

Universidad Nacional del Nordeste

Facultad de Ciencias Agrarias

Caracterización morfológica, fisiológica y molecular de entradas de algodón (*Gossypium*
hirsutum L.) e identificación de QTL de importancia agronómica

Ing. Agr. Pablo Nahuel Dileo

Doctorado en Recursos Naturales

Versión 1.3

Aprobado por Director y Co-Director de Tesis

Director

Dr. Gustavo Rubén Rodríguez

Co-Director

Dr. Marcelo Javier Paytas

Agradecimientos

Agradecimientos aquí..

Dedicatoria

Dedicatoria aquí..

Publicaciones

Lista de publicaciones a congresos y revistas aquí..

Índice General

Introducción	1
 Capítulo 1: Caracterización de entradas de algodón (<i>Gossypium hirsutum</i> L.) del banco de germoplasma de INTA mediante caracteres morfo-fisiológicos	 4
1.1. Introducción	4
1.2. Objetivos	4
1.3. Materiales y métodos	5
1.3.1. Caracterización morfológica de 26 entradas de algodón (<i>Gossypium hirsutum</i> L.)	5
1.3.2. Caracterización de ocho entradas seleccionadas de algodón (<i>Gossypium hirsutum</i> L.)	8
1.3.3. Análisis estadístico	9
1.4. Resultados	10
1.4.1. Caracterización morfológica de 26 entradas de algodón (<i>Gossypium hirsutum</i> L.)	10
1.4.2. Caracterización de ocho entradas seleccionadas de algodón (<i>Gossypium hirsutum</i> L.)	14

1.5. Discusión	19
1.6. Conclusión	19
Capítulo 2: Identificación de QTL de importancia agronómica	20
2.1. Introducción	20
2.2. Objetivo	20
2.3. Materiales y métodos	20
2.3.1. Análisis estadístico	23
2.4. Resultados	25
2.4.1. Generación de variabilidad a partir del cruce biparental BGSP- 00166 x SP-41255	26
2.5. Discusión	26
2.6. Conclusión	27
Capítulo 3: Si es necesario un tercer capítulo	28
3.1. Introducción	28
3.2. Objetivo	28
3.3. Materiales y métodos	28
3.4. Discusión	28
3.5. Conclusión	28
Conclusión	30
Apéndice A: Primer Apéndice	31

Apéndice B: Segundo Apéndice	32
Referencias	33

Lista de Abreviaturas

A1RR	Altura a primer rama reproductiva
AP	Altura de planta
D1P	Distancia de la primera posición al tallo principal
IF	Índice de fibra
IS	Índice de semillas
IU	Índice de uniformidad de fibras
Mic	Micronaire
N1RR	Nudos a primer rama reproductiva
NC	Número de capullos
NN	Número de nudos
NRR	Número de ramas reproductivas
NRV	Número de ramas vegetativas
NSC	Numero de semillas por capullo
PC	Peso promedio de capullos
RB	Rendimiento de algodón bruto
RF	Rendimiento de fibra
RFD	Rendimiento de fibra al desmote
Str	Resistencia de las fibras
UHML	Longitud de las fibras
zContinua...	Otras abreviaturas

Resumen

Primer párrafo del resumen en español.

Segundo párrafo del resumen aquí.

Abstract

Primer párrafo del resumen en inglés.

Segundo párrafo del resumen aquí.

Índice de Tablas

1.1. Entradas de <i>Gossypium hirsutum</i> L. y su procedencia	5
1.2. Descriptores	11
1.3. Datos conjuntos...	13
1.4. Valores medios, error estándar (entre paréntesis) y prueba L.S.D. (diferencia mínima significativa) de Fisher para rendimiento de fibra, sus componentes y calidad.	14
1.5. Correlación de Spearman entre los rasgos evaluados en el germoplasma de colección	18
2.1. Mean and variance (in parentheses) of the traits in the non-segregating generations (BGSP-00166, SP-41255 and F1) and the segregating generation F2	26

Índice de Figuras

1.1.	Biplot del análisis de componentes principales con puntos que representan las proyecciones de las accesiones (1) y las variables (2) en el espacio definido por las dos primeras dimensiones (Dim) o componentes principales. RB: Rendimiento de algodón bruto en g; RF: Rendimiento de fibra en g; RFD: Rendimiento de fibra al desmote en %; PC: Peso promedio de capullos en g; NC: Número de capullos; IS: Índice de semillas en g; IF: Índice de fibra en g; NSC: Numero de semillas por capullo. UHML: Longitud promedio de fibra de la mitad superior en mm; Str: Resistencia de las fibras g tex^{-1} ; Mic: Micronaire; IU: Índice de uniformidad de fibras en %. 17	
2.1.	Descripción del ensayo de campo, mostrando las dos poblaciones generadas a partir del cruce en la dirección SP-41255 x BGSP-00166 y su recíproco. En el ensayo se distribuyeron al azar plantas del parental SP-41255 (1), Filial 1 (2) y del parental BGSP-00166 (3). 23	
2.2.	Planta de los genotipos parentales SP-41255 y BGSP-00166 25	

Introducción

El algodón (*Gossypium hirsutum* L.) se cultiva en más de 80 países y desempeña un papel crucial en la producción textil como fuente de fibra. Argentina es el segundo productor de algodón de América Latina después de Brasil y desempeña un papel clave en los sistemas productivos de la región noreste del país. La producción de fibra cubre la demanda interna a la vez que facilita la exportación a países como Vietnam, Pakistán, Turquía, China, Indonesia, Colombia e India (ICAC, 2023; Paytas & Ploschuk, 2013). Se han desarrollado nuevas variedades y sistemas de producción para adaptarse a diversas condiciones medioambientales. En Argentina, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) cuenta con un programa de mejora genética del algodón que utiliza el germoplasma disponible para desarrollar variedades que mejoren el rendimiento y la calidad de la fibra. El programa ha logrado aumentar tanto el rendimiento como la calidad de la fibra y también ha incorporado la resistencia genética a enfermedades importantes como mancha angular, enfermedad azul y marchitez por fusarium, en numerosas variedades (Royo et al., 2007; Scarpin et al., 2022; Scarpin et al., 2023).

Recientemente, Scarpin et al. (2022) informaron de un progreso genético en el rendimiento de fibra, el porcentaje de desmote, el rendimiento de algodón bruto y el número de cápsulas (NC), mostrando una tasa media de crecimiento anual de 3,24 kg ha⁻¹, 0,05 %, 4,86 kg ha⁻¹ y 0,12 NC, respectivamente. Como resultado, las variedades más recientemente tienen un mayor rendimiento de fibra, porcentaje de desmote, rendimiento de algodón bruto y número de cápsulas que las variedades más antiguas. Estos resultados

indican que el programa de mejoramiento genético del algodón en Argentina han logrado un progreso genético sustancial para el rendimiento de fibra y sus componentes. Además, Scarpin et al. (2023) enfatizaron que este progreso no resultó en una disminución de la calidad del algodón. Sin embargo, se necesita más investigación para mejorar el rendimiento de fibra, la calidad de la fibra y la adaptabilidad a diferentes ambientes. En la provincia de Santa Fe (Argentina), el cultivo de algodón se concentra en los departamentos de 9 de Julio, Vera y General Obligado, cada uno de los cuales presenta disparidades distintivas en cuanto a la composición del suelo y las condiciones ambientales. El tipo de clima en el norte de la provincia es subtropical según la clasificación climática de Köppen, con una estación seca en la región noroeste y sin estación seca en la región noreste de la provincia (ANIDA, 2024). Debido a estas diferencias, es esencial desarrollar genotipos para estas diferentes condiciones para avanzar en la mejora de los cultivos. Además, se necesitan esfuerzos adicionales para identificar genes o QTLs asociados con rasgos agronómicos y de calidad de fibra en variedades de algodón en Argentina a través de métodos de mapeo genético.

En un programa de mejora genética del algodón, combinar un alto rendimiento y calidad de la fibra es un reto clave. El primer paso crucial para un programa de mejora eficaz es caracterizar el germoplasma del algodón. Kearsey y Pooni (1996) destacaron la importancia de comprender las diferencias genéticas y la heredabilidad de los rasgos a la hora de cruzar plantas. La heredabilidad muestra en qué medida los rasgos están influidos por la genética y puede estimarse comparando las varianzas de las generaciones segregantes y no segregantes. En el algodón, se han notificado estimaciones de heredabilidad para varios rasgos, como el rendimiento de fibra, los componentes del rendimiento, la calidad de la fibra, la altura de la planta, el aceite de semilla, el nudo de la primera rama reproductiva, la cápsulas a prueba de tormentas, entre otros (De Carvalho et al., 2022; Meredith, 1984; Nidagundi et al., 2023; Ribeiro et al., 2017; Tang et al., 1996). Estos estimadores ayudan a los mejoradores a decidir la selección individual y a predecir cuánto

pueden mejorar ciertos rasgos. Sin embargo, merece la pena tener en cuenta que el nivel de heredabilidad cambia en función del rasgo, la población y el ambiente en el que se cultivan.

Capítulo 1

Caracterización de entradas de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) del banco de germoplasma de INTA mediante caracteres morfo-fisiológicos

1.1. Introducción

Aquí una breve introducción del capítulo

1.2. Objetivos

Caracterizar entradas de algodón del banco de germoplasma de INTA con diferente procedencia mediante caracteres morfológicos relacionados al rendimiento.

Evaluar procesos fisiológicos que intervienen en la determinación del rendimiento de fibra de entradas de algodón del banco de germoplasma de INTA.

1.3. Materiales y métodos

Los ensayos se realizaron en invernadero con condiciones controladas en la Estación Experimental INTA Reconquista. Se utilizaron macetas de 5 litros con 2200 g de suelo de monte (pH: 6,7, P disp: 165,7 mg Kg⁻¹, Na⁺ 0,6 cmol⁺Kg⁻¹, K⁺: 0,8 cmol⁺Kg⁻¹, Ca⁺²: 27,0 cmol⁺Kg⁻¹, Mg⁺²: 2,2 cmol⁺Kg⁻¹, NH₄: 76,30 mg kg⁻¹, NO₃: 86,1 mg Kg⁻¹) y de 400 g de sustrato comercial (GrowMix Multipro), en el cual se colocó una planta por maceta.

