibras por semillas generadas. No son muchos los trabajos en la bibliografía que evaluaron estos parámetros, no obstante, para la variable NIPRR los resultados en nuestros experimentos oscilaron entre el nudo 6 y 8, siendo los mismos similares a lo reportados para variedades utilizadas en Estados Unidos (Meredith y Wells, 1989) y estando por debajo de los nudos 8 a 13 informados para variedades de Pakistán (Iqbal et al., 2005).

Con respecto a la relación entre el rendimiento de fibra y las variables relacionadas a los mapeos ecofisiológicos de las plantas, se cuantificaron correlaciones significativas y positivas con la retención global y las retenciones ubicadas en las primeras posiciones de las plantas. Sin embargo, el rendimiento de fibra registró una correlación negativa con el número de posiciones final generado. En este sentido, Kilby et al. (2013) reportó resultados similares a los presentados para nuestro experimento, tanto para la relación entre la retención global, el número de posiciones y el rendimiento de fibra. Asimismo, los autores mencionados encontraron una relación negativa entre la retención global y el número de semillas por cápsula, resultados que no coinciden con datos recabados en nuestro experimento. En este sentido, resulta útil indicar que se preferirían aquellos cultivares que tienden a fijar las posiciones en las primeras posiciones de las plantas y lo más cercanas al tallo.

#### **4.6 Conclusión**

Por último, como conclusión del capítulo se puede indicar que, aunque las variables presentadas durante el presente capítulo sean difíciles de cuantificar y las mediciones signifiquen esfuerzos tanto financieros como humanos, las variables mencionadas deberían ser cuantificadas y tenidas en cuenta en los objetivos de mejoramiento genético del programa de mejoramiento de algodón de INTA debido a que se observaron importantes variaciones tanto entre genotipos como entre ambientes y esas diferencias fueron correlacionadas con el rendimiento de fibra. Del mismo modo, y para facilitar el tiempo y los recursos que la

cuantificación de estas variables invierten, dentro del programa de algodón se podrían comenzar a realizar pruebas con otros tipos de mediciones que sean más rápidas, económicas y que registren relaciones alométricas con las variables de interés.

# Consideraciones finales

La estructura de los distintos capítulos permitió conocer los diferentes resultados expresados a través de los efectos de las variedades, fechas de siembra y años de lanzamiento, como así también las interacciones entre los factores para las diferentes variables, a lo largo de los cuatro ambientes generados, con la combinación de fechas de siembra y campañas. Los resultados estuvieron centrados en análisis de la varianza, estudios de correlación y regresiones y tasas de progreso genético. Además, los capítulos se organizaron de forma que el lector pueda conocer los resultados de los diferentes análisis según se tratasen de componentes de rendimiento, parámetros de calidad de fibra o semilla y variables relacionadas al crecimiento y desarrollo de los cultivos.

### **Resumen de los análisis realizados en la presente tesis**

La presente tesis presentó variados análisis estadísticos que permitieron establecer diferencias para rendimiento de fibra y sus componentes, parámetros de calidad de fibra y semilla, variables relacionadas a la partición de asimilados y crecimiento, variables morfológicas y las provenientes de los mapeos ecofisiológicos en 20 variedades evaluadas en cuatro ambientes en el norte de la provincia de Santa Fe. Del mismo modo, los estudios permitieron cuantificar las tasas de progreso genético de las diferentes variables y/o detectar tendencias positivas como negativas.

Algunos de los aportes de la misma se resumen en la Tabla 18, donde figuran todas las variables cuantificadas y presentadas durante los diferentes capítulos, con el objeto de poder distinguir rápidamente aquellas que presentaron diferencias significativas y progresos genéticos entre los distintos factores de variación utilizados en los modelos estadísticos. En la misma, se puede observar que la gran mayoría de las variables registró diferencias entre los tratamientos, ya sean estos cultivares, años de lanzamiento, fechas de siembra, momentos de muestro o interacciones entre estos factores. Estos resultados permiten dilucidar, por un lado, aquellas variables que presentaron variabilidad y diferencias significativas, tanto entre los genotipos como entre los ambientes explorados y, por otro lado, las variables que tendieron a mostrar interacciones entre los diferentes factores de variación, lo que demostraría una mayor dependencia del ambiente en las mismas. En este sentido es importante destacar que, tanto el rendimiento de fibra como sus principales componentes, registraron diferencias entre cultivares y ambientes explorados y que, además, se pudieron

determinar tasas de progreso genético significativas para los mismos en los cultivares y periodos analizados. Por otro lado, muchas de las variables cuantificadas no registraron diferencias o progresos significativos, sin embargo, la mayoría de las variables registró tendencias tanto positivas como negativas que podrían tener un importante valor para el programa de mejoramiento de algodón de INTA.

**Tabla 18.** Resumen de los análisis estadísticos realizados durante el experimento. Referencias: rendimiento de fibra (RF), porcentaje de fibra (%F), rendimiento bruto (RB), número de cápsulas m<sup>-2</sup> (NC), peso promedio por cápsula (PC), fibra por cápsula (F/C), número de semillas por cápsula (NSC), índice de semilla (IS), fibra por semilla (F/S), UHML: largo medio de fibra de la mitad superior, Srt: resistencia de fibra, Mic: micronaire, Prot: contenido de proteína, MG: porcentaje de aceite, tallo (Ta), ramas reproductivas y peciolo (RR), hojas (H), ramas vegetativas (RV), semillas y fibras (SF), materia seca total (MSt), MS vegetativa (MSv), MS reproductiva (MSr), índice reproductivo/vegetativo (R/V), alocación reproductiva (AR), índice de cosecha (IC), altura (A), número de nudos (NN), distancia entre nudos (DEN), nudo de la primera estructura reproductiva (NIPRR), altura de la primera rama reproductiva (AIPRR), distancia horizontal a la primera estructura reproductiva (DPP), retención global (RG), retención en 1<sup>era</sup> posición (R1P), retención 2<sup>da</sup> posición (R2P), número de posición m<sup>-2</sup> (NP), número de posiciones en 1<sup>era</sup> posición m<sup>-2</sup> (NP1P) y número de posiciones en 2<sup>da</sup> posición m<sup>-2</sup> (NP2P). ns: no significativo, \* p<0,05; \*\*:p<0,01 y \*\*\*:p<0,001.

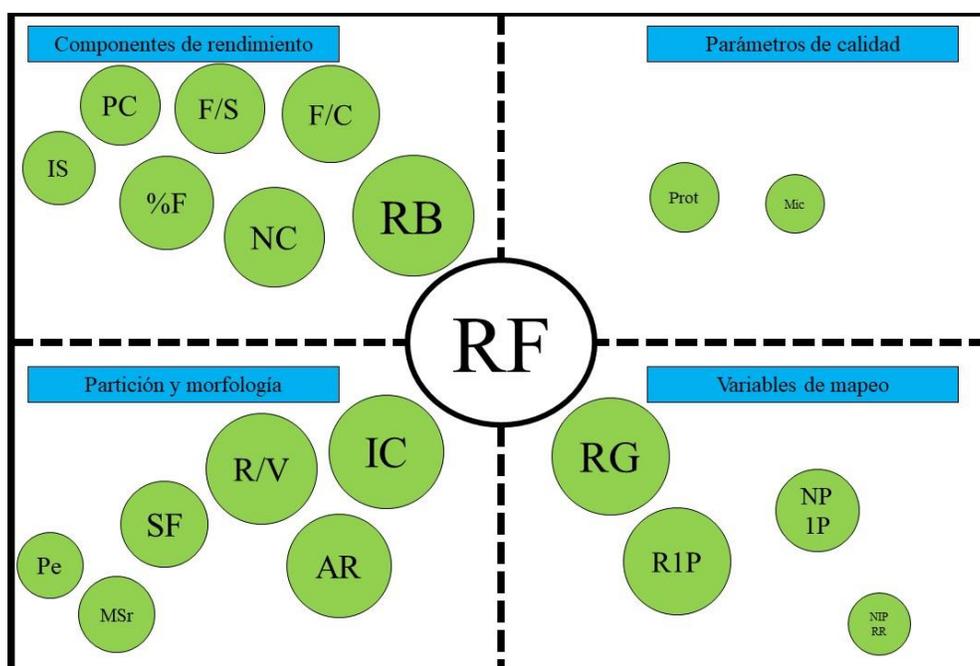
Variable	V	FS	M	V*FS	V*M	FS*M	V*FS*M	PG
RF	***	***	-	ns	-	-	-	**
%F	***	***	-	ns	-	-	-	**
RB	***	***	-	ns	-	-	-	*
NC	***	***	-	ns	-	-	-	*
PC	***	**	-	ns	-	-	-	ns
NSC	***	***	-	*	-	-	-	AL*FS
IS	***	***	-	*	-	-	-	AL*FS
F/S	ns	***	-	ns	-	-	-	*
F/C	***	**	-	ns	-	-	-	ns
UHML	***	*	-	ns	-	-	-	ns
UI	***	***	-	ns	-	-	-	ns
SFI	***	***	-	ns	-	-	-	ns
Srt	***	**	-	ns	-	-	-	ns
Mic	***	ns	-	**	-	-	-	AL*FS
SCI	***	***	-	ns	-	-	-	ns
MG	ns	**	-	ns	-	-	-	*
Prot	ns	ns	-	ns	-	-	-	ns
Ta	***	***	***	ns	***	***	**	-
RR	***	***	***	ns	ns	***	ns	-
RV	***	***	***	ns	ns	ns	ns	-
H	***	***	***	ns	ns	ns	ns	-
Bo	ns	***	***	ns	*	***	ns	-
PF	***	ns	-	ns	-	-	-	-
Pe	*	ns	-	ns	-	-	-	-
SF	*	**	-	ns	-	-	-	-
MSt	ns	***	***	ns	ns	***	ns	*(M2-M3)

MSv	***	***	***	ns	**	***	ns	* (M1)
MSr	**	***	***	ns	ns	ns	ns	ns
A	*	***	***	ns	ns	***	ns	ns
NN	***	***	***	ns	ns	***	ns	ns
DEN	ns	***	***	ns	ns	ns	ns	ns
NRV	***	ns	***	ns	ns	***	ns	ns
NRR	***	***	***	ns	ns	**	ns	ns
NIPRR	***	***	***	ns	ns	***	*	ns
AIPRR	***	***	***	ns	ns	***	ns	*
DPP	***	***	***	ns	ns	ns	ns	ns
IAF	**	***	***	ns	-	***	ns	-
AFE	ns	***	-	ns	-	-	-	-
RG	*	*	***	ns	ns	***	ns	* (M2-M3)
R1P	***	ns	***	ns	ns	***	ns	ns
R2P	ns	***	***	ns	ns	**	ns	ns
NP	***	***	***	ns	ns	ns	ns	ns
NP1P	***	***	***	ns	ns	***	ns	ns
NP2P	***	***	***	ns	ns	***	ns	ns
R/V	***	***	***	ns	**	***	ns	ns
AR	***	***	-	ns	-	-	-	ns
IC	***	***	-	ns	-	-	-	*

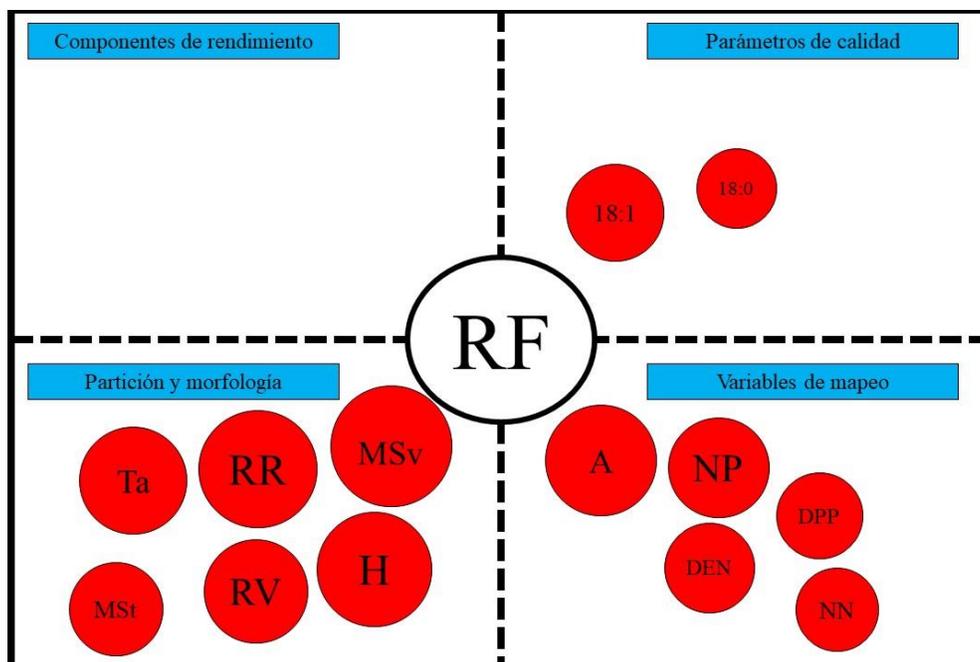
Por otra parte, en cada uno de los capítulos se realizaron análisis de correlaciones parciales de Pearson entre todas las variables cuantificadas en el experimento, con el objeto de conocer tanto el signo como el grado de asociación entre las mismas. Los análisis se expresaron, tanto entre las variables, como con el rendimiento de fibra que fue el principal producto de interés del presente estudio. En esta última sección, se presentan dos figuras resúmenes de las variables que registraron correlaciones significativas con el rendimiento de fibra. Del mismo modo, a través del tamaño de los círculos y la cercanía de estos al centro de las figuras, se indican el nivel de asociación que registraron las variables, siendo las variables con círculos de mayores tamaños aquellas que mayores niveles de correlación mostraron en los experimentos.

