



UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
Campo Experimental Villarino C.C. N° 14
S2125ZAA | Zavalla | Santa Fe | Argentina
Tel/Fax: +54 0341 497-0080
www.fcagr.unr.edu.ar
agro@unr.edu.ar



FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO

Caracterización de entradas de *Gossypium hirsutum* L. a través de variables asociadas al uso del agua

Mónica Viviana Spoljaric

Tesis para optar al título de Magister en Genética Vegetal

Director: Dr. Enrique Cointry

Co-Director: (Ing. Agr. MSc) Mauricio Tcach

Colaboradora: (Ing. Agr. MSc) Julieta Rojas

2016

“Caracterización de entradas de *Gossypium hirsutum* L. a través de variables asociadas al uso del agua”

Mónica Viviana Spoljaric

Licenciada en Ciencias Naturales-Universidad Nacional de Formosa

Esta Tesis es presentada como parte de los requisitos para optar al grado académico de Magister en Genética Vegetal en el área de Recursos Genéticos, de la Universidad Nacional de Rosario y no ha sido previamente presentada para la obtención de otro título en ésta u otra Universidad. La misma contiene los resultados obtenidos en Investigaciones llevadas a cabo en las Estaciones Experimentales INTA Sáenz Peña y Las Breñas, Chaco, durante el período comprendido entre 2013 y 2015 bajo la dirección del Dr. Enrique Cointry.

Maestreado: Mónica Viviana Spoljaric

Director: Dr. Enrique Cointry

Co-director: (Ing. Agr. MSc) Mauricio Tcach

Colaboradora: (Ing. Agr. MSc) Julieta Rojas

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a la institución de INTA por el financiamiento de la maestría permitiéndome el desarrollo profesional.

A la Escuela de Postgrado de la Facultad de Ciencias Agraria de la Universidad Nacional de Rosario y a los excelentes profesores de Maestría en Genética Vegetal por sus enseñanzas y calidad humana.

Al Dr. Enrique Cointry por su orientación, enseñanza y paciencia en la conducción del trabajo de tesis.

A la Ing. Agr. MSc. Julieta Rojas por su ayuda generosa y dedicada en la construcción y elaboración del trabajo de tesis. Además por brindarme su apoyo incondicional y sentirlo como propio al trabajo.

Al Ing. Agr. MSc. Mauricio Tcach por sus enseñanzas agronómicas sobre el cultivo, por las sugerencias en el trabajo y acompañamiento.

Al Ing. José Tarrago por su bondad y generosidad en transmitirme sus conocimientos de fisiología en algodón y poner al equipo de fisiología del INTA Las Breñas para el desarrollo del trabajo en cámara de cultivo y disposición de los equipos de medición.

Al grupo de apoyo de mejoramiento genético de algodón por la enorme colaboración en la ejecución del trabajo en invernáculo en especial a Luis Ayala y Walter Jaquienchuk.

A la Ing. Silvia Ibaló le agradezco enormemente de haberme transmitido sus conocimientos en eco fisiología de algodón y por su contención permanente.

Al Dr. Marcelo Paytas por su colaboración en el desarrollo del proyecto de tesis.

A mis compañeras y colegas por ayudarme en la búsqueda de información y corrección del trabajo, muchas gracias a: Laura Fontana, Lorena Klein, Marina Buchazio y Nidia Tcach.

A la Lic. Ariela González por ser mi compañera de maestría y por su apoyo incondicional.

A la Ing. Agr. MSc Raquel Defacio por su orientación en la caracterización y evaluación de recursos fitogenéticos y al grupo de trabajo del banco de germoplasma de maíz en especial a Lorena.

Dr. Liliana Picardi por hacer posible el desarrollo de mi formación en el Área de Recursos Genéticos.

A Diego Córdoba quien me vio transitar por esta etapa desde el comienzo hasta el fin. Gracias por la comprensión, acompañamiento y ayuda hasta el final.