1.3.1. Caracterización morfológica de 26 entradas de algodón (*Gossypium hirsutum* L.)

En el estudio se llevó a cabo una caracterización inicial de 26 entradas (Tabla 1.1) de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) del banco de germoplasma utilizando un diseño experimental en bloques completos al azar con tres repeticiones.

Tabla 1.1: Entradas de *Gossypium hirsutum* L. y su procedencia

Entradas	Procedencia	Entradas	Procedencia
BGSP-00166	Argentina	BGSP-00748	China
BGSP-00177	Argentina	BGSP-00752	China
BGSP-00192	Argentina	BGSP-00755	China
BGSP-00193	Argentina	BGSP-00759	China
BGSP-00194	Argentina	BGSP-00779	China
BGSP-00207	Argentina	BGSP-00067	Costa de Marfil
BGSP-00269	Argentina	BGSP-00028	EEUU
SP 41255	Argentina-Línea avanzada	BGSP-00145	EEUU
SP 6565	Argentina-Línea avanzada	BGSP-00159	EEUU
BGSP-00514	Australia	BGSP-00425	EEUU
BGSP-00072	Camerún	BGSP-00428	EEUU
BGSP-00088	Camerún	BGSP-00715	Pakistán
BGSP-00070	Chad	BGSP-00126	Senegal

Variables medidas

Las variables que se mencionan a continuación fueron registradas en todas las plantas de las 26 entradas:

- I) Características morfológicas cualitativas: Forma de la planta, aspecto de la canopia, tipo de floraciones, forma y pubescencia de la hoja, tipo de bráctea y forma de cápsula.
- II) Características morfológicas cuantitativas: Altura de planta (AP en cm, medido desde la base del tallo hasta el ápice), Altura a la primera rama reproductiva (A1RR en cm, medido desde la base del tallo hasta la primera rama reproductiva), número de nudos (NN, número de nudos presentes en el tallo), número de ramas vegetativas (NRV) y reproductivas (NRR), nudo de inserción de la primera rama reproductiva (N1RR, nudo donde se inserta la 1ª rama reproductiva en la planta), y distancia de la primera posición al tallo principal (D1P en cm, distancia que existe entre el tallo principal y la primera posición de la primera rama reproductiva de la planta).
- III) Rendimiento y sus componentes: Para calcular el rendimiento de las diferentes entradas y sus componentes se efectuaron las siguientes mediciones: Rendimiento bruto de algodón (RB, en g): se recolectó la fibra-semilla de algodón de todas las cápsulas presentes en las plantas. Las muestras obtenidas fueron pesadas en balanzas de precisión y se realizó medición de la humedad de cada una de ellas; Rendimiento de fibra al desmote (RFD, en %): se tomó cada muestra de algodón proveniente de las mediciones de rendimiento bruto, se realizó el desmote en una mini-desmotadora experimental y se pesó en una balanza de precisión la fibra y semillas por separado. El rendimiento de fibra al desmote fue la relación entre el peso de la fibra sobre el peso de la fibra más la semilla; Rendimiento de fibra (RF en g): se multiplicó el rendimiento bruto de algodón por el rendimiento de fibra

al desmote obtenido; Nº de cápsulas por planta (NC): se determinó mediante recuento de todas las cápsulas presentes en las plantas; Peso de cápsulas (PC): se dividió el rendimiento bruto de algodón por planta por el número de cápsula por plantas

- iv) Parámetros de calidad tecnológica de fibra de algodón: con el total de las entradas se hizo un pool de muestras de todas las plantas y solo se obtuvo una medición por entrada, esto es debido a los requisitos de peso mínimo de muestra de fibra del instrumento de medición. Las muestras de fibra de algodón obtenidas se enviaron al laboratorio de HVI (Uster 1000) de la Asociación para la Promoción de la Producción (APPA) en Reconquista, Santa Fe. Los parámetros de calidad tecnológica de fibra registrados fueron: Índice de Hilabilidad (SCI, por sus siglas en inglés), Micronaire (Mic), Índice de madurez (Mac), longitud promedio de la mitad superior (UHML en mm, por sus siglas en inglés), longitud media (ML, por sus siglas en inglés), índice de uniformidad (UI en %, por sus siglas en inglés), índice de fibras cortas (SFI, por sus siglas en inglés), resistencia de fibra (Str en g tex⁻¹), elongación (Elg en %), contenido de humedad de la muestra, color (Rd y +b), grado de color (C.G) y contenido de basura. Debido a los requisitos de peso mínimo de muestra de fibra del instrumento HVI, las muestras se mezclaron cada tres réplicas.
- v) Fenología: Tiempo en días para alcanzar los estados de primer pimpollo (DPP), primera flor abierta (DPF), cut out (DCO), primera bocha abierta (DPCA) y fin de ciclo (DFC). El estado de cut out se determina cuando el número de nudos por encima de la última flor blanca en el tallo sea menor que 4 (Bourland et al., 1992).

1.3.2. Caracterización de ocho entradas seleccionadas de algodón (*Gossypium hirsutum* L.)

Para una profundización del análisis, se llevaron a cabo experimentos adicionales repetidos en dos momentos con nueve repeticiones en cada momento, utilizando un diseño en bloques completos al azar. Se aumentó la cantidad de bloques para obtener repeticiones en los parámetros de calidad de fibra y poder analizar estadísticamente las diferencias. Las ocho entradas fueron elegidas en función de características contrastantes como rendimiento y sus componentes (principalmente RFD) y calidad de fibra. Adicionalmente, se seleccionaron algunas entradas que presentaban baja NRV y aspecto de canopia compacta.

Esto fue realizado para encontrar entradas contrastantes en términos de rendimiento y calidad de fibra. También para evaluar procesos fisiológicos que intervienen en la determinación del rendimiento de fibra de entradas de algodón. En estos experimentos adicionales solo se evaluaron ocho entradas seleccionadas.

Variables medidas

Para los experimentos adicionales en las ocho entradas, se registraron las variables de rendimiento y calidad de fibra mencionados anteriormente sumado las siguientes variables: número de semillas por cápsula (NSC)(Worley et al., 1974), índice de fibra (IF en g, peso de la fibra proveniente de 100 semillas) y el índice de semillas (IS en g, peso de 100 semillas de cada muestra) (Pettigrew et al., 2013).

La medición de las variables fisiológicas se llevaron a cabo en cuatro momentos durante el ciclo de la planta siguiendo lo propuesto por (Luo et al., 2017). Los equipos utilizados para las mediciones propuestas fueron a) Fotosíntesis: LICOR 6400; b) Contenido de clorofila: Minolta SPAD 502; c) Apertura y cierre estomático: LICOR 6400.

De mapeo (Ajustar al texto) vii) Área foliar: para el cálculo de esta variable, se midieron todas las hojas de las plantas a través de los equipos LICOR 3000 y LICOR 3050; viii) Dinámica de la floración: se realizaron mapeos de dinámica de floración en todas las plantas seleccionadas para la partición de asimilados. Este procedimiento se realiza registrando en cada una de las posiciones reproductivas que genera la planta, la presencia de un pimpollo, una flor, una bocha verde, una cápsula abierta o un aborto (Kerby & Hake, 1996). Con estos datos se realizó la dinámica de floración de las diferentes entradas y porcentaje de retención final a la que llegan cada una de las plantas seleccionadas para el mapeo;

Por otra parte, se realizaron muestreos destructivos de plantas para la determinación de materia seca y partición de los asimilados. Los cortes se realizaron a los 30, 60, 90 y 120 días (correspondientes a los estados fenológicos 1er pimpollo, 1era flor, 1era bocha abierta y fin de ciclo). En cada uno de estos momentos se seccionaron las plantas en tallo, ramas reproductivas, ramas vegetativas, pimpollos y flores, bochas cerradas, capsulas abiertas, fibra y rebrote de tallo según el momento de muestreo. Todas las muestras de las partes de la planta fueron llevadas a estufa a 65 °C hasta peso constante (96 horas). El ensayo se realizó en un diseño en bloques al azar con arreglo en parcelas divididas, con los 4 momentos de corte y las entradas incluidas en cada parcela, con cuatro repeticiones.

1.3.3. Análisis estadístico

Para la caracterización de la colección de germoplasma de algodón, se realizaron análisis de varianza (ANOVA) y análisis de correlación de Pearson de todos los rasgos medidos utilizando el software R (R Core Team, 2024). La distribución normal de cada rasgo se confirmó mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Las diferencias estadísticas se evaluaron con un nivel de confianza del 95 % ($p \leq 0,05$) según la prueba L.S.D de Fisher, considerando las entradas como efecto fijo, mientras que el experimento y los bloques dentro de cada

experimento como efectos aleatorios. A continuación, se realizó un estudio completo de la diversidad genética disponible en ese conjunto de entradas mediante el análisis de componentes principales.

1.4. Resultados

1.4.1. Caracterización morfológica de 26 entradas de algodón (*Gossypium hirsutum* L.)

Características morfológicas cualitativas

La tabla 1.2 detalla las características de las entradas del banco de germoplasma de algodón evaluadas. En términos de la forma de la planta, el 61,5 % fueron cilíndricas y el 38,5 % fueron cónicas. En cuanto al aspecto de la canopia, se destacaron las categorías “medio” (69,2 %) y “abierta” (23,1 %). Sin embargo, algunas antradas presentaron una canopia “compacta” (7,7 %), como los genotipos BGSP-00166 y BGSP-00194. El tipo de floración varió entre individual (23,1 %), agrupada (7,7 %) o medio agrupada (69,2 %). Las hojas se presentan principalmente en forma palmada (96,1 %) y plana (96,1 %), con niveles variados de pubescencia (11,5 % para pubescencia escasa y fuerte, y 76,9 % para pubescencia media). Solo la entrada BGSP-00514 presentó forma digitada o también conocida como tipo “Okra”. En todas las entradas, el tipo de bráctea es normal, mientras que la forma de la bocha varió entre cónica (88,5 %), elíptica (7,7 %) y redonda (3,8 %).