En la Figura 50 se pueden observar las variables que correlacionaron positivamente con el rendimiento de fibra, clasificadas según sean componentes de rendimiento, parámetros de calidad, variables de mapeo o variables provenientes de los análisis de partición y morfológicos. Por otro lado, en la Figura 51 se pueden observar aquellas variables que registraron correlaciones negativas con el rendimiento de fibra. En este caso, es importante destacar que en nuestro experimento ninguna variable referida a los componentes de

rendimiento mostró correlaciones negativas con el rendimiento. No obstante, algunas de las variables cuantificadas en los momentos de muestreo de materia seca mostraron correlaciones significativamente negativas con el rendimiento de fibra y son aquellas que programa de mejoramiento podría tener en cuenta a la hora de establecer futuros objetivos de mejoramiento. En este punto, resulta útil llamar la atención en el sentido que, generalmente en los ensayos de evaluación de germoplasma no se realizaron mediciones que registraran correlaciones negativas con el rendimiento de fibra, por lo que este trabajo establecería la importancia de cuantificar algunas de ellas y sentar bases para nuevos objetivos de mejoramiento.



**Figura 50.** Panel de variables que registraron correlaciones parciales significativas y positivas con el rendimiento de fibra (RF) clasificadas según sean componentes de rendimiento, parámetros de calidad, variables de mapeo o extraídas de los análisis de partición y morfología. Referencias: RB: rendimiento bruto, NC: número de cápsulas  $m^{-2}$ , PC: peso promedio.cápsula $^{-1}$ , %F: porcentaje de fibra, F/C: fibra cápsula $^{-1}$ , F/S: fibra semilla $^{-1}$ , IS: índice de semilla, Prot: contenido de proteína en semilla, Mic: micronaire, RG: retención global, RIP: retención en primera posición, NP1P: número de posiciones en primera posición, NIPRR: nudo de la primera estructura reproductiva, IC: índice de cosecha, AR: alocación reproductiva, R/V: índice reproductivo/vegetativo SF: peso seco de semilla y fibra en M3, MSr: materia seca reproductiva en M3, y Pe: materia seca de perilla en M3.



**Figura 51.** Panel de variables que registraron correlaciones parciales significativas y negativa con el rendimiento de fibra (RF) clasificadas según sean componentes de rendimiento, parámetros de calidad, variables de mapeo o extraídas de los análisis de partición y morfología. Referencias: MSv: materia seca vegetativa, H: materia seca de hoja en M3, RR: materia seca de ramas reproductiva y peciolo en M3, RV: materia seca de ramas vegetativas en M3, Ta: materia seca de tallo en M3, MSi: materia seca total en M3, A: altura, NP: número de posiciones en M3, DEN: distancia entre nudos en M3, DPP: distancia a primera posición en M3, NN: número de nudos, 18:1 ácido Oleico y 18:0 ácido Esteárico.

En el presente trabajo se realizó una amplia revisión bibliográfica de todos los aspectos relacionados con la producción de algodón en Argentina. A través de la misma y del análisis de los resultados en los diferentes capítulos, se pudo realizar un nuevo esquema de los componentes de rendimiento que influyen directa o indirectamente en el rendimiento de fibra (Figura 52). El esquema establece que el RF resulta de la multiplicación entre el rendimiento bruto (RB) y el porcentaje de fibra (%F). En este sentido, en nuestros experimentos observamos, por un lado, una relación casi lineal entre RB y RF y, por otro lado, relaciones lineales entre RF y %F.

El componente RB, resulta de la multiplicación de la cantidad de cápsulas presentes en una unidad de superficie (NC) por el peso promedio de cada una de esas cápsulas (PC), siendo en nuestro trabajo la cantidad de cápsulas (NC) la variable que mejor ajustó los resultados, tanto de RB como de RF. Asimismo, se registró una relación negativa entre estos componentes, que dependió de la campaña de estudio y estableció que a medida que se incrementaron el número de cápsulas por unidad de superficie, el peso promedio de las mismas disminuyó significativamente. Estos resultados sugieren que, para futuros

incrementos de rendimiento, el programa de mejoramiento debería centrarse en la cantidad de estructuras reproductivas por unidad de superficie por encima del peso de las mismas.

Los componentes que intervienen en la cuantificación del NC son dos, por un lado, el número de plantas por unidad de superficie ( $pl\ m^{-2}$ ) y, por otro lado, la cantidad de cápsulas fijadas en cada una de las plantas ( $NC\ pl^{-1}$ ). La cantidad de  $pl\ m^{-2}$  se establecen a través del ajuste de la densidad y el distanciamiento entre surcos. En este sentido, en nuestro experimento se utilizó el sistema de surcos estrechos y una densidad uniforme para todos los cultivares, por este motivo, no se establecieron relaciones con RF; no obstante, importantes variaciones, tanto en el rendimiento como en los parámetros de calidad de fibra, fueron reportados en la bibliografía al variar estos factores. Por otro lado, el  $NC\ pl^{-1}$  depende a su vez, tanto de la cantidad de posiciones para estructuras reproductivas generadas por planta (NP), como del porcentaje de las mismas que son retenidas al final del ciclo del cultivo (RG). En estos últimos, se pudo constatar que RG registró una correlación positiva y significativa con RF y que, por el contrario, NP presentó correlaciones negativas. Asimismo, se observó una correlación negativa entre RG y NP, que indicó que a medida que se generaron más NP la probabilidad de retenerlas era menor y, por lo tanto, el RF caía significativamente. En este sentido, el programa de mejoramiento debe tratar de establecer objetivos de mejoramiento que prioricen plantas con arquitecturas compactas, evitando aquellos cultivares vigorosos que generen muchas posiciones con menores probabilidades de retenerlas. Además, se observó que habría que priorizar aquellos cultivares que tienen una mayor RG en las primeras posiciones de las plantas.

Por otro lado, el PC está determinado por el índice o tamaño de las semillas (IS) y por la cantidad de fibra por cápsula (F/C). En nuestros resultados pudimos observar que ambos se correlacionaron significativa y positivamente con el PC, aunque F/C registró una mayor asociación, además de presentar del mismo modo, una correlación significativa con RF. Por otra parte, resulta útil mencionar que estos dos componentes, a diferencia de lo que se observó entre NC y PC, estuvieron relacionados lineal y significativamente en todos los ambientes del experimento. Esto quiere decir que, a medida que aumentamos el tamaño de la semilla las mismas presentaron la capacidad de generar una mayor cantidad de F/C. Con respecto al IS, el mismo se correlacionó de manera significativa y positiva, tanto con el contenido de proteína (Prot) como de aceite o materia grasa (MG) en el grano, lo que haría suponer que

mayores tamaños de semilla se registran cuando estos componentes intrínsecos registran mayores valores, no obstante, se deben realizar estudios específicos para dilucidar estas afirmaciones (por este motivo en la figura las relaciones se representan con líneas cortadas). Con respecto a la variable F/C, la misma depende fundamentalmente de la cantidad de fibra que generan cada una de las semillas dentro de las cápsulas (F/S). Asimismo, resulta útil mencionar que se registraron relaciones negativas entre estos últimos componentes (NSC y F/S), siendo menor la cantidad de F/S que se cuantificó cuando el NSC fue mayor. Igualmente, es necesario tener en cuenta que, las variables mencionadas en este párrafo afectan tanto a la variable PC como al %F. Es por este motivo que en el croquis de los componentes de RF se insertaron flechas de ida y vuelta con el significado de una interrelación entre las variables involucradas. Este análisis lleva al hecho de que, tanto el NSC como el IS registraron relaciones negativas con el %F, lo que sugiere que no deberían ser tenidos en cuenta como objetivos de mejoramiento.

El estudio de los componentes intrínsecos del PC y %F permitieron dilucidar el motivo de los mayores PC y %F en fechas de siembra tardías (FSII). En este sentido, el PC registró un mayor peso en FSII, debido a que, en las mismas se registraron mayores IS por el menor NSC cuantificado. Este análisis sugiere que IS, al ser el principal componente que aportó para el PC, posibilitó un incremento tanto de F/C como de F/S, que permitió un incremento del %F en FSII. Este incremento de asimilados por cápsula en FSII con respecto a FSI, podría haber estado asociado a la relación fuente-destino descrita durante la tesis, que establece que al haber un menor NC (por el menor porcentaje de RG debido a las peores condiciones climáticas), cada una de las cápsulas en desarrollo contó con una mayor tasa de asimilados para incrementar tanto el IS como la F/S y F/C y, por lo tanto, %F en FSII.

Por último, si el programa de mejoramiento quisiera aumentar una de las variables referidas a la cantidad de F/C, sin que esto provoque una disminución en el %F, debería centrarse en la variable F/S. En este sentido, para poder mejorar esta variable se tienen dos alternativas: aumentar la cantidad de fibras generadas por semilla o aumentar el peso de cada una de las fibras generadas en cada una de las semillas. Estas variables son difíciles de cuantificar, no obstante, se puede comenzar a realizar estudios relacionados a los métodos e impactos que tendrían el aumento de estas variables, tanto para el RF como para todos los componentes que se evaluaron en la presente tesis.



## **Perspectivas en términos de investigación**

En esta tesis se determinó el progreso genético de algodón argentino, entre los años 1965 y la actualidad, para el rendimiento de fibra, sus componentes, los principales parámetros de calidad de fibra y semilla, y para variables asociadas a la morfología, dinámicas de mapeo y partición. Sin embargo, aún quedan por responder diversos interrogantes, muchos de ellos surgidos a partir de los resultados aquí presentado, entre los cuales se pueden enumerar:

- Investigar las diferencias entre los cultivares en términos de eficiencias como, por ejemplo, eficiencias en el uso de la radiación (EUR), nitrógeno (EUN) y agua (EUA).
- Investigar las diferencias entre los cultivares cuando se someten a estreses de tipo abiótico.
- Investigar y cuantificar relaciones entre variables de fácil y rápida medición con aquellas de difícil o costosa cuantificación, que puedan asociarse con las variables relacionadas a la producción de materia seca, partición de asimilados, morfología y dinámica de floración de las plantas.
- Investigar si el aumento en los fotoasimilados en las variedades modernas en la parte media y tardía del ciclo se encuentra explicado por un aumento de la tasa de fotosíntesis, una reducción de la respiración o algún otro fenómeno fisiológico.
- Investigar si cultivares representativos de las diferentes años de lanzamiento registran idénticos resultados con las variables cuantificadas en la presente tesis al modificar practicas tales como: densidad, fertilización, distanciamiento entre surcos, competencia con malezas, ataque de insectos, entre otros.

## **Consideraciones finales**

El programa de mejoramiento de algodón de INTA cuenta, a partir de la publicación de la presente tesis, con un detallado y extenso estudio de las características del germoplasma nacional, tanto de variedades que se usaron como de las que se utilizan actualmente y, con una guía sobre las variables y la manera que las mismas influyen en la determinación del rendimiento de fibra y de los parámetros de calidad de fibra y semilla.

Por otra parte, se observa la necesidad de una reestructuración de los objetivos generales y específicos del programa de mejoramiento del cultivo de algodón. En este sentido, se informó en varias oportunidades que diversas de las variables estudiadas no formaban parte de los

objetivos, tanto generales como específicos del programa. Por otra parte, se observa que es necesaria una descentralización y un aumento en el número de centros de mejoramiento, para posibilitar un incremento en los niveles de ganancia genética nacional, tanto en los rendimientos, como en los parámetros de calidad de fibra y semilla, que la presente tesis demostró que estuvieron dentro de los más bajos registrados en la historia del mejoramiento de algodón en el mundo.

# BIBLIOGRAFÍA

- Abdelraheem, A., Fang, D.D., Dever, J., Zhang, J., 2020. QTL analysis of agronomic, fiber quality, and abiotic stress tolerance traits in a recombinant inbred population of pima cotton. *Crop Sci.* 60, 1823-1843.
- Abeledo, G., García, G., Lo Valvo, P., Serrago, R., Miralles, D., 2016. Evolución de las ganancias en el rendimiento de trigo a nivel regional en Argentina: ¿cómo influyen la variabilidad ambiental y el progreso genético? VIII Congreso Nacional de Trigo, VI Simposio de Cereales de Siembra Otoño-Invernal, II Reunión del Mercosur.
- Acreche, M.M., 2017. Nitrogen-, water-and radiation-use efficiencies affected by sugarcane breeding in Argentina. *Plant Breeding* 136, 174-181.
- Acreche, M.M., Saez, J.V., Chalco Vera, J., 2015a. Physiological bases of genetic gains in sugarcane yield in Argentina. *Field Crops Res.* 175, 80-86.
- Acreche, M.M., Saez, J.V., Vera, J., 2015b. Physiological bases of genetic gains in sugarcane yield in Argentina. 175, 80-86.
- Agarwal, D., Singh, P., Mayee, C., Nita, K., 2002. Genetic improvement of cottonseed oil. Central Institute for Cotton Research (CICR) Technical. 25 pp.
- Aguirrezábal, L.A.N., Lavaud, Y., Dosio, G.A.A., Izquierdo, N.G., Andrade, F.H., González, L.M., 2003. Intercepted solar radiation during seed filling determines sunflower weight per seed and oil concentration. *Crop Sci.* 43, 152-161.
- Almada, M., 2019. Algodón Bt: aplicando nuevas herramientas para su evaluación. APPA Septiembre 2019. <http://www.appasantafe.org.ar/edicion-2018-2019>
- Almada, M., Szwarc, D., Vitti Scarel, D., 2018a. Control de picudo del algodnero mediante diferentes insecticidas en laboratorio. APPA Septiembre 2018. <http://www.appasantafe.org.ar/edicion-2017-2018>
- Almada, M., Szwarc, D., Vitti Scarel, D., 2018b. Cría masiva de picudo del algodnero (*Anthonomus grandis*) en laboratorio. APPA Septiembre 2018. <http://www.appasantafe.org.ar/edicion-2017-2018>
- Almada, M., Szwarc, D., Vitti Scarel, D., 2019. Picudos ¿hacia dónde van? APPA Septiembre 2019. <http://www.appasantafe.org.ar/edicion-2018-2019>
- Almada, M., Szwarc, D., Vitti Scarel, D., 2020. Orugas militares en algodón. APPA Septiembre 2020. <http://www.appasantafe.org.ar/edicion-2019-2020>