“Esta tesis está dedicada a todos los trabajadores del oro blanco, que vieron como las sequías llevaron sus cosechas y sueños”.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

I	INTRODUCCION	1
I.1	Origen del algodón	2
I.2	Recursos Genéticos del Algodón en el mundo	3
I.3	Descripción Botánica.....	7
I.4	Biología reproductiva del algodón.....	8
I.5	Estrés abiótico.....	9
I.5.1	Estrés hídrico (sequía).....	9
I.5.2	Estrés y requerimientos hídricos en el algodón	10
I.5.2.1	Respuestas de caracteres fisiológicos al estrés hídrico	14
I.5.2.2	Respuestas de caracteres morfológicos-biomasa al estrés hídrico.....	16
I.5.2.3	Respuestas de caracteres productivos al estrés hídrico	18
I.6	Eficiencia del uso del agua	19
I.7	Heredabilidad en sentido amplio (H^2) o Grado de Determinación Genética (GDG).....	19
I.8	Descripción del problema	20
II	HIPOTESIS Y OBJETIVOS	22
II.1	Hipótesis	22
II.2	Objetivo General	22
II.3	Objetivos Específicos	22
III	MATERIALES Y MÉTODOS	23
III.1	Material Vegetal	23
III.2	Experimento 1: Corto plazo- Tratamiento de sequía- Etapa de crecimiento vegetativo.....	27
III.2.1	Variables fisiológicas analizadas	28
III.2.2	Análisis estadístico en las variables fisiológicas	29
III.2.2.1	Análisis univariado.....	29
III.2.2.2	Análisis de los componentes de la varianza para determinar la Heredabilidad (H^2).....	29

III.2.2.3	Análisis multivariado	31
III.3	Experimento 2: Largo plazo- Múltiple tratamiento de sequía- Ciclo completo de la planta.....	32
III.3.1	Variables morfológicas, asociadas al mapeo, biomasa y productivas analizadas	34
III.3.2	Análisis estadístico en variables morfológicas, asociadas al mapeo y productivas	37
III.3.2.1	Análisis univariado.....	37
III.3.2.2	Análisis de los componentes de la varianza para determinar Herederabilidad (H^2).....	37
III.3.2.3	Análisis multivariado	38
IV	RESULTADOS	39
IV.1	Experimento 1: Corto Plazo- Tratamiento de sequía-Etapa de crecimiento Vegetativo	39
IV.1.1	Análisis estadístico en variables fisiológicas.....	39
IV.1.1.1	Análisis univariado.....	39
IV.1.1.2	Análisis estadístico de los componentes de la varianza para determinar Heredabilidad (H^2).....	48
IV.1.1.3	Análisis multivariado	49
IV.1.1.3.1	Análisis de Componentes Principales para las variables para ambos tratamientos	49
IV.1.1.3.2	Análisis de componentes principales para el tratamiento con estrés	53
IV.1.1.3.3	Análisis de grupos para el tratamiento con estrés	56
IV.2	Experimento 2: Largo plazo- Múltiple tratamiento de sequía- Ciclo completo de la planta.....	61
IV.2.1	Análisis estadístico en las variables morfológicas, asociadas al mapeo, biomasa y productivas	61

IV.2.1.1	Análisis estadístico univariado.....	61
IV.2.1.1.1	Variables analizadas en el primer episodio de estrés hídrico (40 DDS)	61
IV.2.1.1.2	Variables analizadas en el segundo episodio de estrés hídrico (80 DDS)	65
IV.2.1.1.3	Variables analizadas en el tercer episodio de estrés hídrico (140 DDS)	69
IV.2.1.2	Análisis estadístico de los componentes de la varianza para determinar Herederabilidad en sentido amplio (H^2)	83
IV.2.1.3	Análisis multivariado.....	84
IV.2.1.3.1	Análisis de Componentes Principales para ambos tratamientos	84
IV.2.1.3.2	Análisis de componentes principales para el tratamiento con estrés	89
IV.2.1.3.3	Análisis de grupos para el tratamiento con estrés	93
V	DISCUSIÓN	99
VI	CONCLUSIÓN	127
VII	BIBLIOGRAFÍA	128
VIII	ANEXOS	155
VIII.1	Anexo I. Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento*Entrada en la variable conductancia estomática- Test LSD Fisher (Alfa=0,05).....	155
VIII.2	Anexo II. Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento*Entrada en la variable contenido de agua relativo- Test LSD Fisher (Alfa=0.05).....	156
VIII.3	Anexo III. Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento*Entrada en la variable altura de planta en el primer episodio de estrés - Test LSD Fisher (Alfa=0,05).....	157
VIII.4	Anexo IV. Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento*Entrada en la variable área foliar en el primer episodio de estrés hídrico- Test LSD Fisher (Alfa=0,05).....	158