Características morfológicas cuantitativas, rendimiento y sus componentes y calidad de fibra

La tabla 1.3 muestra los valores medios de las características morfológicas evaluadas de las entradas del banco de germoplasma de algodón (*Gossypium hirsutum* L.), incluyendo la altura de planta (AP), número de nudos (NN), número de ramas vegetativas (NRV),

Tabla 1.2: Descriptores

Entradas	Característica de planta			Característica de hoja			Bráctea	Cápsula
	Forma	Canopia	Tipo Floración	Forma	Lámina	Pubescencia	Tipo	Forma
BGSP-00028	Cónica	Abierta	Individual	Palmada	Plana	Escasa	Normal	Cónica
BGSP-00067	Cónica	Abierta	Individual	Palmada	Plana	Escasa	Normal	Cónica
BGSP-00070	Cilíndrica	Medio	Medio Agrupada	Palmada	Plana	Media	Normal	Cónica
BGSP-00072	Cilíndrica	Medio	Medio Agrupada	Palmada	Plana	Media	Normal	Cónica
BGSP-00088	Cónica	Medio	Individual	Palmada	Plana	Fuerte	Normal	Cónica
BGSP-00126	Cilíndrica	Medio	Medio Agrupada	Palmada	Plana	Escasa	Normal	Cónica
BGSP-00145	Cónica	Medio	Individual	Palmada	Plana	Media	Normal	Cónica
BGSP-00159	Cilíndrica	Medio	Medio Agrupada	Palmada	Plana	Media	Normal	Cónica
BGSP-00166	Cilíndrica	Compacta	Agrupada	Palmada	Plana	Media	Normal	Cónica
BGSP-00177	Cónica	Abierta	Medio Agrupada	Palmada	Plana	Media	Normal	Cónica
BGSP-00192	Cilíndrica	Medio	Medio Agrupada	Palmada	Plana	Media	Normal	Cónica
BGSP-00193	Cilíndrica	Medio	Medio Agrupada	Palmada	Plana	Media	Normal	Cónica
BGSP-00194	Cilíndrica	Compacta	Agrupada	Palmada	Plana	Media	Normal	Cónica
BGSP-00207	Cónica	Abierta	Individual	Palmada	Plana	Fuerte	Normal	Cónica
BGSP-00269	Cilíndrica	Medio	Medio Agrupada	Palmada	Plana	Media	Normal	Cónica
BGSP-00425	Cilíndrica	Medio	Medio Agrupada	Palmada	Plana	Media	Normal	Cónica
BGSP-00428	Cilíndrica	Medio	Medio Agrupada	Palmada	Plana	Media	Normal	Redonda
BGSP-00514	Cónica	Abierta	Individual	Digitada (Okra)	Plana	Media	Normal	Cónica
BGSP-00715	Cónica	Medio	Medio Agrupada	Palmada	Plana	Fuerte	Normal	Cónica
BGSP-00748	Cónica	Medio	Medio Agrupada	Palmada	Plana	Media	Normal	Elíptica
BGSP-00752	Cónica	Medio	Medio Agrupada	Palmada	Plana	Media	Normal	Cónica
BGSP-00755	Cilíndrica	Medio	Medio Agrupadas	Palmada	Plana	Media	Normal	Cónica
BGSP-00759	Cilíndrica	Abierta	Medio Agrupada	Palmada	En copa	Media	Normal	Redonda
BGSP-00779	Cilíndrica	Medio	Medio Agrupada	Palmada	Plana	Media	Normal	Cónica
SP 41255	Cilíndrica	Medio	Medio Agrupada	Palmada	Plana	Media	Normal	Cónica
SP 6565	Cilíndrica	Medio	Medio Agrupada	Palmada	Plana	Media	Normal	Cónica

número de ramas reproductivas (NRR), nudos a la primera rama reproductiva (N1RR), altura a la primera rama reproductiva (A1RR) y distancia de la primera posición al tallo principal (D1P). Los valores de estos parámetros variaron significativamente entre las entradas, con alturas de planta que oscilaron entre 89,0 cm y 126,3 cm, y números de nudos entre 13,0 y 17,0. El número de ramas vegetativas fluctuaron entre 0,3 y 2,7, mientras que el número de ramas reproductivas varió entre 9,7 y 13,3. Los nudos a la primera rama reproductiva estuvieron entre 3,7 a 5,7, y la altura a la primera rama reproductiva varió de 25,0 cm a 40,7 cm. La distancia de la primera posición al tallo principal osciló entre 3,9 cm y 14,3 cm.

La tabla 1.3 también presenta un resumen de las características de rendimiento, calidad de fibra y fenología de las entradas. Los parámetros medidos incluyen rendimiento bruto de algodón (RB), rendimiento de fibra (RF), rendimiento de fibra al desmote (RFD),

peso promedio de capullos (PC), número de capullos (NC), longitud promedio de fibra de la mitad superior (UHML), resistencia de las fibras (Str), micronaire (Mic), índice de uniformidad de fibras (IU), días a primer pimpollo (DPP), días a primera flor (DPF), días a cut out (DCO), días a primera cápsula abierta (DPCA) y días a fin de ciclo (DFC). Los valores muestran una amplia variabilidad entre las entradas, con rendimientos brutos de algodón que oscilaron entre 14,3 g planta⁻¹ y 33,5 g planta⁻¹, rendimientos de fibra que varió de 4,6 g planta⁻¹ a 12,3 g planta⁻¹, peso promedio de capullo entre 2,6 g a 4,7 g y número de capullos entre 4,7 a 8,7. La calidad de la fibra se refleja en características como UHML, que varió de 25,1 mm a 33,9 mm, y la resistencia de las fibras, que osciló entre 21,5 g tex⁻¹ y 37,6 g tex⁻¹. En términos fenológicos, los días a primer pimpollo varió de 22 a 27 días, los días a primera flor de 49 a 55 días, los días a cut out de 73 a 80 días, los días a primera cápsula abierta de 113 a 137 días, y los días a fin de ciclo de 161 a 164 días.

Tabla 1.3: Datos conjuntos...