- Andrade, F.H., Vega, C., Uhart, S., Cirilo, A., Cantarero, M., Valentinuz, O., 1999. Kernel number determination in maize. *Crop Sci.* 39, 453-459.
- Angeloni, O., Caram, G., Prause, J., 2001. Utilización de dos temperaturas base para el cálculo de grados-día. UNNE, FCA. Cátedra Climatología y Fenología Agrícolas. Disponible en: [https://nanopdf.com/download/utilizacion-de-dos-temperaturas-base-para-el-calculo-de-gradoss\\_dia\\_pdf](https://nanopdf.com/download/utilizacion-de-dos-temperaturas-base-para-el-calculo-de-gradoss_dia_pdf)
- Applequist, W.L., Cronn, R., Wendel, J.F., 2001. Comparative development of fiber in wild and cultivated cotton. *Evol. Dev.* 3, 3-17.
- Aramendiz, H., Espitia, M.M., Isaza, M., 2010. Progreso genético del algodnero (*Gossypium hirsutum* L.) en Colombia. *Temas Agrarios* 15.
- Bailey, A.E., 1948. Cottonseed and cottonseed products. Their Chemistry and Chemical Technology, Interscience Publishers, Inc., New York, pp 364-408.
- Baker, D., Hesketh, J., 1969. Respiration and the carbon balance in cotton (*Gossypium hirsutum* L.), Proc. Beltwide Cotton Prod. Res. Conf., New Orleans, LA, pp. 7-8.
- Baker, D.N., Landivar, J.A., Hodges, T., 1991. The simulation of plant development in GOSSYM. Predicting crop phenology. The Cotton Foundation, 245-257.
- Ballester, C., Hornbuckle, J., Brinkhoff, J., Quayle, W.C., 2021. Effects of three frequencies of irrigation and nitrogen rates on lint yield, nitrogen use efficiency and fibre quality of cotton under furrow irrigation. *Agric. Water Manage.* 248.
- Bange, M.P., Caton, S.J., Milroy, S.P., 2008. Managing yields of high fruit retention in transgenic cotton (*Gossypium hirsutum* L.) using sowing date. *Aust. J. Agric. Res.* 59, 733-741.
- Basra, A., Malik, C., 1983. Dark metabolism of CO<sub>2</sub> during fibre elongation of two cottons differing in fibre lengths. *J. Exp. Bot.* 34, 1-9.
- Basra, A.S., Malik, C.P., 1984. Development of the cotton fiber. En: G. H. Bourne, J. F. Danielli, y K. W. Jeon (Eds.), *International Review of Cytology* (Vol. 89, pp. 65-113): Academic Press.
- Bassett, D., Hyer, A., 1985. Acala cotton in California: 60 years of varietal improvement, Proc. Beltwide Cotton Prod. Res. Conf., New Orleans, LA., pp. 6-11.
- Bayles, M.B., Verhalen, L.M., Johnson, W.M., Barnes, B.R., 2005. Trends over time among cotton cultivars released by the Oklahoma Agricultural Experiment Station. *Crop Sci.* 45, 966-980.
- Bazzaz, F.A., Chiariello, N.R., Coley, P.D., Pitelka, L.F., 1987. Allocating resources to reproduction and defense. *Bioscience* 37, 58-67.

- Bechere, E., Zeng, L., Boykin, D., 2014. Correlation and path-coefficient analyses of lint yield and other traits in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *J. Crop Improv.* 28, 852-870.
- Bednarz, C.W., Nichols, R.L., Brown, S.M., 2006. Plant density modifications of cotton within-boll yield components. *Crop Sci.* 46, 2076-2080.
- Bednarz, C.W., Nichols, R.L., Brown, S.M., 2007. Cotton within-boll yield components, World Cotton Research Conference-4, Lubbock, Texas, USA, 10-14 September 2007. International Cotton Advisory Committee (ICAC).
- Bel, P.D., 2004. Fibre properties relationships to fabric quality, Historic - Faculty of Engineering and Surveying - Department of Agricultural, Civil and Environmental Engineering. University of Southern Queensland, <http://eprints.usq.edu.au/id/eprint/3193>, p. 206.
- Bhat, M., Dani, R., 1993. Improvement in productivity and oil content of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) cultivars through induced polygenic mutations. *J. Cotton Res.* 7, 9-18.
- Blaise, D., 2006. Yield, boll distribution and fibre quality of hybrid cotton (*Gossypium hirsutum* L.) as influenced by organic and modern methods of cultivation. *J. Agron. Crop Sci.* 192, 248-256.
- Blanche, S.B., Myers, G.O., Zumba, J.Z., Caldwell, D., Hayes, J., 2006. Stability comparisons between conventional and near-isogenic transgenic cotton cultivars. *J. Cotton Sci.* 10, 17-28.
- Board, J., 1987. Yield components related to seed yield in determinate soybean. *Crop Sci.* 27, 1296-1297.
- Bourland, F., Oosterhuis, D., Tugwell, N., 1992. Concept for monitoring the growth and development of cotton plants using main-stem node counts. *J. Prod. Agric.* 5, 532-538.
- Bowman, D., Gutierrez, O., Percy, R., Calhoun, D., May, O., 2006. Pedigrees of upland and pima cotton cultivars released between 1970 and 2005. *Miss. Agric. For Exp. Station Tech. Bull.* 1155, 57.
- Bozbek, T., Sezener, V., Unay, A.J.J.A., 2006. The effect of sowing date and plant density on cotton yield. *J. Agron.* 5, 122-125.
- Bradow, J.M., Bauer, P.J., 1997. Fiber-quality variations related to cotton planting date and temperature. *Proceedings 1997 v.2*, pp. 1491-1495.
- Bradow, J.M., Davidonis, G.H., 2010. Effects of environment on fiber quality, en: *Physiology of cotton*. Springer, pp. 229-245.

- Bridge, R., McDonald, L., 1987. Beltwide efforts and trends in development of varieties for short-season production systems, Beltwide Cotton Prod. Conf. Natl. Cotton Counc. Am., Dallas, TX., pp. 81-85.
- Bridge, R., Meredith, W., Chism, J., 1971. Comparative performance of obsolete varieties and current varieties of upland cotton. *Crop Sci.* 11, 29-32.
- Bridge, R.R., Meredith Jr, W., 1983. Comparative performance of obsolete and current cotton cultivars. *Crop Sci.* 23, 949-952.
- Brown, P.W., Zeiher, C.A., Silvertooth, J., 1995. Response of upland cotton to elevated night temperatures. I. Results of field studies, en: *Proceeding of the Beltwide Cotton Conferences*, San Antonio, Texas.
- Brubaker, C.L., Wendel, J.F., 1994. Reevaluating the origin of domesticated cotton (*Gossypium hirsutum*; Malvaceae) using nuclear restriction fragment length polymorphisms (RFLPs). *Am. J. Bot.* 81, 1309-1326.
- Campbell, B., Chee, P., Lubbers, E., Bowman, D., Meredith, W., Johnson, J., Fraser, D., 2011. Genetic improvement of the Pee Dee cotton germplasm collection following seventy years of plant breeding. *Crop Sci.* 51, 955-968.
- Campbell, B.T., Chee, P.W., Lubbers, E., Bowman, D.T., Meredith, W.R., Johnson, J., Fraser, D., Bridges, W., Jones, D.C., 2012. Dissecting genotype  $\times$  environment interactions and trait correlations present in the Pee Dee cotton germplasm collection following seventy years of plant breeding. *Crop Sci.* 52, 690-699.
- Campbell, B.T., Jones, M.A., 2005. Assessment of genotype  $\times$  environment interactions for yield and fiber quality in cotton performance trials. *Euphytica* 144, 69-78.
- Capdevila, A.M., Dure, L., 1977. Developmental biochemistry of cottonseed embryogenesis and germination: VIII. free amino acid pool composition during cotyledon development. *Plant Physiol.* 59, 268-273.
- Carlino, A., 2013. Los orígenes de la industria algodonera en el Territorio Nacional del Chaco. Instalación del desmotado y las aceiterías. *Revista de historia de la industria, los servicios y las empresas en América Latina*, FCE, UBA., 1-1.
- Carrera, C., Martínez, M.J., Dardanelli, J., Balzarini, M., 2009. Water deficit effect on the relationship between temperature during the seed fill period and soybean seed oil and protein concentrations. *Crop Sci.* 49, 990-998.

- Chaudhry, M.R., Guitchounts, A., 2003. Cotton facts. International Cotton Advisory Committee Washington, DC, USA.
- Cherry, J., P., Leffler, H., R., 1984. Seed, en: Cotton. (eds R.J. Kohel and C.F. Lewis). pp: 80-120. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr24.c13>
- Chowdhury, K., Buth, G., 1971. Cotton seeds from the Neolithic en Egyptian Nubia and the origin of Old World cotton. Biol. J. Linn. Soc. 3, 303-312.
- Christiansen, M.N., 1986. Influence of atmospheric parameters on growth and development, en: Cotton Physiology. The Cotton Foundation Publisher Memphis, Tennessee, pp. 39-46.
- Colombo, F., 2019. Rendimiento y calidad de fibra de genotipos de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) en respuesta a la nutrición nitrogenada y altas temperaturas, Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto.
- Colombo, F., Evangelina, V., Acosta, M., 2020. Comportamiento productivo de variedades de algodón. APPA Septiembre 2020. <http://www.appasantafe.org.ar/edicion-2020-2021>
- Conaty, W.C., Constable, G.A., 2020. Factors responsible for yield improvement en new *Gossypium hirsutum* L. cotton cultivars. Field Crops Res. 250, 107780.
- Constable, G., 1991. Mapping the production and survival of fruit on field-grown cotton. Agron. J. 83, 374-378.
- Constable, G., Reid, P., Thomson, N., 2001. Approaches utilized in breeding and development of cotton cultivars in Australia. Science Publishers, Enfield, 1-15.
- Constable, G., Rochester, I., Daniells, I., 1992. Cotton yield and nitrogen requirement is modified by crop rotation and tillage method. Soil Tillage Res. 23, 41-59.
- Constable, G., Shaw, A., 1988. Temperature requirements for cotton. Agfact 3.
- Constable, G.A., Rawson, H.M., 1980. Effect of leaf position, expansion and age on photosynthesis, transpiration and water use efficiency of cotton. Funct. Plant Biol. 7.
- Cooper, M., DeLacy, I., 1994. Relationships among analytical methods used to study genotypic variation and genotype-by-environment interaction in plant breeding multi-environment experiments. Theor. Appl. Genet. 88, 561-572.
- Cordeiro, C.F., Santos, I.F., Mello, P.R.d., Echer, F.R., 2021. Cotton root growth response to mepiquat chloride application in early reproductive stages are cultivar dependent. Crop Sci. 61, 1987– 1995. <https://doi.org/10.1002/csc2.20478>

- Culp, T., Green, C., 1992. Performance of obsolete and current cultivars and Pee Dee germplasm lines of cotton. *Crop Sci.* 32, 35-41.
- Culp, T., Harrell, D., 1975. Influence of lint percentage, boll size, and seed size on lint yield of upland cotton with high fiber strength. *Crop Sci.* 15, 741-746.
- Curin, F., Severini, A.D., González, F.G., Otegui, M.E., 2020. Water and radiation use efficiencies in maize: Breeding effects on single-cross Argentine hybrids released between 1980 and 2012. *Field Crops Res.* 246, 107683.
- Curin, F., Otegui, M.E., González, F.G., 2021. Wheat yield progress and stability during the last five decades in Argentina. *Field Crops Res.* 269, 108183.
- Dani, R., 1984. Effect of harvest time on oil and fibre development en some Indian cotton. *Indian J. Agric. Sci.* 54, 1084–1087.
- de Carvalho, L., Barbosa, M., Costa, J., Farias, F., de Santana, J., de Andrade, F., 1997. Progreso genético do algodoeiro herbáceo no Nordeste. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 32.
- de Felipe, M., Gerde, J.A., Rotundo, J.L., 2016. Soybean genetic gain in maturity groups III to V in Argentina from 1980 to 2015. *Crop Sci.* 56, 3066-3077.
- De la Fuente, E.B., Gil, A., Giménez, P.I., Kantolic, A.G., Pereira, M.L., Ploschuk, E.L., Sorlino, D.M., Vilariño, M.d.P., Wassner, D.F., Windauer, L.B., 2006. Cultivos industriales. pp 350-385.
- de la Vega, A.J., DeLacy, I.H., Chapman, S.C., 2007. Progress over 20 years of sunflower breeding in central Argentina. *Field Crops Res.* 100, 61-72.
- DeLanghe, E.A., 1986. Lint development, en: *Cotton physiology*, The Cotton Foundation, Memphis, TN, pp. 325-349.
- Delmer, D.P., 1999. Cellulose biosynthesis: exciting times for a difficult field of study. *Annu. Rev. Plant Biol.* 50, 245-276.
- Delssín, E.A., 2003. El algodón en Santa Fe (una historia ligada al desarrollo). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires (Argentina).
- Dhindsa, R.S., Beasley, C.A., Ting, I.P., 1975. Osmoregulation in cotton fiber: accumulation of potassium and malate during growth. *Plant Physiol.* 56, 394-398.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., González, L., Tablada, M., Robledo, C., 2011. *InfoStat en: Grupo InfoStat, F., Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. (Ed.), 2011 ed, <http://www.infostat.com.ar>, pp. 195-199.*