VIII.5	Anexo V. Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento*Entrada en la variable altura de planta en el segundo episodio de estrés hídrico –Test LSD Fisher (Alfa=0,05).....	159
VIII.6	Anexo VI. Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento*Entrada en la variable área foliar en el segundo episodio de estrés hídrico –TestLSD Fisher (Alfa=0,05).....	160
VIII.7	Anexo VII. Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento*Entrada en la variable precocidad después de los tres episodios de estrés hídrico-Test LSD Fisher (Alfa=0,05).....	161
VIII.8	Anexo VIII. Resumen del comportamiento de las variables de mapeo después de los tres episodios de estrés hídrico.....	162
VIII.9	Anexo IX. Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento*Entrada según biomasa aérea después de los tres episodios de estrés hídrico-Test LSD Fisher (Alfa=0,05).....	163
VIII.10	Anexo X. Representacion fotográfica del Experimento 1	164
VIII.11	Anexo XI. Representacion fotográfica del Experimento 2	165

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Requerimiento de agua en algodón (m^3/ha)	12
Tabla 2. Entradas de la colección de algodón del banco de germoplasma de EEA Sáenz Peña	23
Tabla 3. Cuadro de análisis de varianza para calcular heredabilidad en sentido amplio	30
Tabla 4. Medidas de ajuste del modelo mixto	39
Tabla 5. Pruebas de hipótesis secuenciales para la variable conductancia estomática	39
Tabla 6. Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento según conductancia estomática- Ce Test LSD Fisher (Alfa=0,05).....	40
Tabla 7. Parámetros de la función de varianza de los tratamientos según conductancia estomática	41
Tabla 8. Estimación de varianza para ambos tratamientos en conductancia estomática	41
Tabla 9. Medidas de ajuste del modelo mixto	41
Tabla 10. Pruebas de hipótesis marginales para la variable temperatura con varianzas heterogéneas para las entradas	42
Tabla 11. Medias ajustadas y errores estándares para las entradas según temperatura foliar - Test LSD Fisher (Alfa=0.05).....	43
Tabla 12. Parámetros de la función de varianza de las entradas según temperatura foliar.....	44
Tabla 13. Estimación de varianza para las entradas en temperatura foliar	45
Tabla 14. Medidas de ajuste del modelo mixto	46
Tabla 15. Pruebas de hipótesis secuenciales para la variable contenido de agua relativo.....	46
Tabla 16. Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento según contenido de agua relativo – Test LSD Fisher (Alfa=0,05)	46
Tabla 17. Varianzas genética, fenotípica y heredabilidades en sentido amplio en los dos tratamientos para contenido de agua relativo y conductancia estomática	48
Tabla 18. Valores de las componentes principales	49
Tabla 19. Correlación de conductancia estomática, temperatura foliar y contenido de agua relativo con cada componente principal (autovectores).....	50
Tabla 20. Prueba de significancia de la correlación de conductancia estomática, temperatura foliar y contenido de agua relativo con las CP 1 y CP 2 (Test de Student).....	51
Tabla 21. Prueba de significancia de la correlación de la variable categórica Tratamiento con la CP1 (Test de Student).....	51
Tabla 22. Valores de las componentes principales en el tratamiento con estrés hídrico	53