Entradas	Características morfológicas							Rendimiento y sus componentes					Calidad de fibra				Fenología				
	AP	NN	NRV	NRR	N1RR	A1RR	D1P	RB	RF	RFD	PC	NC	UHML	Str	Mic	IU	DPP	DPF	DCO	DPCA	DFC
BGSP-00028	106,3 (5,5)	13,3 (0,9)	1,0 (0,6)	10,7 (0,7)	3,7 (0,3)	25,3 (0,7)	9,3 (0,7)	24,1 (2,0)	8,7 (0,6)	36,5 (0,7)	4,3 (0,3)	5,7 (0,3)	30,7	34,0	3,1	84,1	25	51	74	118	163
BGSP-00067	102,0 (4,0)	14,7 (0,7)	1,3 (0,3)	11,0 (0,6)	4,7 (0,3)	27,0 (1,7)	11,0 (1,5)	23,3 (3,3)	8,2 (1,0)	36,0 (1,9)	2,8 (0,2)	8,3 (1,2)	26,8	37,0	2,9	80,8	25	54	74	128	163
BGSP-00070	109,3 (0,3)	14,3 (0,3)	1,3 (0,3)	9,7 (0,3)	5,7 (0,7)	40,7 (4,2)	9,7 (1,9)	19,9 (1,3)	7,7 (0,8)	39,6 (0,8)	3,4 (0,3)	6,0 (0,6)	32,5	31,0	3,8	84,6	27	53	76	128	163
BGSP-00072	113,3 (4,3)	17,0 (0,0)	1,3 (0,3)	13,3 (0,3)	4,7 (0,3)	27,3 (3,2)	7,3 (1,8)	26,3 (2,2)	9,8 (0,9)	38,3 (0,6)	3,5 (0,4)	7,7 (0,3)	28,1	28,2	4,3	82,6	25	54	80	130	162
BGSP-00088	104,3 (5,8)	14,3 (0,7)	1,7 (0,3)	10,7 (0,3)	4,7 (0,3)	28,3 (2,7)	14,3 (1,2)	31,0 (3,2)	11,3 (1,1)	37,1 (0,4)	4,4 (0,2)	7,0 (0,6)	31,6	36,5	3,5	86,2	25	54	78	135	163
BGSP-00126	126,3 (3,8)	14,9 (0,2)	1,5 (0,2)	11,3 (0,3)	4,6 (0,1)	37,4 (1,4)	8,9 (0,9)	16,0 (0,6)	6,6 (0,3)	42,9 (0,3)	2,7 (0,2)	6,0 (0,3)	29,9	32,4	2,8	83,5	25	54	79	132	163
BGSP-00145	89,0 (4,5)	14,3 (0,3)	1,0 (0,6)	11,3 (0,3)	4,0 (0,0)	25,7 (0,9)	9,7 (1,8)	16,1 (3,1)	6,1 (1,1)	38,6 (0,7)	3,6 (0,6)	4,7 (0,9)	26,9	26,6	3,5	80,8	25	52	73	121	163
BGSP-00159	104,3 (3,6)	14,3 (0,3)	1,1 (0,2)	11,0 (0,2)	4,3 (0,2)	31,8 (1,9)	11,4 (0,6)	14,3 (0,6)	5,1 (0,2)	36,8 (0,6)	2,7 (0,1)	5,2 (0,2)	30,0	34,4	2,5	82,7	22	49	74	114	161
BGSP-00166	109,0 (3,0)	15,2 (0,2)	0,8 (0,2)	11,8 (0,3)	4,4 (0,2)	30,6 (1,2)	3,9 (0,6)	18,2 (0,5)	5,5 (0,2)	31,1 (0,4)	3,6 (0,1)	5,1 (0,2)	33,9	37,6	2,5	86,1	23	52	74	124	163
BGSP-00177	103,7 (3,3)	14,3 (0,3)	1,7 (0,3)	10,7 (0,3)	4,7 (0,3)	32,7 (3,4)	13,7 (1,7)	24,5 (2,2)	7,9 (0,8)	33,0 (0,4)	4,2 (0,8)	6,0 (0,6)	29,2	30,7	4,2	82,9	26	53	75	127	164
BGSP-00192	101,3 (5,8)	15,0 (0,0)	1,7 (0,3)	11,0 (0,0)	5,0 (0,0)	29,0 (2,1)	11,3 (0,9)	18,7 (3,3)	7,1 (1,1)	37,9 (2,0)	3,3 (0,4)	5,7 (0,3)	28,2	31,9	3,5	83,3	25	54	76	124	162
BGSP-00193	106,7 (5,5)	15,3 (0,3)	2,7 (0,3)	11,3 (0,3)	5,0 (0,0)	30,7 (0,9)	8,0 (1,7)	29,4 (3,9)	10,9 (1,4)	38,1 (1,8)	4,2 (0,6)	7,0 (0,0)	30,2	33,8	3,5	85,5	25	55	78	137	162
BGSP-00194	92,7 (3,2)	14,7 (0,3)	2,3 (0,3)	10,7 (0,3)	5,0 (0,0)	31,3 (0,7)	5,7 (3,2)	24,0 (3,1)	9,6 (1,4)	40,9 (0,8)	3,7 (0,4)	6,7 (0,9)	29,9	32,6	3,7	85,0	25	55	75	118	163
BGSP-00207	105,0 (8,5)	15,3 (0,2)	0,7 (0,2)	12,2 (0,2)	4,2 (0,1)	29,4 (0,8)	10,1 (1,0)	16,2 (0,6)	6,7 (0,2)	43,6 (0,5)	2,8 (0,1)	5,8 (0,2)	28,6	28,4	2,8	83,2	23	52	79	135	164
BGSP-00269	113,0 (3,7)	14,7 (0,2)	1,2 (0,2)	11,2 (0,2)	4,4 (0,1)	34,2 (1,6)	8,3 (0,8)	16,9 (0,5)	7,1 (0,3)	43,7 (0,5)	2,9 (0,2)	6,1 (0,3)	29,2	33,4	3,9	84,1	23	52	75	133	163
BGSP-00425	105,2 (3,3)	13,8 (0,1)	0,9 (0,3)	10,8 (0,1)	4,0 (0,0)	25,5 (0,7)	8,4 (0,9)	15,1 (0,5)	4,6 (0,2)	31,5 (0,3)	2,6 (0,1)	5,8 (0,3)	32,1	32,6	2,3	82,2	25	53	73	130	163
BGSP-00428	105,3 (7,3)	15,3 (0,3)	0,7 (0,3)	12,0 (0,6)	4,3 (0,3)	28,0 (2,9)	8,7 (2,4)	21,4 (3,6)	8,7 (1,4)	40,1 (0,4)	4,3 (0,7)	5,0 (0,6)	25,1	23,1	4,0	80,0	23	49	74	113	163
BGSP-00514	99,0 (8,0)	16,0 (0,0)	2,7 (0,3)	12,3 (0,3)	4,7 (0,3)	25,0 (1,5)	11,7 (1,7)	28,0 (2,8)	11,7 (1,2)	42,3 (0,4)	4,2 (0,2)	6,7 (0,9)	29,0	32,0	2,7	83,6	23	52	76	117	161
BGSP-00715	102,0 (8,5)	14,7 (0,9)	0,3 (0,3)	11,7 (0,9)	4,0 (0,0)	27,3 (2,3)	13,0 (1,2)	24,0 (3,6)	9,8 (1,2)	41,6 (1,2)	3,4 (0,4)	7,0 (0,6)	27,2	31,7	4,0	83,5	24	55	78	134	163
BGSP-00748	105,7 (0,9)	15,0 (0,0)	1,7 (0,3)	12,0 (0,0)	4,0 (0,0)	25,7 (1,2)	12,0 (0,6)	33,5 (1,8)	12,3 (1,0)	39,0 (2,4)	4,4 (0,1)	7,7 (0,3)	26,3	21,5	3,9	80,9	23	52	74	135	164
BGSP-00752	103,3 (5,2)	15,3 (0,3)	2,7 (0,3)	11,3 (0,3)	5,0 (0,0)	29,3 (0,7)	10,3 (0,9)	27,2 (2,1)	11,3 (1,2)	42,1 (1,9)	4,1 (0,1)	6,7 (0,3)	31,8	26,7	3,6	84,1	25	55	79	135	162
BGSP-00755	97,3 (3,3)	13,0 (0,0)	2,7 (0,3)	10,0 (0,0)	4,0 (0,0)	28,7 (0,3)	10,3 (0,7)	26,3 (2,0)	10,0 (0,7)	38,5 (0,8)	4,7 (0,2)	5,7 (0,7)	29,8	31,4	3,3	84,2	25	53	75	124	163
BGSP-00759	108,3 (5,0)	14,0 (0,6)	1,0 (0,6)	10,0 (1,0)	5,0 (0,6)	38,3 (5,5)	9,7 (2,4)	24,6 (3,6)	8,7 (1,5)	38,3 (1,1)	4,7 (0,6)	5,7 (1,5)	27,8	23,9	4,1	82,3	25	54	77	134	163
BGSP-00779	112,3 (1,9)	16,0 (0,0)	1,3 (0,3)	12,3 (0,3)	4,7 (0,3)	30,3 (1,8)	11,7 (0,7)	26,3 (1,5)	10,4 (0,5)	40,5 (0,7)	3,0 (0,1)	8,7 (0,3)	30,2	31,5	2,7	84,4	25	55	76	126	161
SP 41255	122,3 (2,9)	15,2 (0,1)	1,2 (0,2)	11,8 (0,2)	4,4 (0,1)	32,7 (1,1)	11,2 (0,8)	20,7 (0,7)	8,8 (0,4)	44,7 (0,5)	2,8 (0,1)	7,3 (0,3)	30,9	32,3	3,0	84,1	23	52	76	124	162
SP 6565	120,8 (1,9)	15,7 (0,2)	1,3 (0,2)	12,2 (0,2)	4,5 (0,2)	35,8 (1,6)	8,4 (0,6)	17,3 (0,5)	6,9 (0,2)	41,2 (0,3)	2,6 (0,1)	6,8 (0,3)	29,9	33,3	3,0	84,6	25	55	79	131	162
p-valor	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-	-	-	-	-	-	-	-
L.S.D Fisher	17,96	1	0,99	1,05	0,74	6,29	3,89	4,3	1,76	2,46	0,76	1,42	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Referencias: AP: Altura de planta en cm; NN: Número de nudos; NRV: Número de ramas vegetativas; NRR: Número de ramas reproductivas; N1RR: Nudos a primer rama reproductiva; A1RR: Altura a primer rama reproductiva en cm; D1P: Distancia de la primera posición al tallo principal en cm. RB: Rendimiento de algodón bruto en g; RF: Rendimiento de fibra en g; RFD: Rendimiento de fibra al desmote en %; PC: Peso promedio de capullos en g; NC: Número de capullos. UHML: Longitud promedio de fibra de la mitad superior en mm; Str: Resistencia de las fibras g tex⁻¹; Mic: Micronaire; IU: Índice de uniformidad de fibras en %. DPP: Días a primer pimpollo; DPF: Días a primera flor; DCO: Días a Cut Out; DPCA: Días a primer cápsula abierta; DFC: días a fin de ciclo.

1.4.2. Caracterización de ocho entradas seleccionadas de algodón (*Gossypium hirsutum* L.)

Características de rendimiento y sus componentes y calidad de fibra

Las entradas seleccionadas para una mayor profundización en la evaluación de las características de rendimiento y calidad se muestran en la tabla 1.4. La selección se realizó principalmente mediante los datos mostrados en la tabla 1.3, eligiendo entradas contrastantes en términos de rendimiento y sus componentes (principalmente RFD) y calidad de fibra. Adicionalmente, se seleccionaron algunas entradas que presentaban baja NRV y aspecto de canopia compacta, como es el caso de la entrada BGSP-00166.

Tabla 1.4: Valores medios, error estándar (entre paréntesis) y prueba L.S.D. (diferencia mínima significativa) de Fisher para rendimiento de fibra, sus componentes y calidad.