- Dileo, P.N., Muchut, R., Winkler, H., Cereijo, A., Scarpin, G.J., Lorenzini, F., Roeschlin, R.A., Paytas, M., Rodriguez, G.R., 2020a. Desarrollo de una población con variabilidad genética para la selección de genotipos. APPA Septiembre 2020. <http://www.appasantafe.org.ar/edicion-2019-2020>
- Dileo, P.N., Scarpin, G.J., Winkler, H., Paytas, M., Fernandes, I., Senna, R., Cordeiro, C.F., Troncoso, C., Lorenzini, F., Rodriguez, G.R., 2019. Identificación de genotipos contrastantes para características de importancia agronómica en algodón. APPA Septiembre 2019. <http://www.appasantafe.org.ar/edicion-2018-2019>
- Dileo, P.N., Scarpin, G.J., Winkler, H., Roeschlin, R.A., Longhi, T., Paytas, M., 2018a. Evaluación de genotipos de algodón en dos ambientes con oferta hídrica diferencial. APPA Septiembre 18. <http://www.appasantafe.org.ar/edicion-2017-2018>
- Dileo, P.N., Winkler, H., Cereijo, A., Muchut, R., Scarpin, G.J., Lorenzini, F., Roeschlin, R.A., Paytas, M., 2020b. Los primeros pasos en el desarrollo de nuevas variedades de algodón. APPA Septiembre 2020. <http://www.appasantafe.org.ar/edicion-2019-2020>
- Dileo, P.N., Winkler, H., Scarpin, G.J., Roeschlin, R.A., Paytas, M., 2018b. Biotecnología aplicada al mejoramiento genético de algodón. APPA Septiembre 2018. <http://www.appasantafe.org.ar/edicion-2017-2018>
- Duckett, K., Goswami, B., Ramey Jr, H., 1979. Mechanical properties of cotton/polyester yarns: Part I: contributions of interfiber friction to breaking energy. Text. Res. J. 49, 262-267.
- Duli, Z., Yuzhang, X., Youfu, H., 1993. Effects of water deficiency on the development of cotton seeds during flowering and fruiting stages. Acta Agronomica Sinica. 19, 546-552.
- Dure, L., Chlan, C., 1981. Developmental biochemistry of cottonseed embryogenesis and germination: XII. Purification and properties of principal storage proteins. Plant Physiol. 68, 180-186.
- Echarte, M.M., Puntel, L.A., Aguirrezabal, L.A.N., 2013. Assessment of the critical period for the effect of intercepted solar radiation on sunflower oil fatty acid composition. Field Crops Res. 149, 213-222.
- Edmisten, K., 1997. The cotton plant. North Carolina Cotton Production Guide.
- Espindola, C., Wuthrich, A., Winkler, H., 2018. Evaluación de cuatro variedades de algodón en condiciones ambientales del norte del Departamento General Obligado. APPA Septiembre 2018. <http://www.appasantafe.org.ar/edicion-2017-2018>

- Evans, L.T., 1980. The natural history of crop yield: A combination of improved varieties of crop plants and technological innovations continues to increase productivity, but the highest yields are approaching limits set by biological constraints. *Am. Sci.* 68, 388-397.
- Fryxell, P.A., 1979. The natural history of the cotton tribe (*Malvaceae*, tribe *Gossypieae*). Texas A y M University Press.
- Fryxell, P.A., 1986. Ecological adaptations of *Gossypium* species. *Cotton Physiology*. The Cotton Foundation, 1-7.
- Fryxell, P.A., 1963. Morphology of the base of seed hairs of *Gossypium* I. Gross morphology. *J Bot Gaz.* 124, 196-199.
- Gao, M., Xu, B., Wang, Y., Zhou, Z., Hu, W., 2020. Quantifying individual and interactive effects of elevated temperature and drought stress on cotton yield and fibre quality. *J. Agron. Crop Sci.* 207, 422-436.
- Giband, M., Dessauw, D., Barroso, P.A.V., 2010. Cotton: Taxonomy, origin and domestication. ICAC.
- Gillham, F., 1969. Cotton en a hungry world. *S. Afr. J. Sci.* 65, 173.
- Giorgi, R., Tosolini, R., Sapino, V., León, C., Chiavassa, A., 2011. Capacidad productiva de las tierras de la provincia de Santa Fe. EEA INTA Rafaela.
- Giorgi, R., Tosolini, R., Sapino, V., Villar, J., León, C., Chiavassa, A., 2008. Zonificación agroeconómica de la provincia de Santa Fe. Delimitación y descripción de las zonas y subzonas agroeconómicas. Publicación Miscelanea N°110. Ediciones INTA.
- Gipson, J.R., Joham, H.E., 1968. Influence of night temperature on growth and development of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). I. Fruiting and boll development. *Agron. J.* 60, 292-295.
- Gizzi, G., Gambin, B.L., 2016. Eco-physiological changes in sorghum hybrids released in Argentina over the last 30 years. *Field Crops Res.* 188, 41-49.
- Gómez, G., Díaz, D.G., Pacheco, M.G., Poisson, J.A., Prina, A.R., Royo Pallares, O.M., 2007. Estimación de la diversidad genética mediante marcadores microsatélites en entradas de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) del banco de germoplasma del INTA, Congreso Argentino de Genética. 36. 23 al 26 de septiembre de 2007. Pergamino, Argentina.
- Gonias, E.D., Oosterhuis, D.M., Bibi, A.C., 2012. Cotton radiation use efficiency response to plant growth regulators. *J. Agric. Sci.* 150, 595-602.

- Gore, U., 1932. Development of the female gametophyte and embryo in cotton. *Am. J. Bot.*, 795-807.
- Gotmare, V., Singh, P., Mayee, C., Deshpande, V., Bhagat, C., 2004. Genetic variability for seed oil content and seed index in some wild species and perennial races of cotton. *Plant Breed.* 123, 207-208.
- Grindley, D., 1950. Changes in composition of cottonseed during development and ripening. *J. Sci. Food Agric.* 1, 147-151.
- Guinn, G., 1974. Abscission of cotton floral buds and bolls as influenced by factors affecting photosynthesis and respiration. *Crop Sci.* 14, 291-293.
- Guinn, G., Mauney, J.R., Fry, K.E., 1981. Irrigation scheduling and plant population effects on growth, bloom rates, boll abscission, and yield of cotton. *Agron. J.* 73, 529-534.
- Guthrie, D., Kerby, T., 1993. The cotton diary. *Cotton Physiology Today* 4.
- Guzman Hernandez, M.A., Vilain, L.A., Rondon, T., Sanchez, J., 2021. Genetic gain in lint yield and its components of upland cotton released during 1963 to 2010 in Venezuela. *Crop Sci.* 61(5), 3436-3444.
- Haigler, C., 2010. Physiological and anatomical factors determining fiber structure and utility, en: *Physiology of cotton*. Springer, pp. 33-47.
- Haigler, C.H., Rao, N.R., Roberts, E.M., Huang, J.Y., Upchurch, D.R., Trolinder, N.L., 1991. Cultured ovules as models for cotton fiber development under low temperatures. *Plant Physiol.* 95, 88-96.
- Hamilton, K.A., Pyla, P.D., Breeze, M., Olson, T., Li, M., Robinson, E., Gallagher, S.P., Sorbet, R., Chen, Y., 2004. Bollgard II cotton: compositional analysis and feeding studies of cottonseed from insect-protected cotton (*Gossypium hirsutum* L.) producing the Cry1Ac and Cry2Ab2 proteins. *J. Agric. Food Chem.* 52, 6969-6976.
- Haro, R.J., Baldessari, J., Otegui, M.E., 2013. Genetic improvement of peanut in Argentina between 1948 and 2004: Seed yield and its components. *Field Crops Res.* 149, 76-83.
- Haro, R.J., Baldessari, J., Otegui, M.E., 2015. Genetic improvement of peanut in Argentina between 1948 and 2004: Links between phenology and grain yield determinants. *Field Crops Res.* 174, 12-19.

- Haro, R.J., Baldessari, J., Otegui, M.E., 2017. Genetic improvement of peanut in Argentina between 1948 and 2004: Light interception, biomass production and radiation use efficiency. *Field Crops Res.* 204, 222-228.
- Harrell, D., Culp, T., 1976. Effects of yield components on lint yield of upland cotton with high fiber strength. *Crop Sci.* 16, 205-208.
- Hearn, A., 1976. Response of cotton to nitrogen and water in a tropical environment. III. Fibre quality. *J. Agric. Sci.* 86, 257-269.
- Hearn, A., 1980. Water relationships in cotton. *Outlook on agriculture* 10, 159-166.
- Hearn, A., Constable, G., 1984a. Chapter 14: Cotton, *The Physiology of Tropical Food Crops.*, pp. 495-527.
- Hearn, A., Constable, G., 1984b. Irrigation for crops in a sub-humid environment VII. Evaluation of irrigation strategies for cotton. *Irrig. Sci.* 5, 75-94.
- Heitholt, J.J., 1993. Cotton boll retention and its relationship to lint yield. *Crop Sci.* 33, 486-490.
- Heitholt, J.J., 1999. Cotton: Factors associated with assimilation capacity, flower production, boll set, and yield, en: *Crop Yield: Physiology and Processes.* Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 235-269.
- Heitholt, J.J., Pettigrew, W.T., Meredith Jr, W.R., 1992. Light interception and lint yield of narrow-row cotton. *Crop Sci.* 32, 728-733.
- Heitholt, J.J., Schmidt, J.H., 1994. Receptacle and ovary assimilate concentrations and subsequent boll retention in cotton. *Crop Sci.* 34, 125-131.
- Hons, F., McMichael, B., 1986. Planting pattern effects on yield, water use and root growth of cotton. *Field Crops Res.* 13, 147-158.
- Hoskinson, P., Stewart, J., 1977. Field performance of two obsolete cotton cultivars., *Beltwide Cotton Prod. Res. Conf.*, Atlanta, GA, pp. 78-79.
- Hsieh, Y.L., Basra, A., 1999. Structural development of cotton fibers and linkages to fiber quality, cotton fibers developmental biology, quality improvement, textile processing. *Food Product Press, Binghamton.*, pp. 167-183.
- Hutchinson, J.B., Silow, R.A., Stephens, S.G., 1947. The evolution of *Gossypium* and the differentiation of the cultivated cottons. *Empire Cotton Growing Corporation.* Oxford University Press, London.

- Iqbal, M., Hussain, Z., Noorka, I.R., Akhtar, M., Mahmood, T., Suleman, S., Sana, I., 2013. Revealed Comparative and Competitive Advantages of white gold of Pakistan (Cotton) by Using Balassa and White Index. *Int. J. Agric. Appl. Sci.* 5, 64-68.
- Iqbal, M., Iqbal, M.Z., Khan, R.S.A., Hayat, K., 2005. Comparison of obsolete and modern varieties in view to stagnancy in yield of cotton (*G. hirsutum* L.). *Asian J. Pl. Sci* 4, 374-378.
- Iqbal, M., Khan, M.A., Chattha, W.S., 2020. Developing short-season cotton genotypes with high harvest index might be an advantageous option under late duration plantings. *Plant Genet. Resour.* 18, 190-195.
- Iqbal, M., Reddy, O., El-Zik, K., Pepper, A., 2001. A genetic bottleneck in the evolution under domestication of upland cotton *Gossypium hirsutum* L. examined using DNA fingerprinting. *Theor. Appl. Genet.* 103, 547-554.
- Jenkins, J.N., McCarty Jr, J.C., Parrott, W.L., 1990a. Effectiveness of fruiting sites in cotton: Yield. *Crop Sci.* 30, 365-369.
- Jenkins, J.N., McCarty Jr, J.C., Parrott, W.L., 1990b. Fruiting efficiency in cotton: Boll size and boll set percentage. *Crop Sci.* 30, 857-860.
- Karademir, E., Karademir, Ç., Ekinçi, R., Gençer, O., 2010. Relationship between yield, fiber length and other fiber-related traits in advanced cotton strains. *Not. Bot. Horti Agrobot. Cluj-Napoca.* 38, 111-116.
- Kelly, C.M., Hequet, E.F., Dever, J.K., 2012. Interpretation of AFIS and HVI fiber property measurements in breeding for cotton fiber quality improvement. *J. Cotton Sci.* 16, 1-16.
- Kerby, T.A., Johnson, S., Keeley, M., 1987. Growth and development of Acala cotton. *Univ of Calif, Agric Exp Stn, Div Natur Resour, Bull* 1921, 13.
- Kezer, A., Robertson, D.W., 1927. The critical period of applying irrigation water to wheat. *Agronomy journal* 1927 v.19 no.2 pp. 80-115.
- Khan, M.A., Wahid, A., Ahmad, M., Tahir, M.T., Ahmed, M., Ahmad, S., Hasanuzzaman, M., 2020. World cotton production and consumption: an overview, cotton production and uses. Springer, pp. 1-7.
- Khan, N.U., Marwat, K.B., Hassan, G., Farhatullah, S.B., Makhdoom, K., Ahmad, W., Khan, H.U., 2010. Genetic variation and heritability for cotton seed, fiber and oil traits in *Gossypium hirsutum* L. *J. Bot* 42, 615-625.

- Kilby, C.R., Tan, D.K., Duggan, B., 2013. Yield components of high-yielding Australian cotton cultivars. *Cotton Res. J.* 5, 117-130.
- Kohel, R., Cherry, J., 1983. Variation of cottonseed quality with stratified harvests. *Crop Sci.* 23, 1119-1124.
- Kyzalakova, T.O., 1976. Oil percentage and fatty acid composition of oil in seed of wild species and subspecies of cotton. *Biulleten* 60, 66-68.
- Landivar, J., Benedict, J., 1996. Monitoring system for the management of cotton growth and fruiting. *Texas Agricultural Experiment Station Bulletin*.
- Lee, J.A., 1984. Cotton as a world crop. En *Cotton* (eds R.J. Kohel and C.F. Lewis). <https://doi.org/10.2134/agronmonogr24.c1>. pp. 25-75.
- Lee, J.A., Fang, D.D., 2015. Cotton as a World Crop: Origin, History, and Current Status. In *Cotton* (eds D.D. Fang and R.G. Percy). <https://doi.org/10.2134/agronmonogr57.2013.0019>
- Leffler, H., Tubertini, B., 1976. Development of cotton fruit. accumulation and distribution of mineral nutrient. *Agron. J.* 68, 858-861.
- Leffler, H.R., 1986. Developmental aspects of planting seed quality, en: *Cotton physiology*, The Cotton Foundation, Memphis, TN, pp. 465-474.
- Li, N., Lin, H., Wang, T., Li, Y., Liu, Y., Chen, X., Hu, X., 2020. Impact of climate change on cotton growth and yields in Xinjiang, China. *Field Crops Res.* 247.
- Li, N., Yao, N., Li, Y., Chen, J., Liu, D., Biswas, A., Li, L., Wang, T., Chen, X., 2021. A meta-analysis of the possible impact of climate change on global cotton yield based on crop simulation approaches. *Agric. Syst.* 193, 103221.
- Li, T., Zhang, Y., Dai, J., Dong, H., Kong, X., 2019. High plant density inhibits vegetative branching in cotton by altering hormone contents and photosynthetic production. *Field Crops Res.* 230, 121-131.
- Li, X., Sun, Y.-t., Zhang, Z.-q., Hu, B., Liu, S.-c., 2009. Determination of  $\beta$ -element, curcuminol, germacrone and curdione of zedoary turmeric oil by GC. *Chinese Pharm. J.* 29, 1832-1836.
- Liu, Q., Llewellyn, D.J., Singh, S.P., Green, A.G., 2012. Cotton seed development: opportunities to add value to a byproduct of fiber production, en: *Flowering fruiting in cotton*, The Cotton Foundation, pp. 131-162.
- Liu, Q., Singh, S., Green, A., 2002. High-oleic and high-stearic cottonseed oils: nutritionally improved cooking oils developed using gene silencing. *J. Am. Coll. Nutr.* 205S-211S.