Tabla 23. Correlación de conductancia estomática, temperatura foliar y contenido de agua relativo con cada componente principal (autovectores).....	53
Tabla 24. Coordenadas de las entradas en las CP1 y CP2	54
Tabla 25. Descripción de los grupos a través de las variables continuas (conductancia estomática, temperatura foliar y contenido de agua relativo)	59
Tabla 26. Descripción de los grupos por las componentes principales	60
Tabla 27. Descripción de los grupos por las componentes principales	60
Tabla 28. Medidas de resumen para los tratamientos según altura de planta y área foliar en el período de estrés iniciado a los 30 días después de la siembra	61
Tabla 29. Medidas de ajuste del modelo mixto	62
Tabla 30. Pruebas de hipótesis secuenciales para altura de planta en el período de estrés iniciado a los 30 días después de la siembra	62
Tabla 31. Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento según altura de planta- Test LSD Fisher (Alfa=0,05).....	63
Tabla 32. Medidas de ajuste del modelo mixto	64
Tabla 33. Pruebas de hipótesis secuenciales para área foliar en el período de estrés iniciado a los 30 días después de la siembra	64
Tabla 34. Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento según área foliar- Test LSD Fisher (Alfa=0,05)	64
Tabla 35. Medidas de resumen para los tratamientos según Altura de planta y Área foliar para el período de estrés iniciado a los 70 días de la siembra	65
Tabla 36. Medidas de ajuste del modelo mixto	66
Tabla 37. Pruebas de hipótesis secuenciales para altura en el período de estrés iniciado a los 70 días después de la siembra	66
Tabla 38. Medidas de ajuste del modelo mixto	67
Tabla 39. Pruebas de hipótesis secuenciales para área foliar en el período de estrés iniciado a los 70 días después de la siembra	68
Tabla 40. Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento según área foliar- Test LSD Fisher (Alfa=0,05)	68
Tabla 41. Pruebas de hipótesis secuenciales para consumo de agua en el ciclo completo del cultivo	70
Tabla 42. Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento según consumo de agua- Test LSD Fisher (Alfa=0,05)	70
Tabla 43. Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento según variables del mapeo a fin de ciclo del cultivo- Test LSD Fisher (Alfa=0,05)	71

Tabla 44. Pruebas de hipótesis secuenciales para altura de planta a fin de ciclo del cultivo	72
Tabla 45. Medias ajustadas y errores estándares para Entrada según altura de planta – Test LSD Fisher (Alfa=0,05).....	72
Tabla 46. Pruebas de hipótesis secuenciales para N° de nudos del tallo principal a fin de ciclo del cultivo.....	73
Tabla 47. Medias ajustadas y errores estándares para Entrada según N° de nudos del tallo principal - Test LSD Fisher (Alfa=0,05).....	73
Tabla 48. Pruebas de hipótesis secuenciales para N° de ramas fructíferas a fin de ciclo del cultivo.....	74
Tabla 49. Medias ajustadas y errores estándares para Entrada según N° de ramas fructíferas –Test LSD Fisher (Alfa=0,05).....	74
Tabla 50. Pruebas de hipótesis secuenciales para total de puntos fructíferos de la planta a fin de ciclo del cultivo	75
Tabla 51. Pruebas de hipótesis secuenciales para total de puntos fructíferos de la planta a fin de ciclo del cultivo	75
Tabla 52. Pruebas de hipótesis secuenciales para porcentaje de frutos fijados del total de puntos diferenciados en la planta a fin de ciclo del cultivo	76
Tabla 53. Medias ajustadas y errores estándares para Entrada según frutos fijados del total de puntos diferenciados en la planta-Test LSD Fisher (Alfa=0,05).....	76
Tabla 54. Pruebas de hipótesis secuenciales para N° frutos caídos a fin de ciclo del cultivo	77
Tabla 55. Medias ajustadas y errores estándares para Entrada según N° frutos caídos- Test LSD Fisher (Alfa=0,05)	77
Tabla 56. Pruebas de hipótesis secuenciales para N° de capullos a fin de ciclo del cultivo	78
Tabla 57. Pruebas de hipótesis secuenciales para precocidad a fin de ciclo del cultivo.....	78
Tabla 58. Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento según variables de biomasa a fin de ciclo del cultivo- Test LSD Fisher (Alfa=0,05).....	79
Tabla 59. Pruebas de hipótesis secuenciales para Biomasa total a fin de ciclo del cultivo	80
Tabla 60. Pruebas de hipótesis secuenciales para biomasa aérea a fin de ciclo del cultivo	80
Tabla 61. Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento según variables de rendimientos a fin de ciclo del cultivo- Test LSD Fisher (Alfa=0,05).....	81