Entradas	Rendimiento y sus componentes								Calidad de fibra			
	RB	RF	RFD	PC	NC	IS	IF	NSC	UHML	Str	Mic	IU
BGSP-00126	30,5 (6,6)	13,2 (2,9)	43,1 (0,4)	3,6 (0,4)	8,0 (1,0)	8,7 (0,3)	6,2 (0,3)	25,0 (1,6)	29,8 (0,3)	30,4 (1,3)	3,5 (0,4)	83,8 (1,0)
BGSP-00159	26,2 (5,4)	9,5 (1,9)	36,3 (0,8)	4,1 (0,5)	6,2 (0,6)	10,3 (1,0)	5,6 (0,7)	26,8 (0,7)	28,4 (0,9)	33,2 (2,1)	3,7 (0,5)	82,7 (0,5)
BGSP-00166	27,5 (4,3)	8,6 (1,4)	31,2 (0,3)	4,6 (0,4)	5,8 (0,5)	11,5 (0,5)	5,0 (0,4)	28,9 (0,8)	33,2 (0,5)	37,3 (2,0)	3,2 (0,3)	85,8 (0,6)
BGSP-00207	30,2 (6,3)	13,1 (2,7)	43,5 (0,4)	3,6 (0,4)	8,0 (1,0)	8,3 (0,2)	6,2 (0,3)	25,2 (2,0)	28,3 (0,4)	29,2 (0,7)	3,4 (0,3)	83,5 (0,4)
BGSP-00269	29,8 (5,8)	12,9 (2,5)	43,4 (0,4)	3,4 (0,2)	8,6 (1,1)	8,8 (0,4)	6,5 (0,2)	22,8 (1,9)	28,3 (0,5)	31,6 (1,2)	4,3 (0,2)	83,7 (0,3)
BGSP-00425	31,5 (7,4)	11,3 (2,9)	34,2 (1,2)	3,6 (0,4)	8,3 (1,1)	7,9 (0,4)	4,0 (0,6)	30,6 (0,9)	30,4 (1,0)	31,3 (1,6)	3,4 (0,5)	82,2 (0,2)
SP-41255	34,2 (6,1)	15,8 (3,0)	45,8 (0,6)	3,7 (0,5)	9,2 (1,0)	7,7 (0,1)	6,2 (0,3)	26,8 (2,8)	29,8 (0,7)	32,2 (1,2)	3,8 (0,3)	83,6 (0,7)
SP-6565	30,1 (5,8)	12,5 (2,4)	41,4 (1,0)	3,7 (0,6)	8,2 (0,7)	8,9 (0,4)	5,9 (0,2)	25,5 (3,0)	30,1 (0,5)	32,5 (0,9)	3,7 (0,3)	84,9 (0,6)
p-value	0,005	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	0,014	<0,001	0,017	<0,001	0,003
Fisher's L.S.D	3,68	1,91	1,99	0,57	1,19	1,35	0,75	4,04	1,38	4,03	0,43	1,66

Referencias: RB: Rendimiento de algodón bruto en g; RF: Rendimiento de fibra en g; RFD: Rendimiento de fibra al desmote en %; PC: Peso promedio de capullos en g; NC: Número de capullos; IS: Índice de semillas en g; IF: Índice de fibra en g; NSC: Numero de semillas por capullo. UHML: Longitud promedio de fibra de la mitad superior en mm; Str: Resistencia de las fibras g tex⁻¹; Mic: Micronaire; IU: Índice de uniformidad de fibras en %.

Las entradas de algodón mostraron diferencias significativas en todos los rasgos relacionados con el rendimiento y la calidad de la fibra ($p < 0,05$, Tabla 1.4).

La entrada SP-41255 presentó los valores medios más elevados para RB, RF, RFD y NC, con valores de $34,2 \text{ g planta}^{-1}$, $15,8 \text{ g planta}^{-1}$, $45,8 \%$, y $9,2 \text{ capullos planta}^{-1}$ respectivamente, sin embargo, presentó el valor medio más bajo de IS, con $7,7 \text{ g}$. BGSP-00159 tuvo la media más baja de RB con $26,2 \text{ g planta}^{-1}$. BGSP-00166 tuvo los valores medios más bajos para RF, RFD, MIC y NC con valores de $8,6 \text{ g planta}^{-1}$, $31,1 \%$, $3,2$ y $5,8 \text{ capullos planta}^{-1}$ respectivamente, no obstante, presentó los valores medios más elevados de PC, IS, UHML, Str y IU con valores de $4,6 \text{ g capullo}^{-1}$, $11,5 \text{ g}$, $33,2 \text{ mm}$, $37,3 \text{ g tex}^{-1}$ y $85,8 \%$ respectivamente. BGSP-00269 presentó los valores medios más bajos de PC, NSC y UHML, con valores de $3,4 \text{ g capullo}^{-1}$, $22,8 \text{ semilla capullo}^{-1}$, y $28,3 \text{ mm}$ respectivamente, mientras que tuvo el valor medio más alto para IF y Mic con valores de $6,5 \text{ g}$ y $4,3$. BGSP-00425 tuvo la NSC media mas alta, con un $30,6 \text{ semillas cápsula}^{-1}$ mientras que los valores medios más bajos para IF y IU con valores de $4,0 \text{ g}$ y $82,2 \%$, respectivamente. BGSP-00207 presentó los valores medios más bajos de UHML y Str con valores de $28,3 \text{ mm}$ y $29,2 \text{ g tex}^{-1}$ respectivamente. En particular, las accesiones BGSP-00166 y SP-41255 fueron significativamente diferentes para casi todos los caracteres estudiados excepto para NSC ($p < 0,01$).

Estos resultados indican que existe variación fenotípica entre las accesiones de algodón tanto en términos de rendimiento como de calidad de la fibra.

En el analisis de componentes principales incluyendo todas las variables, el primer componente principal explicó el $45,6 \%$ de la varianza de los datos, mientras que el segundo componente principal explicó el $21,9 \%$ (Figura 1.1). Los rasgos más asociados con el primer componente fueron RB, Mic, RF, IF y NC, mientras que UHML, Str, IU, IS, NSC, PC y RFD fueron los más asociados con el segundo componente. Las entradas situadas en el cuadrante superior izquierdo fueron BGSP-00166, BGSP-00159 y BGSP-00425, estando

estas entradas asociadas con valores más altos de calidad de fibra (UHML, Str, IU) y tamaño de semilla (IS) y valores más bajos en caracteres relacionados con el rendimiento como RB, RF, IF, NC, RFD. Las entradas situadas en el cuadrante inferior derecho como SP-41255, BGSP-00269, BGSP-00207 y BGSP-00126, mostraron un comportamiento opuesto a las descritas.

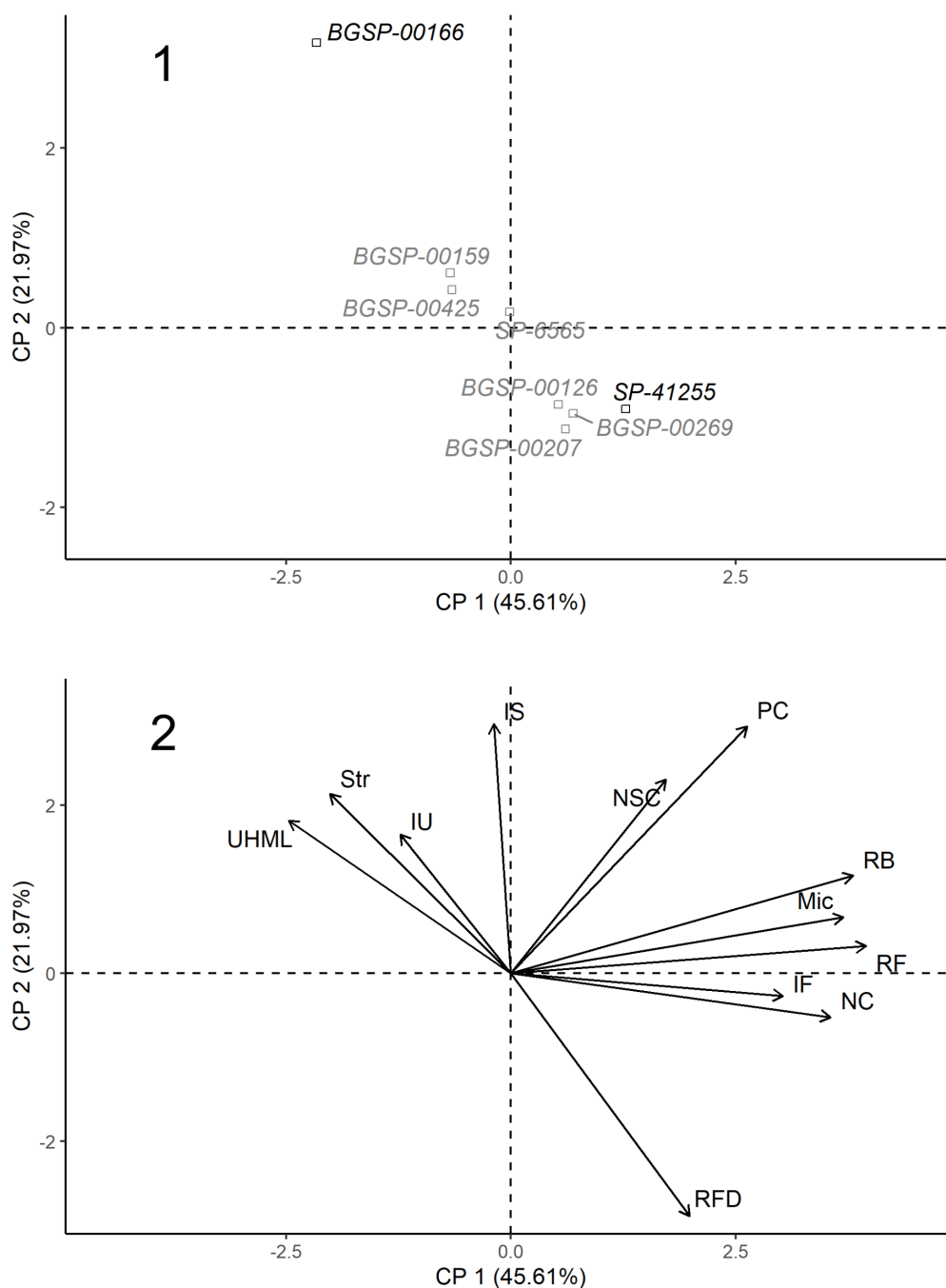


Figura 1.1: Biplot del análisis de componentes principales con puntos que representan las proyecciones de las accesiones (1) y las variables (2) en el espacio definido por las dos primeras dimensiones (Dim) o componentes principales. RB: Rendimiento de algodón bruto en g; RF: Rendimiento de fibra en g; RFD: Rendimiento de fibra al desmote en %; PC: Peso promedio de capullos en g; NC: Número de capullos; IS: Índice de semillas en g; IF: Índice de fibra en g; NSC: Numero de semillas por capullo. UHML: Longitud promedio de fibra de la mitad superior en mm; Str: Resistencia de las fibras g tex^{-1} ; Mic: Micronaire; IU: Índice de uniformidad de fibras en %.