- Liu, S.M., Constable, G.A., Reid, P.E., Stiller, W.N., Cullis, B.R., 2013. The interaction between breeding and crop management in improved cotton yield. *Field Crops Res.* 148, 49-60.
- Llewellyn, D., Tyson, C., Constable, G., Duggan, B., Beale, S., Steel, P., 2007. Containment of regulated genetically modified cotton in the field. *Agric. Ecosyst. Environ.* 121, 419-429.
- Loison, R., Audebert, A., Chopart, J.L., Debaeke, P., Dessauw, D., Gourelot, J.-P., Gozé, E., Jean, J., Gérardaux, E., 2016. Sixty years of breeding in Cameroon improved fibre but not seed cotton yield. *Exp. Agric.* 53, 202-209.
- Lord, E., Heap, S., 1981. The origin and assessment of cotton fibre maturity. International Institute for Cotton Manchester, UK.
- Lorenzini, F., Dileo, P.N., Scarpin, G.J., Winkler, H., Cereijo, A., Muchut, R., Paytas, M., Roeschlin, R.A., 2020a. Fitopatología molecular aplicada al algodón y al mejoramiento genético del cultivo. APPA Septiembre 2020. <http://www.appasantafe.org.ar/edicion-2019-2020>
- Lorenzini, F., Dileo, P.N., Winkler, H., Scarpin, G.J., Muchut, R., Cereijo, A., Paytas, M., Roeschlin, R.A., 2020b. Bacteriosis del algodón. APPA Septiembre 2020. <http://www.appasantafe.org.ar/edicion-2019-2020>
- Lorenzini, F., Winkler, H., Dileo, P.N., Scarpin, G.J., Cracogna, M., Paytas, M., Roeschlin, R.A., 2019. Bacteriosis del algodón. Identificación y aislamiento del agente causal de la Mancha Angular del Algodón en el norte Santafesino. APPA Septiembre 2019. <http://www.appasantafe.org.ar/edicion-2018-2019>
- Luque, S.F., Cirilo, A.G., Otegui, M.E., 2006. Genetic gains in grain yield and related physiological attributes in Argentine maize hybrids. *Field Crops Res.* 95, 383-397.
- Mahadevan, M., Calderini, D.F., Zwer, P.K., Sadras, V.O., 2016. The critical period for yield determination in oat (*Avena sativa* L.). *Field Crops Res.* 199, 109-116.
- Majumdar, A., Majumdar, P.K., Sarkar, B., 2004. Selecting cotton bales by spinning consistency index and micronaire using artificial neural networks. *Autex Res. J.* 4, 1-8.
- Marani, A., Baker, D.N., Reddy, V.R., McKinion, J.M., 1985. Effect of water stress on canopy senescence and carbon exchange rates in cotton. *Crop Sci.* 25, 798-802.
- Masson-Delmotte, V., P., Zhai, A.P., S., L. Connors, C., Péan, S., Berger, N., Caud, Y., Chen, L., Goldfarb, M.I., Gomis, M., Huang, K., Leitzell, E., Lonnoy, J.B., R. Matthews, T.K., Maycock, T., Waterfield, O.Y., 2021. IPCC: Climate Change 2021: The physical science

- basis. contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, en: Cambridge University.
- Mauney, J.R., 1986. Vegetative growth and development of fruiting sites, Cotton Physiology, J.R. Mauney, J. Mc. D. Stewart (Eds.), National Cotton Council, Memphis (1987), pp. 11-28.
- Mauney, J.R., 2016. Anatomy and Morphology of Cultivated Cottons. En Cotton (eds D.D. Fang and R.G. Percy). <https://doi.org/10.2134/agronmonogr57.2013.0020.5>
- McClanahan, S., Frame, W.H., Stewart, R.D., Thomason, W.E., 2020. Cotton yield and lint quality responses to nitrogen rate and placement in the humid southeast. Agron. J. 112, 4276-4286.
- McGregor, S.E., 1976. Insect pollination of cultivated crop plants. Agricultural Research Service, US Department of Agriculture.
- McMichael, B., 1986. Growth of roots, en: Cotton physiology. The Cotton Foundation, pp. 29-38.
- McMichael, B., Oosterhuis, D., Zak, J., 2011. Stress response in cotton root systems. En: Cotton Root Systems, 7<sup>th</sup> Edition, Tennessee, USA. 175 p.
- Meredith, W. R., Jr. 2003. The genetics of quantity and quality. <http://www.cottoninc.com/2003ConferencePresentations/GeneticsOfQuantityAndQuality/GeneticsOfQuantityAndQuality.pdf>
- Meredith Jr, W.R., Boykin, D., Bourland, F., D., C., Campbell, B.T., Gannaway, J.R., Glass, K., Phillips Jones, A., May, L.M., Smith, C.W., Zhang, J.F., 2012. Genotype x environment interactions over seven years for yield, yield components, fiber quality and gossypol traits in the regional high-quality test. J. Cotton Sci. 16, 160-169.
- Meredith, W.R., Heitholt, J., Pettigrew, W., Rayburn, S., 1997. Comparison of obsolete and modern cotton cultivars at two nitrogen levels. Crop Sci. 37, 1453-1457.
- Meredith, W.R., Wells, R., 1989. Potential for increasing cotton yields through enhanced partitioning to reproductive structures. Crop Sci. 29, 636-639.
- Mieres, L., Scarpin, G.J., Paytas, M., 2018. Análisis de suelos en lotes algodoneros, limitantes y potencialidades por regiones. APPA Septiembre 2018. <http://www.appasantafe.org.ar/edicion-2017-2018>
- Mieres, L., Scarpin, G.J., Paytas, M., 2019. Cultivo de servicio y fertilización a la siembra en algodón. APPA Septiembre 2019. <http://www.appasantafe.org.ar/edicion-2018-2019>
- Ministerio de Agricultura, G.y.P., 2020. Estimaciones Agrícolas, <http://datosestimaciones.magyp.gob.ar/reportes.php?reporte=Estimaciones>.

- Miralles, D.J., Slafer, G.A., 1999. Wheat development. Wheat: ecology and physiology of yield determination. (ed. by E.H. Satorre and G.A. Slafer), pp. 123– 140. Food Products Press, New York.
- Moffet, J., 1983. Pollination of entomophilous hybrid seed parents. Jones R.J. Little (Eds) Handbook of Experimental Pollination Biology Van Nostrand Reinhold Co. New York, NY 508–514.
- Mondino, M., Peterlin, O., Bianconi, M., 2006. De la Fuente E., Gil A., Gimenez P.I., Kantolic A.G., López Pereyra M., Ploschuk E.L., Sorlio D.M., Vilariño P., Wassner D.F., Windauer L.B. (eds) Cultivos industriales. Buenos Aires, Editorial Universidad Nacional de Buenos Aires, 762p.
- Mondino, M.H., 2000. Efecto del distanciamiento entre surcos y la densidad de plantas sobre el desarrollo, crecimiento y rendimiento de dos variedades de algodón. Universidad de Mar del Plata, p. 95 pp.
- Monteith, J., 1984. Consistency and convenience in the choice of units for agricultural science. *Exp. Agric.* 20, 105-117.
- Monzon, J.P., La Menza, N.C., Cerrudo, A., Canepa, M., Edreira, J.R., Specht, J., Andrade, F.H., Grassini, P., 2021. Critical period for seed number determination in soybean as determined by crop growth rate, duration, and dry matter accumulation. *Field Crops Res.* 261, 108016.
- Moser, H., Percy, R., 1999. Genetic improvement of yield, yield components, and agronomic characteristics of pima cotton: 1949-1991, Beltwide Cotton Conf. Natl. Cotton Council. Am., Orlando, FL., p. 488.
- Munro, J.M., Farbrother, H.G., 1969. Composite plant diagrams in cotton. *Cotton. Gr. Rev.* 48, 261–282.
- Nickerson, D., Hunter, R.S., Powell, M.G., 1950. New automatic colorimeter for cotton. *J. Opt. Soc. Am.* 40, 446-449.
- Nico, M., Mantese, A.I., Miralles, D.J., Kantolic, A.G., 2016. Soybean fruit development and set at the node level under combined photoperiod and radiation conditions. *J. Exp. Bot.* 67, 365-377.
- Niles, G., 1958. *Cotton. Agron. J.* 50, 32-43.
- Niles, G., Feaster, C., 1984. Breeding. *Cotton. Agronomy Monograph* 24, 201-231.
- OECD, 2019. OECD-FAO agricultural outlook 2019-2028. Organisation for Economic Co-operation and Development OECD.

- Oosterhuis, D.M., 1990. Growth and development of a cotton plant, nitrogen nutrition of cotton: Practical issues, pp. 1-24.
- Oosterhuis, D.M., 1999. Yield response to environmental extremes in cotton. Special Reports- University of Arkansas Agricultural Experiment Station 193, 30-38.
- Pabuayon, ILB, Kelly, BR, McCallister, DM, Coldren, CL, Ritchie, GL. 2021. Cotton boll distribution: a review. *Agron. J.* 113: 956– 970. <https://doi.org/10.1002/agj2.20516>
- Pandey, S.N., Thejappa, N., 1975. Study on relationship between oil, protein, and gossypol in cottonseed kernels. *JAOCS.* 52, 312-315.
- Patterson, D.T., Bunce, J.A., Alberte, R.S., Van Volkenburgh, E., 1977. Photosynthesis in relation to leaf characteristics of cotton from controlled and field environments. *Plant Physiol.* 59, 384-387.
- Paytas, M., Mattalia, P., Marega, N., 2014. Aceites, proteínas y otros componentes en semilla de algodón en función del ambiente y prácticas de manejo agronómico. APPA 14. Septiembre 2014. <http://www.appasantafe.org.ar/edicion-2013-2014>
- Paytas, M., Roeschlin, R., Dileo, P., Scarpin, G.J., 2017. Determinación de Rendimiento y calidad de fibra en diferentes genotipos promisorios de algodón en el Norte de Santa Fe. APPA Septiembre 2017. <http://www.appasantafe.org.ar/edicion-2016-2017>
- Paytas, M., Tarrago, J., 2011. Cotton genotypes performance under rainfed and irrigated conditions in two regions of northern Argentina, World Cotton Research Conference-5, Mumbai, India, 7-11 November 2011. India Publishers, pp. 309-311.
- Paytas, M., Yeates, S.J., Bange, M., 2016. Developing management options for cotton grown in variable solar radiation regions: yield recovery in response to reduced radiation during flowering and cultivar., World Cotton Research Conference 6, Goiania, Brasil.
- Paytas, M.J., 2010. Early water stress on growth, development and yield of high retention cotton, School of Agriculture and Food Sciences. University of Queensland, p. 200.
- Paytas, M.J., Ploschuk, E.L., 2013. Cultivos Industriales. Algodón., en: Cultivos Industriales, UBA. pp. 413-445.
- Pearson, R., Ratliff, L., Taylor, H., 1970. Effect of soil temperature, strength, and pH on Cotton seedling root elongation. *Agron. J.* 62, 243-246.
- Peat, J., Brown, K., 1961. A record of cotton breeding for lake province of Tanganyika-seasons 1939-40 to 1957-58. *J. Exp. Agric. Int.* 29, 119.

- Penman, H.L., 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Proc. Math. Phys. Eng. Sci. 193, 120-145.
- Pereira, M.L., Sadras, V., Trápani, N., 1999a. Genetic improvement of sunflower in Argentina between 1930 and 1995. I. Yield and its components. Field Crops Res. 62, 157-166.
- Pereira, M.L., Trápani, N., Sadras, V., 1999b. Genetic improvement of sunflower in Argentina between 1930 and 1995: II. Phenological development, growth and source–sink relationship. Field Crops Res. 63, 247-254.
- Pereira, M.L., Trapani, N., Sadras, V., 2000. Genetic improvement of sunflower in Argentina between 1930 and 1995: Part III. Dry matter partitioning and grain composition. Field Crops Res. 67, 215-221.
- Peterlin, O., 1994. El uso de grados días para la predicción de la secuencia fenológica del algodón. Revista de Ciencia y Tecnología de la UNSE, 57-70.
- Pettigrew, W., Meredith Jr, W., Zeng, L., 2013. Response of obsolete and modern cotton genotypes to varying plant densities. J. Cotton Sci. 17, 253-262.
- Pettigrew, W.T.J.A.j., 1994. Source-to-sink manipulation effects on cotton lint yield and yield components. 86, 731-735.
- Poisson, J., 2002. Breve historia de la producción de algodón en la Argentina. 79 años de investigación algodонера en el centro de la Provincia del Chaco. 79, 1-8.
- Porter, D.D., 1936. Positions of seeds and motes in locks and lengths of cotton fibers from bolts borne at different positions on plants at Greenville, TX. US Department of Agriculture N. 509.
- PROCALGODON, 2008. Protocolo para la producción y certificación de la fibra de algodón, en: Secretaría de Agricultura, G., Pesca y Alimentos. [https://nanopdf.com/download/protocolo-para-la-produccion-de-fibra-de-algodon\\_pdf](https://nanopdf.com/download/protocolo-para-la-produccion-de-fibra-de-algodon_pdf).
- Radovancich, S., 2021. Ficha técnica NuOpal BGRR, <https://gensus.com.ar/wp-content/uploads/2020/08/NuOpal-RR-4-FICHA-TECNICA-2020-2021.pdf>.
- Ramey Jr, H., 1982. Estimating quality components of natural fibers by near-infrared reflectance: cotton fiber cross-sectional area and specific surface. Text. Res. J. 52, 20-25.
- Raphael, J.P., Ciro, R., Echer, F.R., 2019. Mapeamento da produção no algodoeiro. Embasamentos e realização a campo, Cuibá (MT). pp: 35-68.

- Reddy, V., 1994. Modeling cotton growth and phenology in response to temperature. *Comput. Electron. Agric.* 10, 63-73.
- Ricciardi, A.A., 1984. Mejoramiento de la producción de algodón. recopilación de la información histórica de los avances logrados durante el período 1883-1983. EEA Sáenz Peña. Presidencia Roque Sáenz Peña. Argentina. 9 p.
- Ritchie, G.L., Bednarz, C.W., Jost, P.H., Brown, S.M., 2004. Cotton growth and development. Cooperative Extension Service and The University of Georgia College of Agricultural and Environmental Sciences. <http://www.ugacotton.com/vault/file/UGA-Ext.-Pub.-Cotton-Growth-Development-2004.pdf>.
- Robertson, B., Bednarz, C., Burmester, C., 2007. Growth and development: first 60 days. *C. Phy. T.* 13, 1-5.
- Roche, R., 2007. Physiological determinants of yield and maturity in ultra-narrow row cotton. School of Land, Crop and Food Sciences. University of Queensland, <https://espace.library.uq.edu.au/view/UQ:158775>.
- Roeschlin, R.A., Paytas, M., 2017. Enfermedades que afectan al cultivo de algodón en Argentina. Identificación y estudio de la diversidad del agente causal de la bacteriosis en algodón. APPA Septiembre 2017. <http://www.appasantafe.org.ar/edicion-2016-2017>
- Romina, P., Abeledo, L.G., Miralles, D.J., 2014. Identifying the critical period for waterlogging on yield and its components in wheat and barley. *Plant Soil* 378, 265-277.
- Rosolem, C.A., 2001. Ecofisiologia e manejo da cultura do algodoeiro. *Informações Agronômicas* 95, 1-9.
- Roupakias, D.G., Mavromatis, A.G., 2010. Cotton breeding in 21st century, *Cotton: technology for the 21st century*. ICAC.
- Royo, O.M., Poisson, J., Bonacic, I., Montenegro, A., Ibaló, S., Mazza, S., Giménez, L., 2007. Direction of cotton breeding in Argentina, *Plant Breeding and Genetics World Cotton Research Conference-4*, Lubbock, Texas, USA.
- RStudio, 2020. RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA
- Ruan, Y.L., 2005. Recent advances in understanding cotton fibre and seed development. *Seed Sci. Res.* 15, 269-280.

- Ruan, Y.-L., Xu, S.-M., White, R., Furbank, R.T., 2004. Genotypic and developmental evidence for the role of plasmodesmatal regulation in cotton fiber elongation mediated by callose turnover. *Plant Physiol.* 136, 4104-4113.
- Sadras, V., 1995. Compensatory growth in cotton after loss of reproductive organs. *Field Crops Res.* 40, 1-18.
- Sadras, V.O., Bange, M.P., Milroy, S.P., 1997. Reproductive allocation of cotton in response to plant and environmental factors. *Ann. Bot.* 80, 75-81.
- Sasser, P.E., Shane, J.L., 1996. Crop quality, a decade of improvement, en: *Belwide Cotton Conf.*, Memphis, Tenn.
- Sawan, Z.M., Hafez, S.A., Basyony, A.E., Alkassas, A.R., 2006. Cottonseed, protein, oil yields and oil properties as affected by nitrogen fertilization and foliar application of potassium and a plant growth retardant. *World J. Agric. Sci* 2, 56-65.
- Scarpin, G.J., Colombo, F., Ahumada, C., Bianchi, E., Paytas, M., 2017a. Stripper harvesting methods and varieties for narrow row cotton systems: effects on fiber quality, 11° Congreso Brasileño del Algodón, Maceio, Brasil.
- Scarpin, G.J., Dileo, P.N., Longhi, T., Ahumada, C., Roeschlin, R.A., Paytas, M., 2017b. ¿Qué ocurre si no cosechamos en el momento óptimo? Efectos del ambiente sobre los parámetros de calidad de fibra en diferentes variedades de algodón. APPA. Septiembre 2017. <http://www.appasantafe.org.ar/edicion-2016-2017>
- Scarpin, G.J., Dileo, P.N., Winkler, H., Paytas, M., 2020a. Cierre de la campaña algodонера en el norte de Santa Fe: balances y recomendaciones, en: <https://inta.gob.ar/documentos/cierre-de-la-campana-algodonera-en-el-norte-de-santa-fe-balances-y-recomendaciones>.
- Scarpin, G.J., Dileo, P.N., Winkler, H., Lorenzini, F., Paytas, M., 2020b. Variedades nuevas en Argentina: Evaluación en dos fechas de siembra. APPA Septiembre 2020. <http://www.appasantafe.org.ar/edicion-2019-2020>
- Scarpin, G.J., Dileo, P.N., Winkler, H., Paytas, M., Fernandes, I., Senna, R., Cordeiro, C.F., Troncoso, C., Lorenzini, F., 2019a. Caracterización morfológica y productiva de líneas de algodón. APPA Septiembre 2019. <http://www.appasantafe.org.ar/edicion-2018-2019>
- Scarpin, G.J., Dileo, P.N., Winkler, H., Paytas, M., Longhi, T., 2019b. Evaluación de variedades comerciales y pre-comerciales. APPA Septiembre 2019. <http://www.appasantafe.org.ar/edicion-2018-2019>

- Scarpin, G.J., Winkler, H., Dileo, P.N., Roeschlin, R.A., Paytas, M., 2018a. Curso de productores INTA - APPA. APPA Septiembre 2018. <http://www.appasantafe.org.ar/edicion-2017-2018>
- Scarpin, G.J., Agretti, S.J., Rodriguez, L., Sartor, S., Longhi, T.S., Ahumada, C., Paytas, M., 2016. Influencia del ambiente y el tipo de cabezal de cosecha en los parámetros de calidad de fibra, pérdidas de cosecha y rendimiento. APPA. Septiembre 2016. <http://www.appasantafe.org.ar/edicion-2015-2016>
- Scarpin, G.J., Dileo, P.N., Winkler, H., Paytas, M.J., Roeschlin, R.A., 2018b. Evaluación de genotipos avanzados en el Domo Oriental de la provincia de Santa Fe. EEA Reconquista, [https://inta.gob.ar/sites/default/files/revista\\_voces\\_y\\_ecos\\_no39\\_10\\_evaluacion\\_de\\_genotipos\\_avanzados\\_en\\_el\\_domo\\_oriental\\_de\\_la\\_provincia\\_de\\_santa\\_fe.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/revista_voces_y_ecos_no39_10_evaluacion_de_genotipos_avanzados_en_el_domo_oriental_de_la_provincia_de_santa_fe.pdf).
- Scarpin, G.J., Paytas, M.J., 2017. Respuesta de rendimiento y calidad de fibra del algodón al estrés por anegamiento, en: Voces y Ecos. Edición 39. EEA Reconquista.
- Schwartz, B.M., Smith, C.W., 2008. Genetic gain in yield potential of upland cotton under varying plant densities. *Crop Sci.* 48, 601-605.
- Seelanan, T., Schnabel, A., Wendel, J.F., 1997. Congruence and consensus in the cotton tribe (*Malvaceae*). *Syst. Bot.*, 259-290.
- Sekhar, S.C., Rao, B., 2011. Cottonseed oil as health oil. *Pertanika J. Trop. Agric. Sci* 34, 17-24.
- Shorter, R., Lawn, R.J., Hammer, G.L., 1991. Improving genotypic adaptation in crops—a role for breeders, physiologists and modellers. *Exp. Agric.* 27, 155-175.
- Singh, B., Avci, U., Inwood, S.E.E., Grimson, M.J., Landgraf, J., Mohnen, D., Sørensen, I., Wilkerson, C.G., Willats, W.G., Haigler, C.H., 2009. A specialized outer layer of the primary cell wall joins elongating cotton fibers into tissue-like bundles. *Plant Physiol.* 150, 684-699.
- Singh, P., Narayanan, S., 1991. Seed oil improvement in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) through pedigree selection. *Indian J. Agric. Sci* 61, 43-44.
- Slafer, G.A., Andrade, F.H., 1989. Genetic improvement in bread wheat (*Triticum aestivum*) yield in Argentina. *Field Crops Res.* 21, 289-296.
- Smith, C., 1995. Cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Crop production: evolution, history, technology.* John Wiley Sons, Inc., New York, p. 349.
- Smith, C.W., Coyle, G.G., 1997. Association of fiber quality parameters and within-boll yield components in upland cotton. *Cytol. Genet.* 37, crops1997.0011183X003700060019x.

- Snider, J.L., Collins, G.D., Whitaker, J., Chapman, K.D., Horn, P., 2016. The impact of seed size and chemical composition on seedling vigor, yield, and fiber quality of cotton in five production environments. *Field Crops Res.* 193, 186-195.
- Snider, J.L., Collins, G.D., Whitaker, J., Davis, J.W., 2013. Quantifying genotypic and environmental contributions to yield and fiber quality in Georgia: data from seven commercial cultivars and 33 yield environments. *J. Cotton Sci.* 17, 285-292.
- Sobko, O., Stahl, A., Hahn, V., Zikeli, S., Claupein, W., Gruber, S., 2020. Environmental Effects on Soybean (*Glycine Max* L.) Production in Central and South Germany. *Agronomy* 10, 1847.
- Song, W., Yang, R., Wu, T., Wu, C., Sun, S., Zhang, S., Jiang, B., Tian, S., Liu, X., Han, T., 2016. Analyzing the effects of climate factors on soybean protein, oil contents, and composition by extensive and high-density sampling in China. *J. Agric. Food Chem.* 64, 4121-4130.
- Stansbury, M.F., Pons, W.A., Den Hartog, G., 1956. Relations between oil, nitrogen, and gossypol in cottonseed kernels. *JAOCS.* 33, 282-286.
- Stewart, J.M., 1975. Fiber initiation on the cotton ovule (*Gossypium hirsutum* L.). *Am. J. Bot.* 62, 723-730.
- Stewart, J.M., Kerr, T., 1974. Relationship between fiber-length increase and seed-volume increase in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Crop Sci.* 14, 118-120.
- Stiff, M.R., Haigler, C.H., 2012. Recent advances in cotton fiber development. Flowering fruiting in cotton, The Cotton Foundation, pp. 163-192.
- Straumal, B., 1981. Breeding cotton for oil content. *Khlopkovodstvo.* N.1: 28-29.
- Sunilkumar, G., Campbell, L.M., Puckhaber, L., Stipanovic, R.D., Rathore, K.S., 2006. Engineering cottonseed for use in human nutrition by tissue-specific reduction of toxic gossypol. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 103, 18054-18059.
- Taiz, L., 1984. Plant cell expansion: regulation of cell wall mechanical properties. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 35, 585-657.
- Tanda, A., 1984. Bee pollination increases yield of 2 interplanted varieties of Asiatic cotton (*Gossypium arboreum* L.). *Am. Bee J.* 124(7): 539-540.
- Tang, F., Xiao, W., 2013. Genetic effects and heterosis of within-boll yield components in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Euphytica* 194, 41-51.
- Tarrago, J.R., Colli, S.L., Nadal, N.J., Gimenez, L., 2019. Efecto de diferentes tipos de cosecha sobre la calidad tecnológica de la fibra de algodón en cultivos de alta densidad. *RIA* 2, 225-233.

- Taylor, H.M., Gardner, H.R., 1963. Penetration of cotton seedling taproots as influenced by bulk density, moisture content, and strength of soil. *Soil Sci.* 96, 153-156.
- Taylor, H.M., Klepper, B., 1974. Water uptake by cotton root systems: an examination of assumptions in the single root model. Battelle Pacific Northwest Labs., Richland, Washington (USA).
- Taylor, H.M., Ratliff, L.F., 1969. Root elongation rates of cotton and peanuts as a function of soil strength and soil water content. *Soil Sci.* 108, 113-119.
- Tcach, N., Paytas, M., 2020. Incidencia de altas temperaturas durante el reproductivo sobre el rendimiento de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) cultivado en diferentes distanciamientos entre surco. *RIA* 46, 56-65.
- Ter-Avanesian, D., 1978. The effect of varying the number of pollen grains used in fertilization. *Theor. Appl. Genet.* 52, 77-79.
- Tharp, W.H., Skinner, J.J., Turner, J.H., Bledsoe, R., Brown, H.B., 1949. Yield and composition of cottonseed as influenced by fertilization and other environmental factors, en: *Agriculture*, n 14.
- Thibodeaux, D.P., Evans, J.P., 1986. Cotton fiber maturity by image analysis. *Text. Res. J.* 56, 130-139.
- Turner, J.H., Ramey Jr, H.H., Worley Jr, S., 1976. Influence of environment on seed quality of four cotton cultivars. *Crop Sci.* 16, 407-409.
- Wakelyn, P.J., Chaudhry, M.R., 2010. Cotton: technology for the 21st century. ICAC.
- Wells, R., 2016. The use of obsolete and modern cultivars to examine advances in yield and dry matter partitioning. *J. Cotton Sci.* 20, 246-252.
- Wells, R., Meredith, W.R., 1984a. Comparative growth of obsolete and modern cotton cultivars. i. vegetative dry matter partitioning. *Crop Sci.* 24, 858-862.
- Wells, R., Meredith, W.R., 1984b. Comparative growth of obsolete and modern cotton cultivars. ii. reproductive dry matter partitioning. *Crop Sci.* 24, 863-868.
- Wells, R., Meredith, W.R., 1984c. Comparative growth of obsolete and modern cotton cultivars. iii. relationship of yield to observed growth characteristics. *Crop Sci.* 24, 868-872.
- Wells, R., Stewart, A.M., 2010. Morphological alterations in response to management and environment. *Physiology of cotton*. Springer, pp. 24-32.