En particular, las entradas BGSP-00166 y SP-41255 presentaron más contraste en cuanto a los rasgos medidos. Estas accesiones mostraron valores diferentes para la mayoría de los rasgos medidos relacionados tanto con el rendimiento como con la calidad de la fibra. Por lo tanto, seleccionamos estas accesiones para realizar un cruce biparental y generar una población segregante para estimar los parámetros genéticos y, a continuación, seleccionar fenotipos prometedores para el rendimiento y los rasgos relacionados con la calidad.

En la Tabla 1.5 se muestran los valores de correlación de Spearman para las características de rendimiento de fibra, sus componentes y calidad de fibra.

Tabla 1.5: Correlación de Spearman entre los rasgos evaluados en el germoplasma de colección

	RB	RF	RFD	PC	NC	IS	IF	NSC	UHML	Str	Mic
RF	.94***	-									
RFD	.24	.48***	-								
PC	.75***	.67***	-.15	-							
NC	.86***	.89***	.42**	.43**	-						
IS	.01	-.09	-.51***	.41**	-.27	-					
IF	.52***	.70***	.54***	.49***	.49***	.20	-				
NSC	.54***	.38**	-.34*	.69***	.30*	-.03	-.06	-			
UHML	-.35*	-.46**	-.36*	-.15	-.42**	.14	-.46**	.06	-		
Str	-.14	-.27	-.42**	.07	-.30*	.51***	-.17	-.08	.38**	-	
Mic	.79***	.83***	.35*	.64***	.77***	.06	.71***	.28	-.53***	-.23	-
IU	-.05	-.06	-.01	.09	-.10	.40**	.09	-.14	.34*	.46***	-.10

Referencias: *p < 0.05, **p < 0.01 and *** p < 0.001. RB: Rendimiento de algodón bruto en g; RF: Rendimiento de fibra en g; RFD: Rendimiento de fibra al desmote en %; PC: Peso promedio de capullos en g; NC: Número de capullos; IS: Índice de semillas en g; IF: Índice de fibra en g; NSC: Numero de semillas por capullo. UHML: Longitud promedio de fibra de la mitad superior en mm; Str: Resistencia de las fibras g tex⁻¹; Mic: Micronaire; IU: Índice de uniformidad de fibras en %.

Varias correlaciones fenotípicas fueron estadísticamente significativas (Tabla 1.5). Para el análisis, se consideraron correlaciones fuertes los valores superiores a 0,80, moderadas las comprendidas entre 0,40 y 0,80, y bajas las inferiores a 0,40. El RF mostró una fuerte correlación positiva con el NC. También mostró una correlación positiva moderada con PC. La RFD mostró una correlación positiva moderada con el RF y el NC. Sin embargo,

mostró una correlación negativa moderada con IS. El UHML mostró correlaciones negativas moderadas con el RF, lo que indica que, a medida que aumenta el rendimiento de fibra, disminuye la longitud de la misma.

Procesos fisiológicos que intervienen en la determinación del rendimiento de fibra

1.5. Discusión

Aquí la discusión del capítulo 1

plant mapping specifically refers to the recording and evaluating of plant structure and the distribution and retention of fruit on plants at a specific time (Kerby et al., 2010)

1.6. Conclusión

Aquí la conclusión del capítulo 1

Capítulo 2

Identificación de QTL de importancia agronómica

2.1. Introducción

Aquí una breve introducción del capítulo

2.2. Objetivo

Mapear QTL (Quantitative Trait Loci) asociados a caracteres de rendimiento de fibra mediante el análisis de una población segregante F_2 obtenida del cruzamiento de progenitores contrastantes.

2.3. Materiales y métodos

Se caracterizaron marcadores moleculares del tipo SSR (Single Sequence Repeats o microsatélites) asociados a QTLs de importancia agronómica. Se utilizaron 55 SSR ~~chequear n° de marcadores~~ que fueron seleccionados acorde tanto a trabajos científicos (Ademe et al., 2017; An et al., 2010; Baytar et al., 2018; Iqbal & Rahman, 2017; Li et al., 2017; R. Liu et al., 2012; R. Liu et al., 2018; X. Liu et al., 2017; Qin et al.,

2015; Shen et al., 2007; Shi et al., 2015; Su et al., 2016; B. Wang et al., 2007; H. Wang et al., 2015; M. Wang et al., 2014; Xia et al., 2014; S. Zhang et al., 2016; Z.-S. Zhang et al., 2005) como la base de datos de CottonGen (<http://www.cottongen.org>). Dicha actividad se realizó en el laboratorio de biotecnología de INTA Reconquista. A partir de las entradas contrastantes para las características de interés, se realizaron cruzamientos y por autofecundación de las F_1 se obtuvo la población F_2 . A continuación, se detallan las etapas:

- i. Obtención de la población segregante para los loci de los marcadores (M) y los QTLs. Luego de la caracterización morfológica y fisiológica, las entradas fueron seleccionadas para ser utilizadas como parentales contrastantes en los respectivos cruzamientos de este estudio. Para los mismos se utilizaron las entradas de alto porcentaje de desmote como parentales masculinos. Considerando que por cada bocha se obtiene, en promedio, 20 semillas (Naeem et al., 2017) se tomó una flor de cada parental para dicho cruzamiento, para la generación de la población F_1 (20 plantas). La población segregante (F_2) resultó de la autofecundación de las F_1 , para llegar a una población F_2 aproximada de 200 plantas (Bardak et al., 2018; T. Zhang et al., 2003).

BGSP-00166 y SP-41255 fueron los genotipos parentales seleccionados. Ambos parentales son de origen argentino. El primer parental es una línea endogámica derivada del cruce entre Chaco 510 x SP 6269, mientras que el segundo parental es otra línea endogámica seleccionada del cruce entre SP-81270-7 x Mij. 3. Morfológicamente, difieren en su estructura de planta (Figure 2.2). BGSP-00166 es más compacta, con una distancia más corta entre la primera posición de fructificación y el tallo, mientras que SP-41255 tiene una estructura de planta más abierta. El cruzamiento se realizó en ambas direcciones para evaluar la existencia de efecto recíproco. La emasculación se realizó en las plantas utilizadas como parentales fe-

meninos mediante la eliminación de los estambres con pinzas antes de la antesis floral (estadio en forma de vela), durante las horas de la tarde. Al día siguiente, se realizó el cruce mediante la transferencia de polen de los parentales masculinos a los femeninos (flores emasculadas), tal y como se describe en Acquah (2012). A continuación, las semillas F_1 de los cruces de algodón se sembraron en condiciones de invernadero y se autopolinizaron para producir F_2 . En la temporada de cultivo 2019-2020, la población F_2 se sembró en hileras no replicadas en condiciones de campo. Cada hilera tenía 10 m de longitud y una separación de 1 m, con 50 plantas por hilera (Figura 2.1). Las generaciones no segregantes (tanto las F_1 s, SP-41255 x BGSP-00166 y BGSP-00166 x SP-41255, como los genotipos parentales) también se sembraron en las mismas condiciones. Todas estas generaciones se sometieron a evaluación fenotípica. En la dirección de cruzamiento de SP-41255 x BGSP-00166, se consiguió una población segregante F_2 de 205 plantas, mientras que para la dirección de cruzamiento inversa, se obtuvieron 234 plantas. En el mismo ensayo, como se muestra en la Figura 2.1, se sembraron y consiguieron uniformemente 17 plantas del progenitor BGSP-00166, 19 plantas del progenitor SP-41255 y 11 plantas de la F_1 (mitad y mitad generadas a partir de una dirección de cruzamiento y su recíproca).

- II. Medición de la característica fenotípica controlada por los QTL. Se realizarán las mediciones de rendimiento y calidad de fibra detalladas en el apartado "Caracterización morfológica". Para el experimento del cruce biparental, cada planta (de poblaciones segregantes y no segregantes) también se cosechó individualmente en la fase de madurez para evaluar el rendimiento y las características relacionadas con la calidad: SCY, LY, LP, BW, BN, FL, FS, FU y MIC se midieron como se ha descrito anteriormente.
- III. Caracterización molecular por SSR de los de los parentales y cada planta de la po-

blación F_2 . El ADN genómico se aisló utilizando hojas jóvenes procedentes de los progenitores y la población segregante, mediante método CTAB modificado (Patterson et al., 1993; J. Zhang & Stewart, 2000). Se evaluó la cantidad y calidad del ADN mediante espectrofotometría para comparación. La amplificación por PCR y la tinción con plata se realizó según Lin et al. (2005). Los productos de PCR de los SSR se separaron en geles de poliacrilamida desnaturalizantes al 2 % y revelados con carbonato de sodio (Lin et al., 2005).

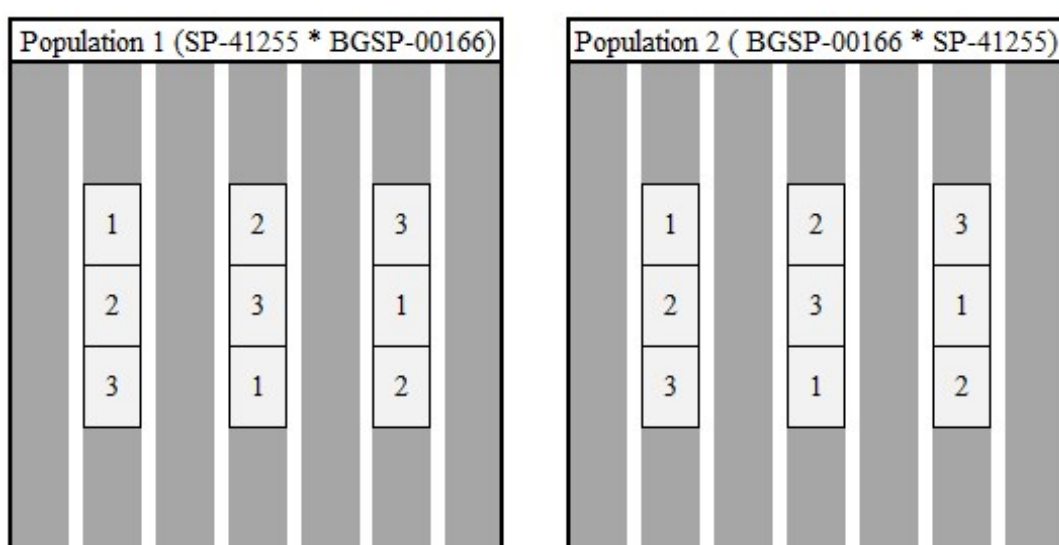


Figura 2.1: Descripción del ensayo de campo, mostrando las dos poblaciones generadas a partir del cruce en la dirección SP-41255 x BGSP-00166 y su recíproco. En el ensayo se distribuyeron al azar plantas del parental SP-41255 (1), Filial 1 (2) y del parental BGSP-00166 (3).