- Wendel, J.F., Albert, V.A., 1992. Phylogenetics of the cotton genus (*Gossypium*): character-state weighted parsimony analysis of chloroplast-DNA restriction site data and its systematic and biogeographic implications. *Syst. Bot.* 17, 115-143.
- Wendel, J.F., Brubaker, C.L., Seelanan, T., 2010. The origin and evolution of *Gossypium*, Physiology of cotton. Springer, pp. 1-18.
- Williams, A., White, N., Mushtaq, S., Cockfield, G., Power, B., Kouadio, L., 2015. Quantifying the response of cotton production in eastern Australia to climate change. *Clim. Change* 129, 183-196.
- Winkler, H., Cereijo, A., Muchut, R., Dileo, P.N., Scarpin, G.J., Lorenzini, F., Roeschlin, R.A., Paytas, M., 2020. Mutagénesis como técnica en la búsqueda de variabilidad genética. APPA Septiembre 2020. <http://www.appasantafe.org.ar/edicion-2019-2020>
- Winkler, H., Mieres, L., Dileo, P.N., Scarpin, G.J., Paytas, M., Fernandes, I., Senna, R., Cordeiro, C.F., Troncoso, C., Lorenzini, F., 2019. Caracterización de cuatro variedades de algodón frente a condiciones de estrés salino. APPA Septiembre 2019. <http://www.appasantafe.org.ar/edicion-2018-2019>
- Winkler, H.M., Scarpin, G.J., Dileo, P.N., Paytas, M.J., 2018. Fecha de siembra óptima en variedades comerciales de algodón. *Voces y Ecos* n 40. EEA Reconquista.
- Worley, S., Culp, T., Harrell, D., 1974. The relative contributions of yield components to lint yield of upland cotton, *Gossypium hirsutum* L. *Euphytica* 23, 399-403.
- Xu, Y.Z., Xu, X., Zhao, D.L., Li, Z.D., 1993. The effect of soil on the development of cotton seeds. *Agric. Res. Arid Areas.* 11, 48-53.
- Yang, Y., Chen, M., Tian, J., Xiao, F., Xu, S., Zuo, W., Zhang, W., 2018. Improved photosynthetic capacity during the mid-and late reproductive stages contributed to increased cotton yield across four breeding eras in Xinjiang, China. *Field Crops Res.* 240, 177-184.
- Yasuor, H., Riov, J., Rubin, B., 2007. Glyphosate-induced male sterility in glyphosate-resistant cotton (*Gossypium hirsutum* L.) is associated with inhibition of anther dehiscence and reduced pollen viability. *Crop Protect.* 26, 363-369.
- Zeng, L., Wu, J., Bourland, F.M., Campbell, B.T., Dever, J.K., Hague, S., Myers, G.O., Raper, T.B., Smith, W., Zhang, J., 2021. Comparative study of transgenic and nontransgenic cotton. *Crop Sci.* 61: 2467– 2477. <https://doi.org/10.1002/csc2.20522>.

- Zhang, J., Abdelraheem, A., Flynn, R., 2019. Genetic gains of Acala 1517 cotton since 1926. *Crop Sci.* 59, 1052-1061.
- Zhang, J.F., Lu, Y., Adragna, H., Hughs, E., 2005. Genetic improvement of New Mexico Acala cotton germplasm and their genetic diversity. *Crop Sci.* 45, 2363-2373.
- Zhao, T., Deng, X., Xiao, Q., Han, Y., Zhu, S., Chen, J., 2020. IAA priming improves the germination and seedling growth in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) via regulating the endogenous phytohormones and enhancing the sucrose metabolism. *Ind Crops Prod.* 155, 112788.
- Zhu, L., Zhou, Z., Zhao, W., Meng, Y., Chen, B., 2010. Effects of plant densities on cottonseed biomass, fat and protein contents. *Acta Agro S.* 36, 2162-2169.
- Zorzón, C., 2020. El Algodón en la Provincia de Santa Fe. Análisis Productivo, Campaña 2019 / 2020. APPA Septiembre 2020. <http://www.appasantafe.org.ar/edicion-2019-2020>
- Zuil, S., 2011. Comportamiento de soja en tres campañas contrastantes en el norte de Santa Fe, Quinto Congreso de Soja del Mercosur/Primer Foro de la Soja ASIA–Mercosur.
- Zuil, S.G., Izquierdo, N.G., Luján, J., Cantarero, M., Aguirrezábal, L.A.N., 2012. Oil quality of maize and soybean genotypes with increased oleic acid percentage as affected by intercepted solar radiation and temperature. *Field Crops Res.* 127, 203-214.

# MATERIAL SUPLEMENTARIO

**Tabla suplementaria 1.** Listado cronológico de las principales variedades de algodón obtenidas en el país durante el periodo 1924 – 2000. Adaptado de Poisson (2002). Además, se añadió información provista por Tcach (2020), comunicación personal. Referencias: (1) Resistente a “fusariosis” - (2) Resistente a “fusariosis” y “bacteriosis” - (3) Resistente a “bacteriosis” – (4) *G. hirsutum* – *G. arboreum* – *G. raimondii* - (5) Inmunes a “bacteriosis” y “enfermedad azul”.

Organismo	Año	Estación Experimental	Variedad	Origen
DIVISIÓN DE PRODUCCIÓN ALGODONERA DEL M.A.G	1924	Sáenz Peña	TIPO CHACO (Mejorado)	Selección sobre una población derivada de cruzamiento a campo y mezclas en desmotadora de var. De EEUU.
JUNTA NACIONAL DEL ALGODÓN	1935	Sáenz Peña	Sáenz Peña 4 Sáenz Peña 310	Selec. en Stoneville 5A Selec. en Stoneville 5A.
	1943	La Banda	J. Brebbia 914 La Banda 012	Selec. en Acala Dwarf Selec. en Stoneville 5
DIRECCIÓN DE ALGODÓN	1944/46	Sáenz Peña	Sáenz Peña 61 Sáenz Peña 85	Selec. En Stoneville 5 A Selec. En Stoneville 5 A
		El Colorado	El Colorado 2 R	Selec en Deltapine 15
		Las Breñas	Las Breñas 92	Selec. En Coker 100
			Las Breñas 16	Selec. En Stoneville 5 A
			Las Breñas 342	Selec. En Deltapine 11 A
		Col. Benítez	Mascias 017	Selec. En Stoneville 2 B
		La Banda	J. Brebbia 814	Selec. En Acala Dwarf
			J. Brebbia 830 J. Brebbia 83 (1)	“ “ “ “ “ “ “ “
Catamarca	Catamarca 321	Selec. en Coker Wilds.		
Salta	Guemes 82 – 4	Selec en Coker Wilds.		
	1958	Sáenz Peña	SAENZ PEÑA M58 (1)	Sel. Coker 100 W5
	1959	La Banda	LA BANDA 56	Deltap. X Stonev. En EE.UU.
	1966	Sáenz peña	SP TOBA I	SP 85 x Fox
	1967	“ “	SP GUAYCURU (1)	Sel. En SP M 58
	1969	“ “	SP TOBA II	Sel. En SP TOBA I
	1975	“ “	MOCOVI (2)	Cruzamiento complejo

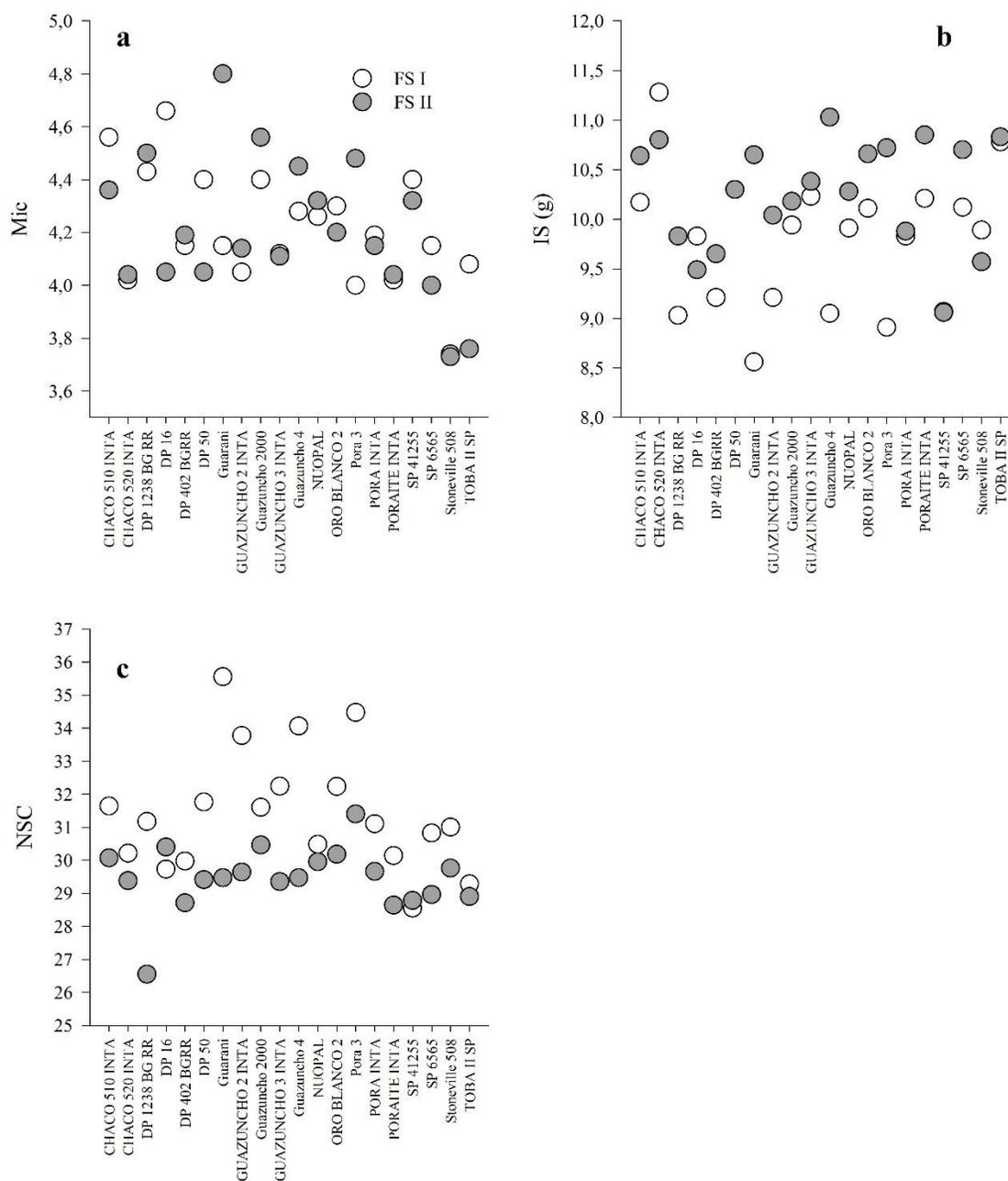
INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA (INTA)	1975	La Banda	QUICHUA	(Ac-1517 x LB 456) x J.BREBBIA 830
	1980	Sáenz Peña	CHACO 510	BGH 181-5 x SP 5425
	1981	La Banda	LA BANDA 200	(Ac 1517 x SP Toba II) x SP 65-1
	1982	Sáenz Peña	QUEBRACHO (3)	Chaco 510 x Reba P 279
			GUAZUNCHO (5) PORÁ (5)	Chaco 510 x Reba B-50 Chaco 510 x Reba P 279
	1983	Sáenz Peña	MATACO (2) (5)	(SP 3313 x BTK12) x SP TOBA II
	1989	Sáenz Peña	GUAZUNCHO 2 (5)	Guazuncho x SP 8535
			GRINGO (5)	SP 86 x Deltapine 41
	1994	Sáenz Peña	CHACO 520 (5)	SP 2473-2 x SP-RCH 1003
			CACIQUE (1) (5)	Mataco x Guazuncho
	1999	Sáenz Peña	OROBLANCO (5)	SP 2473-A (Guaz. x SP 8535) x "Siokra"
	2003	Sáenz Peña	Chaco 530 (5)	SP 8334-5 X SP 8126
	2004	Sáenz Peña	Guazuncho 3 (5)	SP 97898 SN X SP 8334-5
			La Banda 300 (5)	SP 2473-50 X Guazuncho 2
Oro Blanco 2 (5)			SP 8334-5 X SP 97806 HO	
2009	Sáenz Peña	Gualok (5)	Reba L 100 x 2473-2	
		Poráite (5)	SP 97898 SN X SP 8334-5	
2019	Sáenz Peña	Guazuncho 4 (5)	Guazuncho 2000 x DP 404 BG RRxSP 41277	
		Guaraní (5)	Guazuncho 2000 x DP 404 BG RRxSP 8270	
			Porá 3 (5)	Guazuncho 2000 x DP 404 BG RRxSP 6565

**Tabla suplementaria 2.** Composición acídica en porcentaje (%) de los distintos genotipos utilizados según sea la 1er (C1) o 2da (C2) campaña y fecha de siembra temprana (FS I) o tardía (FS II).