2.3.1. Análisis estadístico

Para el experimento de cruzamiento biparental, se realizó una prueba de Levene para confirmar la varianza homogénea en las generaciones no segregantes, mientras que la distribución normal se confirmó mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Se realizó la prueba L.S.D. de Fisher para comparar las parentales P_1 , P_2 y la generación F_1 . Además, también se realizó una comparación de las medias de las generaciones F_1 y F_2 recíprocas para detectar la existencia de un efecto recíproco en las características objeto de estudio. Se

realizó un test de bondad de ajuste Chi-Cuadrado para detectar segregación transgresiva siguiendo el enfoque propuesto por Rodriguez et al. (2005) . Se consideró que la generación parental tenía un tamaño igual al de la generación F₂. Las frecuencias esperadas se calcularon asumiendo igual tamaño entre la generación parental y la F₂, y se consideraron fenotipos extremos aquellos individuos de la F₂ que superaban la media del rasgo en la generación parental y dos desvíos estándar (test de una cola, el 2,5 % de los individuos en una distribución normal). Bajo estos supuestos, cuando la proporción observada de individuos extremos en la generación F₂ superaba esta proporción esperada (un χ^2 significativo), se consideraba que el rasgo mostraba un patrón de herencia transgresivo.

La heredabilidad en sentido amplio (h_{bs}^2) se estimó a partir de los componentes de varianza de las generaciones no segregantes (P₁, P₂ and F₁) y de la generación F₂ de la siguiente manera (Kearsey & Pooni, 1996):

$$h_{bs}^2 = \frac{\sigma^2 G}{\sigma^2 Ph} \times 100$$

Donde h_{bs}^2 = heredabilidad en sentido amplio, $\sigma^2 G$ = varianza genotípica, $\sigma^2 Ph$ = varianza fenotípica.

La varianza entre plantas dentro de las F₁'s y los parentales P₁ y P₂ se consideró como varianza ambiental y se restó de la varianza entre plantas F₂ para obtener estimaciones de la varianza genotípica.

$$\sigma^2 E = \frac{\sigma^2 P_1 + \sigma^2 P_2 + \sigma^2 F_1}{3}$$

Donde $\sigma^2 E$ = Varianza ambiental, $\sigma^2 P_1$ = Varianza del parental 1, $\sigma^2 P_2$ = Varianza del parental 2, $\sigma^2 F_1$ = varianza de la generación F₁ .

$$\sigma^2 G = \sigma^2 Ph - \sigma^2 E$$

Para estimar la correlación genética entre rasgos se utilizó la metodología propuesta por Kearsey y Pooni (1996) .

2.4. Resultados



Figura 2.2: Planta de los genotipos parentales SP-41255 y BGSP-00166

2.4.1. Generación de variabilidad a partir del cruce biparental BGSP-00166 x SP-41255

Los genotipos parentales BGSP-00166 y SP-41255 fueron significativamente diferentes para todos los caracteres evaluados, a excepción de RB (Tabla 2.1). Por otra parte, los valores medios de todos los caracteres no mostraron diferencias significativas entre la F_1 y la F_2 recíproca ($p > 0,05$), como se muestra en la Tabla S1. Esto significa que no existe el efecto recíproco en este cruce para los caracteres analizados. Por lo tanto, decidimos fusionar las poblaciones recíprocas F_1 y F_2 .

Tabla 2.1: Mean and variance (in parentheses) of the traits in the non-segregating generations (BGSP-00166, SP-41255 and F_1) and the segregating generation F_2

Generations	Caracteres								
	SCY	LY	LP	BW	BN	FL	FS	MIC	FU
BGSP-00166	89.5a (1266.4)	25.8a (110.3)	30.9a (0.9)	6.2b (0.4)	14.5a (29.8)	32.5b (0.3)	37.1b (2.8)	3.9a (0.1)	85.5b (1.8)
SP-41255	86.9a (761.8)	36.6b (126.1)	43.4c (0.8)	4.6a (0.3)	19.1b (29.6)	26.9a (0.6)	30.7a (2.9)	4.8c (0.1)	82.0a (2.1)
F_1	123.5b (1013.1)	44.1b (126.6)	37.4b (0.4)	6.4b (0.6)	19.4b (26.7)	32.0b (0.3)	37.4b (0.9)	4.2b (0.1)	86.1b (0.9)
F_2	114.1 (1957.2)	37.5 (227.3)	37.2 (4.4)	5.9 (0.9)	19.7 (52.5)	31.3 (1.5)	36.1 (5.2)	4.3 (0.2)	84.9 (1.7)

RB: Seed cotton yield in g, LY: Lint yield in g,

LP: Lint percentage in %, BW: Boll weight in g, BN: Boll number per plant, SI: Seed index in g, LI: Lint index in g, SNPB: Seed number per boll, FL: Fibre length in mm, FS: Fibre strength g tex⁻¹, Mic: Micronaire, FU: Fibre uniformity in %.

2.5. Discusión

Aquí la discusión del capítulo 3

2.6. Conclusión

Aquí la conclusión del capítulo 3

Capítulo 3

Si es necesario un tercer capítulo

3.1. Introducción

Aquí una breve introducción del capítulo

3.2. Objetivo

Aquí objetivo del capítulo 3

3.3. Materiales y métodos

Aquí M y M del capítulo 3

3.4. Discusión

Aquí la discusión del capítulo 3

3.5. Conclusión

Aquí la conclusión del capítulo 3

Conclusión

Las conclusiones de la tesis aquí..

Apéndice A

Primer Apéndice

Sí es necesario incluir un apéndice, iría aquí..

En capítulo 1:

Descripción aquí..

Apéndice B

Segundo Apéndice

Este sería el segundo apéndice..

Referencias

- Acquaah, G. (2012). *Principles of plant genetics and breeding* (2. ed). Wiley-Blackwell.
- Ademe, M. S., He, S., Pan, Z., Sun, J., Wang, Q., Qin, H., Liu, J., Liu, H., Yang, J., Xu, D., Yang, J., Ma, Z., Zhang, J., Li, Z., Cai, Z., Zhang, X., Zhang, X., Huang, A., Yi, X., ... Du, X. (2017). Association mapping analysis of fiber yield and quality traits in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) *Molecular Genetics and Genomics*, 292(6), 1267-1280. <https://doi.org/10.1007/s00438-017-1346-9>
- An, C., Jenkins, J. N., Wu, J., Guo, Y., & McCarty, J. C. (2010). Use of fiber and fuzz mutants to detect QTL for yield components, seed, and fiber traits of upland cotton. *Euphytica*, 172(1), 21-34. <https://doi.org/10.1007/s10681-009-0009-2>
- ANIDA. (2024). Tipos climáticos en Argentina. Available at: <https://ide.ign.gob.ar/portal/apps/MapJournal/index.html?appid=b58d8b8841ef472e962317cac879e87f> (Accessed: 24 Apr 2024).
- Bardak, A., Hayat, K., Erdogan, O., Mahmood, Z., Khan, N.-I., Iqbal, M. A., Tekerek, H., & Mehboob-ur-Rahman. (2018). Genetic mapping in cotton [DOI: 10.5772/intechopen.74513]. En Mehboob-Ur-Rahman & Y. Zafar (Eds.). InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.74513>
- Baytar, A. A., Peynircioğlu, C., Sezener, V., Basal, H., Frary, A., Frary, A., & Doğanlar, S. (2018). Genome-wide association mapping of yield components and drought tolerance-related traits in cotton. *Molecular Breeding*, 38(6), 74. <https://doi.org/10.1007/s11032-018-0831-0>

- Bourland, F. M., Oosterhuis, D. M., & Tugwell, N. P. (1992). Concept for monitoring the growth and development of cotton plants using main-stem node counts. *Journal of Production Agriculture*, 5(4), 532-538. <https://doi.org/10.2134/jpa1992.0532>
- De Carvalho, L., Farias, F., Teodoro, L., & Teodoro, P. (2022). Genotype selection for fiber quality traits in cotton in the Brazilian Northeast. *Agronomy Journal*, 114. <https://doi.org/10.1002/agj2.21176>
- ICAC. (2023). Situación del Algodón en la Argentina, INFORME CAMPAÑA 2022/2023.
- Iqbal, M. A., & Rahman, M.-u. (2017). Identification of marker-trait associations for lint traits in cotton. *Frontiers in Plant Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00086>
- Kearsey, M. J., & Pooni, H. S. (1996). *The genetical analysis of quantitative traits* [DOI: 10.1007/978-1-4899-4441-2]. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-4441-2>
- Kerby, T. A., Bourland, F. M., & Hake, K. D. (2010). Physiological rationales in plant monitoring and mapping [DOI: 10.1007/978-90-481-3195-2_27]. En J. M. Stewart, D. M. Oosterhuis, J. J. Heitholt & J. R. Mauney (Eds.). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-90-481-3195-2_27
- Kerby, T. A., & Hake, K. D. (1996). Monitoring cotton's growth. *Cotton production manual*, 335-355.
- Li, C. Q., Dong, N., Fu, Y. Z., Sun, R. R., & Wang, Q. L. (2017). Marker detection and elite allele mining for yield traits in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) by association mapping. *The Journal of Agricultural Science*, 155(4), 613-628. <https://doi.org/10.1017/S0021859616000745>
- Lin, Z., He, D., Zhang, X., Nie, Y., Guo, X., Feng, C., & Stewart, J. M. (2005). Linkage map construction and mapping qtl for cotton fibre quality using srnp, ssr and rapd. *Plant Breeding*, 124(2), 180-187. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2004.01039.x>

- Liu, R., Wang, B., Guo, W., Qin, Y., Wang, L., Zhang, Y., & Zhang, T. (2012). Quantitative trait loci mapping for yield and its components by using two immortalized populations of a heterotic hybrid in *Gossypium hirsutum* L. *Molecular Breeding*, 29(2), 297-311. <https://doi.org/10.1007/s11032-011-9547-0>
- Liu, R., Gong, J., Xiao, X., Zhang, Z., Li, J., Liu, A., Lu, Q., Shang, H., Shi, Y., Ge, Q., Iqbal, M. S., Deng, X., Li, S., Pan, J., Duan, L., Zhang, Q., Jiang, X., Zou, X., Hafeez, A., ... Yuan, Y. (2018). Gwas analysis and qtl identification of fiber quality traits and yield components in upland cotton using enriched high-density snp markers. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1067. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01067>
- Liu, X., Teng, Z., Wang, J., Wu, T., Zhang, Z., Deng, X., Fang, X., Tan, Z., Ali, I., Liu, D., Zhang, J., Liu, D., Liu, F., & Zhang, Z. (2017). Enriching an intraspecific genetic map and identifying qtl for fiber quality and yield component traits across multiple environments in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) *Molecular Genetics and Genomics*, 292(6), 1281-1306. <https://doi.org/10.1007/s00438-017-1347-8>
- Luo, H. H., Zhang, H. L., Zhang, Y. L., & Zhang, W. F. (2017). Evolution characteristics related to photosynthesis, growth and yield in some old and new cotton cultivars. *Photosynthetica*, 55(2), 301-307. <https://doi.org/10.1007/s11099-016-0223-9>
- Meredith, W. R. (1984). Quantitative genetics [DOI: 10.2134/agronmonogr24.c5]. En R. J. Kohel & C. F. Lewis (Eds.). American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr24.c5>
- Naeem, M., Iqbal, M., Sami-Ul-Allah, W. N., & Zahid, W. (2017). QTL Identification for Within-Boll Yield Components of *Gossypium hirsutum* L. *Philippine Agricultural Scientist*, 100(3).
- Nidagundi, J. M., Shiva, K., Revanasiddayya, Patil, S., S., R., Hanchinal, S. G., & Ajayakumar, M. Y. (2023). Comparative variability studies for yield and fibre quality traits in F2 generations derived from single and double crosses in cotton (*Gossypium*

- hirsutum L). *Emergent Life Sciences Research*, 09(02), 265-275. <https://doi.org/10.31783/elsr.2023.92265275>
- Paterson, A. H., Brubaker, C. L., & Wendel, J. F. (1993). A rapid method for extraction of cotton (*Gossypium* spp.) genomic DNA suitable for RFLP or PCR analysis. *Plant Molecular Biology Reporter*, 11(2), 122-127. <https://doi.org/10.1007/BF02670470>
- Paytas, M. J., & Ploschuk, E. L. (2013). Cultivos industriales-Capítulo Algodón. En E. De La Fuente, A. Gil & A. Kantolil (Eds.). Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires.
- Pettigrew, W. T., Meredith Jr, W., & Zeng, L. (2013). Response of obsolete and modern cotton genotypes to varying plant densities. [Publisher: Cotton Foundation]. *Journal of Cotton Science*, 17(4), 253-262.
- Qin, H., Chen, M., Yi, X., Bie, S., Zhang, C., Zhang, Y., Lan, J., Meng, Y., Yuan, Y., & Jiao, C. (2015). Identification of associated SSR markers for yield component and fiber quality traits based on frame map and upland cotton collections (D. D. Fang, Ed.). *PLOS ONE*, 10(1), e0118073. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118073>
- R Core Team. (2024). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Ribeiro, L. P., Carvalho, L. P. d., Farias, F., Rodrigues, J. I. d. S., Teodoro, P. E., & Bhering, L. L. (2017). Genetic gains in agronomic and technological traits of elite cotton genotypes [Publisher: Instituto Agronômico de Campinas]. *Bragantia*, 77, 466-475. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.2017329>
- Rodriguez, G. R., Pratta, G. R., Zorzoli, R., & Picardi, L. A. (2005). Transgressive segregation for fruit quality traits in a cross between exotic and mutant genotypes of *lyopersicon*. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 33(4), 373-379. <https://doi.org/10.1080/01140671.2005.9514373>
- Royo, O. M., Poisson, J., Bonacic, I., Montenegro, A., Ibaló, S., Mazza, S., & Giménez, L. (2007). Direction of cotton breeding in Argentina.

- Scarpin, G. J., Dileo, P. N., Winkler, H. M., Cereijo, A. E., Lorenzini, F. G., Roeschlin, R. A., Muchut, R. J., Acuña, C., & Paytas, M. (2022). Genetic progress in cotton lint and yield components in Argentina. *Field Crops Research*, 275, 108322. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108322>
- Scarpin, G. J., Dileo, P. N., Winkler, H. M., Cereijo, A. E., Lorenzini, F. G., Muchut, R. J., Roeschlin, R. A., Mattalia, P., Acuña, C., & Paytas, M. (2023). Genetic progress in seed and fiber quality traits of cotton in Argentina. *Field Crops Research*, 302, 109106. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.109106>
- Shen, X., Guo, W., Lu, Q., Zhu, X., Yuan, Y., & Zhang, T. (2007). Genetic mapping of quantitative trait loci for fiber quality and yield trait by ril approach in upland cotton. *Euphytica*, 155(3), 371-380. <https://doi.org/10.1007/s10681-006-9338-6>
- Shi, Y., Li, W., Li, A., Ge, R., Zhang, B., Li, J., Liu, G., Li, J., Liu, A., & Shang, H. (2015). Constructing a high-density linkage map for *Gossypium hirsutum* × *Gossypium barbadense* and identifying QTLs for lint percentage [Publisher: Wiley Online Library]. *Journal of integrative plant biology*, 57(5), 450-467.
- Su, J., Fan, S., Li, L., Wei, H., Wang, C., Wang, H., Song, M., Zhang, C., Gu, L., Zhao, S., Mao, G., Wang, C., Pang, C., & Yu, S. (2016). Detection of favorable qtl alleles and candidate genes for lint percentage by gwas in chinese upland cotton. *Frontiers in Plant Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01576>
- Tang, B., Jenkins, J. N., Watson, C. E., McCarty, J. C., & Creech, R. G. (1996). Evaluation of genetic variances, heritabilities, and correlations for yield and fiber traits among cotton f2 hybrid populations. *Euphytica*, 91(3), 315-322. <https://doi.org/10.1007/BF00033093>
- Wang, B., Guo, W., Zhu, X., Wu, Y., Huang, N., & Zhang, T. (2007). Qtl mapping of yield and yield components for elite hybrid derived-rils in upland cotton. *Journal of Genetics and Genomics*, 34(1), 35-45. [https://doi.org/10.1016/S1673-8527\(07\)60005-8](https://doi.org/10.1016/S1673-8527(07)60005-8)

- Wang, H., Huang, C., Guo, H., Li, X., Zhao, W., Dai, B., Yan, Z., & Lin, Z. (2015). Qtl mapping for fiber and yield traits in upland cotton under multiple environments (K. Wang, Ed.). *PLOS ONE*, 10(6), e0130742. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130742>
- Wang, M., Li, C., & Wang, Q. (2014). Quantitative trait loci mapping and genetic dissection for lint percentage in upland cotton (*Gossypium hirsutum*). *Journal of Genetics*, 93(2), 371-378. <https://doi.org/10.1007/s12041-014-0385-9>
- Worley, S., Culp, T., & Harrell, D. (1974). The relative contributions of yield components to lint yield of upland cotton, *Gossypium hirsutum* L. [Publisher: Springer]. *Euphytica*, 23(2), 399-403.
- Xia, Z., Zhang, X., Liu, Y.-y., Jia, Z.-f., Zhao, H.-h., Li, C.-q., & Wang, Q.-l. (2014). Major gene identification and quantitative trait locus mapping for yield-related traits in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) *Journal of Integrative Agriculture*, 13(2), 299-309. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(13\)60508-0](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60508-0)
- Zhang, J., & Stewart, J. M. (2000). Economical and rapid method for extracting cotton genomic dna. *J Cotton Sci*, 4(3).
- Zhang, S., Feng, L., Xing, L., Yang, B., Gao, X., Zhu, X., Zhang, T., & Zhou, B. (2016). New QTLs for lint percentage and boll weight mined in introgression lines from two feral landraces into *Gossypium hirsutum* acc TM-1 [Publisher: Wiley Online Library]. *Plant Breeding*, 135(1), 90-101.
- Zhang, T., Yuan, Y., Yu, J., Guo, W., & Kohel, R. J. (2003). Molecular tagging of a major qtl for fiber strength in upland cotton and its marker-assisted selection. *Theoretical and Applied Genetics*, 106(2), 262-268. <https://doi.org/10.1007/s00122-002-1101-3>
- Zhang, Z.-S., Xiao, Y.-H., Luo, M., Li, X.-B., Luo, X.-Y., Hou, L., Li, D.-M., & Pei, Y. (2005). Construction of a genetic linkage map and qtl analysis of fiber-related traits in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) *Euphytica*, 144(1-2), 91-99. <https://doi.org/10.1007/s10681-005-4629-x>