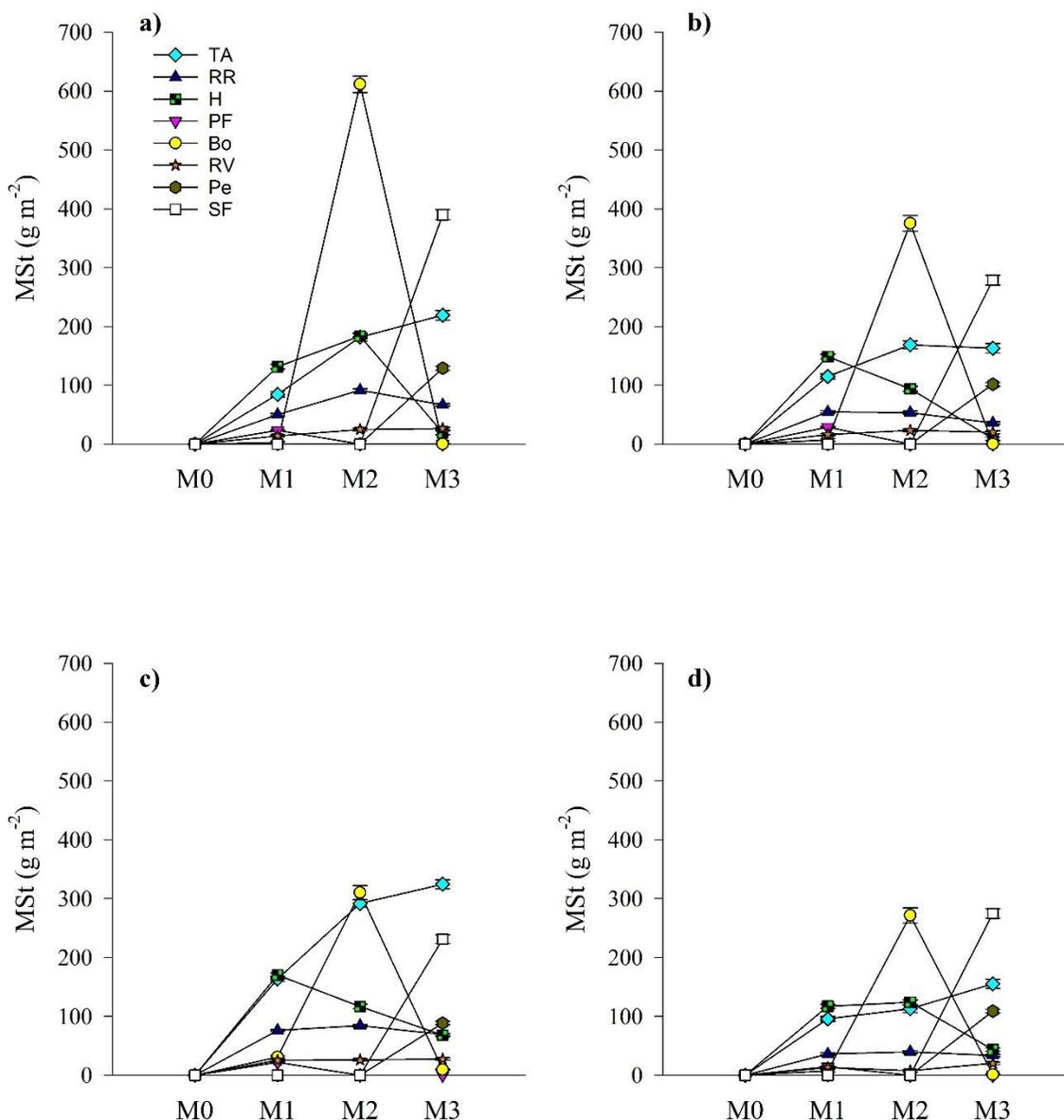
Genotipo	Campaña	FS	14:0 mirístico	16:0 palmítico	17:0 margárico	18:0 esteárico	18:1 oleico	18:2 linoleico	18:3 linolénico	Total Sat.	Total Insat.
Chaco 510	C1	FSI	0,9	26,1	0,1	3,0	17,3	51,1	0,1	30,7	69,3
		FSII	1,0	26,9	0,1	3,0	17,8	49,7	0,2	31,6	68,4
	C2	FSI	0,9	26,5	0,1	3,0	18,1	49,9	0,1	31,1	68,9
		FSII	0,7	24,4	0,1	2,8	16,7	53,9	0,2	28,5	71,5
Chaco 520	C1	FSI	0,8	25,2	0,1	2,9	17,9	51,6	0,1	29,6	70,4
		FSII	0,7	26,7	0,1	2,8	18,4	49,7	0,2	30,9	69,1
	C2	FSI	0,8	25,8	0,1	3,0	18,4	50,3	0,2	30,3	69,7
		FSII	0,6	23,3	0,1	2,7	16,6	55,2	0,2	27,3	72,8
Deltapine 1238	C1	FSI	0,6	24,3	0,1	3,3	15,7	54,6	0,2	28,9	71,1
		FSII	0,7	23,9	0,1	3,2	16,8	53,9	0,2	28,5	71,5
	C2	FSI	0,7	23,9	0,1	3,3	18,2	52,4	0,2	28,6	71,4
		FSII	0,6	22,5	0,1	2,7	16,2	56,6	0,2	26,3	73,7
Deltapine 16	C1	FSI	1,0	26,9	0,1	3,0	16,8	50,8	0,1	31,5	68,5
		FSII	0,8	26,7	0,1	3,1	17,2	50,6	0,2	31,3	68,7
	C2	FSI	0,9	26,3	0,1	3,0	17,7	50,5	0,2	30,9	69,2
		FSII	0,5	23,7	0,1	2,8	16,1	55,4	0,2	27,6	72,4
Deltapine 402	C1	FSI	0,8	25,0	0,1	3,1	17,9	51,6	0,1	29,6	70,4
		FSII	0,8	26,2	0,1	3,1	17,7	50,5	0,1	30,9	69,1
	C2	FSI	0,9	26,0	0,1	3,1	19,0	49,4	0,2	30,7	69,3
		FSII	0,5	23,6	0,1	2,8	15,9	55,7	0,2	27,5	72,5
Deltapine 50	C1	FSI	0,7	25,8	0,1	2,9	17,2	51,7	0,2	30,1	70,0
		FSII	0,9	26,8	0,1	2,9	17,3	50,4	0,2	31,3	68,7
	C2	FSI	0,9	26,0	0,1	2,9	18,1	50,5	0,2	30,5	69,5
		FSII	0,7	22,8	0,1	2,6	16,1	56,3	0,2	26,6	73,4
	C1	FSI	0,7	24,9	0,1	2,9	17,9	52,1	0,2	29,1	70,9

Guazuncho 2	C2	FSII	0,9	26,1	0,1	3,0	17,9	50,5	0,1	30,7	69,3
		FSI	0,8	25,4	0,1	3,0	18,8	50,3	0,2	30,0	70,0
		FSII	0,5	23,2	0,1	2,7	17,0	55,0	0,2	27,1	72,9
Guazuncho 2000	C1	FSI	0,6	26,9	0,1	3,0	17,3	50,6	0,2	31,1	68,9
		FSII	1,0	26,9	0,1	2,9	17,8	49,8	0,1	31,5	68,5
	C2	FSI	0,7	26,0	0,1	3,1	17,3	51,5	0,2	30,4	69,6
		FSII	0,7	23,6	0,1	2,8	16,5	54,9	0,2	27,7	72,3
Guazuncho 3	C1	FSI	0,9	26,3	0,1	3,0	17,3	50,9	0,1	30,9	69,1
		FSII	0,9	26,2	0,1	3,0	18,0	50,4	0,1	30,7	69,2
	C2	FSI	0,9	26,2	0,1	3,0	19,0	48,9	0,2	30,8	68,9
		FSII	0,5	24,2	0,1	2,7	17,4	53,7	0,2	28,0	72,0
NuOpal	C1	FSI	0,9	26,1	0,1	3,1	17,2	51,2	0,1	30,7	69,2
		FSII	0,8	26,9	0,1	3,1	17,4	50,3	0,1	31,4	68,6
	C2	FSI	0,9	25,6	0,1	3,2	19,2	49,4	0,2	30,5	69,6
		FSII	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Oro Blanco 2	C1	FSI	1,0	26,5	0,1	2,8	18,0	49,8	0,2	31,1	68,9
		FSII	0,9	26,7	0,1	2,9	18,6	49,2	0,2	31,1	68,9
	C2	FSI	1,0	27,1	0,1	2,9	19,3	48,1	0,1	31,6	68,4
		FSII	0,6	24,0	0,1	2,7	17,5	53,6	0,2	27,9	72,1
Porá	C1	FSI	0,9	26,6	0,1	2,9	16,1	51,9	0,1	31,0	69,0
		FSII	1,0	27,1	0,1	2,8	16,5	51,0	0,2	31,6	68,5
	C2	FSI	1,0	26,8	0,1	2,9	18,0	49,8	0,2	31,3	68,7
		FSII	0,8	24,1	0,1	2,8	15,9	54,9	0,2	28,2	71,8
Poraité	C1	FSI	0,5	26,2	0,1	3,0	18,0	50,7	0,1	30,3	69,7
		FSII	0,7	27,2	0,1	2,9	18,3	49,2	0,2	31,6	68,5
	C2	FSI	0,9	27,4	0,1	2,9	18,6	48,5	0,2	32,0	68,1
		FSII	0,6	23,7	0,1	2,8	18,7	52,6	0,2	27,8	72,2
SP 41255	C1	FSI	0,8	25,5	0,1	3,0	17,7	51,3	0,2	30,0	70,0
		FSII	1,0	27,3	0,1	2,9	17,8	49,4	0,1	31,9	68,1

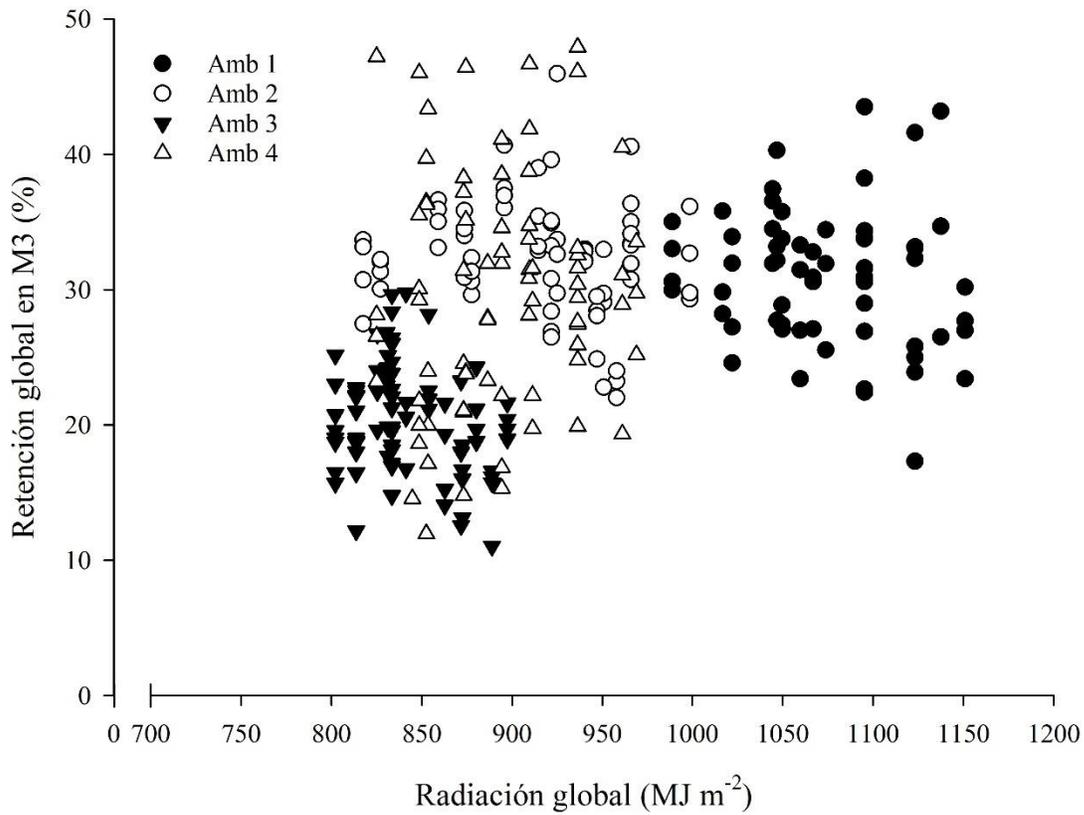
	C2	FSI	0,8	26,6	0,1	2,9	18,2	49,8	0,2	31,0	69,1
		FSII	0,6	23,4	0,1	2,7	16,6	55,2	0,2	27,4	72,6
SP 6565	C1	FSI	0,8	26,6	0,1	2,8	15,9	52,2	0,2	31,0	69,0
		FSII	0,9	26,5	0,1	2,9	16,9	51,1	0,2	31,1	68,9
	C2	FSI	0,8	25,8	0,1	3,0	17,5	51,3	0,2	30,4	69,7
		FSII	0,6	23,9	0,1	2,5	16,1	55,4	0,2	27,6	72,4
Stonville 508	C1	FSI	0,7	22,8	0,1	2,8	18,9	53,1	0,1	26,9	73,0
		FSII	0,7	22,0	0,1	2,9	19,4	53,3	0,2	26,2	73,8
	C2	FSI	0,7	23,5	0,1	2,9	19,2	51,9	0,2	27,8	72,2
		FSII	0,6	20,7	0,1	2,4	16,3	58,6	0,2	24,2	75,8
Toba II	C1	FSI	0,6	22,8	0,1	3,0	18,7	53,3	0,2	27,0	73,0
		FSII	0,8	23,4	0,1	3,0	18,8	52,3	0,2	27,8	72,2
	C2	FSI	0,8	24,1	0,1	3,0	19,3	51,2	0,2	28,5	71,5
		FSII	0,7	22,2	0,1	2,6	16,5	56,5	0,2	26,1	74,0
	Prom		0,8	25,2	0,1	2,9	17,6	51,9	0,2	29,6	70,4
	Min		0,5	20,7	0,1	2,4	15,7	48,1	0,1	24,2	68,1
	Max		1,0	27,4	0,1	3,3	19,4	58,6	0,2	32,0	75,8



**Figura suplementaria 1.** Valores registrados promedios para ambas campañas según fecha de siembra para las variables: a) Micronaire, b) índice de semilla (IS) en gramos y c) número de semillas cápsula<sup>-1</sup> (NSC) para fecha de siembra temprana (FS I – círculos blancos) y fecha de siembra tardía (FS II – círculos grises).



**Figura suplementaria 2.** Materia seca total (MSt) promedio para todos los cultivares en los diferentes momentos de muestreo. M1: 50 días desde emergencia (DDE). M2: 100 DDE. M3: 150 DDE para la materia seca particionada según órgano: tallo (Ta-rombos celestes), rama reproductiva y peciolos (RR – triángulos azules), hojas (H – cuadrados negros y verdes), rama vegetativa (RV – estrellas naranjas), pimpollos y flores (PF – triángulos invertidos fucsias), bochas cerradas (Bo – círculos amarillos), perilla (Pe – hexágonos marrones) y semilla y fibra (SF – cuadrados blancos) para los 4 ambientes estudiados. a) A1: fecha de siembra temprana en campaña 2017/18; b) A2: fecha de siembra tardía en campaña 2017/18; c) A3: fecha de siembra temprana en campaña 2018/19 y d) A4: fecha de siembra tardía en campaña 2018/19. Barras verticales indican error estándar.



**Figura suplementaria 3.** Relación entre la radiación global recibida durante el periodo crítico (PeC) de las variedades y la retención global en el momento final de muestreo, 150 días desde la emergencia para los cuatro ambientes explorados. Círculos representan los datos de la primera campaña (C1) y triángulos representan los datos de la segunda campaña de ensayos (C2). Por su parte, los símbolos rellenos de negro son las fechas de siembra tempranas (FSI), mientras que, los símbolos blancos son fechas de siembra tardías (FSII).



**Figura suplementaria 4.** Fotografías tomadas durante el experimento.