Tabla 62. Pruebas de hipótesis secuenciales para rendimiento de algodón a fin de ciclo del cultivo.....	82
Tabla 63. Pruebas de hipótesis secuenciales para rendimiento de semilla a fin de ciclo del cultivo.....	82
Tabla 64. Pruebas de hipótesis secuenciales para eficiencia en el uso del agua a fin de ciclo del cultivo.....	82
Tabla 65. Varianzas genéticas, fenotípicas y heredabilidades en sentido amplio en los dos tratamientos para variables de mapeo, biomاسas y rendimientos	83
Tabla 66. Descomposición de la variabilidad total por componente para ambas condiciones de humedad	84
Tabla 67. Correlación de las variables de mapeo, biomاسas y rendimientos con cada componente principal (autovectores)	85
Tabla 68. Prueba de significancia de la correlación de las variables de mapeo, biomاسas y rendimientos con las componentes principales (Test de Student).....	86
Tabla 69. Prueba de significancia de la correlación de la variable categórica Tratamiento con las CP (Test de Student)	87
Tabla 70. Descomposición de la variabilidad total por componente en condiciones de estrés hídrico	89
Tabla 71. Correlación de las variables de mapeo, biomاسas y rendimientos con cada componente principal (autovectores)	90
Tabla 72. Coordenadas de las entradas en las CP1 y CP2	92
Tabla 73. Descripción de los grupos a través de las variables continuas (mapeo, biomاسas y rendimientos)	97
Tabla 74. Descripción de los grupos por las componentes principales	98
Tabla 75. Descripción de las entradas por los individuos (entradas).....	98

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1: Manifestación síntomas de marchitamiento en hojas producido por la falta de agua y ausencia de síntomas en el tratamiento control.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 2: Gráfico de variables Ce, T y CAR en las CP1 y 2 en los dos tratamientos.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 3: Gráfico de individuos y diferencias significativas (elipses) en los tratamientos sin estrés y con estrés hídrico en las CP1 y CP2.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 4: Gráfico de variables Ce, T y CAR en las CP1 y CP2 en condiciones de estrés hídrico.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 5: Gráfico de individuos (entradas) en las CP1 y CP 2 en condiciones de estrés hídrico.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 6: Árbol jerárquico dividiendo a las entradas en tres grupos por las CP1 y 2 en condiciones de estrés.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 7: Representación de los grupos de entradas en el mapa en condiciones de estrés hídrico formados a partir de las CP1 y CP2.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 8: Consumo de agua durante el ciclo completo del cultivo en los dos tratamientos.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 9: Representación de la partición de la biomasa seca total en los dos tratamientos.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 10: Gráfico de las variables en las CP 1 y 2 en los dos tratamientos.....</i>	<i>86</i>
<i>Figura 11: Gráfico de individuos y diferencias significativas (elipses) en los tratamientos sin estrés y con estrés hídrico en las CP 1 y CP 2.....</i>	<i>88</i>
<i>Figura 12: Gráfico de las variables que definen a las CP1 y 2 en condiciones estrés hídrico.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 13: Gráfico de las entradas distribuidas según las CP1 y 2 en condiciones de estrés hídrico.....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 14: Árbol jerárquico dividiendo a las entradas en tres grupos por las CP1 y CP2 en condiciones de estrés hídrico.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 15: Representación de los grupos de entradas en el mapa en condiciones de estrés hídrico formados a partir de las CP1 y CP 2.....</i>	<i>95</i>

ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

%:	porcentaje
°C:	grados centígrados
2n:	diploide
2x:	dos sets haploides
4x:	cuatro sets haploides
mm:	milímetro
m³:	metro cúbico
Kg:	kilogramo
g:	gramo
g/tex:	gramos/tex
m³/ha:	metro cúbico por hectárea
mmol/m²/s⁻¹:	milimol por metro cuadrado por segundo
cm²:	centímetros cuadrados
L:	litros
CO₂:	Dióxido de carbono
C₃:	Carbono tres
ACP:	Análisis de Componentes Principales
AF:	Área Foliar
AlgBr:	Algodón en Bruto
AU:	Agua Útil
AP:	Altura de Planta
Ba:	Biomasa Aérea
BAG:	Banco Activo de Germoplasma
BGSP:	Banco de Germoplasma de Sáenz Peña
Bt:	Biomasa total
Br:	Biomasa de raíces
CAR:	Contenido de Agua Relativo
CAI:	Nº Frutos Caídos
CAPL:	Nº de Capullos
Ce:	Conductancia estomática
CC:	Capacidad de Campo
Ct.L:	Consumo total en litros
CP:	Componente Principal

CP1:	Componente Principal uno
CP2:	Componente Principal dos
DDS:	Días Después de la Siembra
H² o GDG:	Heredabilidad en sentido amplio o Grado de Determinación Genética
SP:	Sáenz Peña
INTA:	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
EEA:	Estación Experimental Agropecuaria
USDA:	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos
NEA:	Noreste Argentino
NOA:	Noroeste Argentino
FAO:	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
EUA:	Eficiencia en el Uso del Agua
PM:	Punto de Marchitez
RV:	Ramas Vegetativas
NN:	Nº de Nudos del tallo principal
LME:	Longitud Media de los Entrenudos del tallo principal
NPRF:	Nº de nudo del tallo principal en que se inserta la primer rama fructífera
NRF:	Nº de Ramas Fructíferas
TPF:	Total de Puntos Fructíferos de la planta
T:	Temperatura foliar
%F:	Porcentaje de frutos fijados del total de puntos diferenciados en la planta
PREC:	Precocidad
Fi:	Fibra
Sem:	Semilla
RIAN:	Red de Información Agropecuaria Nacional

RESUMEN

El estrés hídrico limita la productividad de los cultivos, unas de las estrategias para minimizar el impacto producido es la selección de variedades agrónomicamente más eficientes en la utilización del agua.

En el presente estudio se planteo la hipótesis que los genotipos representativos coleccionados y conservados en el banco de germoplasma de INTA difieren en su tolerancia al estrés hídrico. Como objetivo general fue caracterizar 20 entradas de algodón *Gossypium hirsutum* L. del banco de germoplasma del INTA Sáenz Peña por la tolerancia al estrés hídrico en dos períodos fenológicos utilizando variables asociadas al uso del agua. Los objetivos específicos: i) evaluar el efecto del estrés hídrico sobre caracteres fisiológicos y morfológicos tales como altura, área foliar, biomasa área y de raíces, producción de fibra, semilla y número de estructuras retenidas; ii) determinar la existencia de diferencias genéticas para las variables asociadas al uso del agua mediante la estimación del Grado de Determinación Genética (GDG) o heredabilidad en sentido amplio (H^2), e iii) identificar entradas con mayor tolerancia al estrés hídrico.

La respuesta de 20 entradas de algodón al suministro normal y con limitación de agua fueron examinadas bajo condiciones de cámara de crecimiento e invernáculo durante el período 2013-2015 en las EEA INTA Sáenz Peña y Las Breñas, Provincia de Chaco, Argentina. Se diseñaron dos experimentos: en el primero se midieron temperatura foliar, conductancia estomática y contenido de agua relativo en etapa vegetativa y en el segundo se midieron las variables agronómicas en el ciclo completo de la planta. Se utilizó un diseño experimental bifactorial. El factor A: tratamiento principal: sin estrés o sin limitaciones de agua y con estrés o con suspensión de la oferta de agua a partir de la tercera hoja verdadera en el experimento 1, y en el experimento 2, se generaron tres episodios de estrés hídrico a los 30, 70 y 120 días después de la siembra con una duración de diez días a partir del 50% de agua útil. Luego de los episodios de estrés hídrico se mantuvieron las macetas por encima del 50% del agua útil. El factor B fue el correspondiente a las 20 entradas caracterizadas.

Mediante el análisis inferencial con modelos generales lineales y mixtos se evaluó el efecto del estrés hídrico sobre los caracteres fisiológicos y morfo-productivos, determinando que el 50% de las entradas no fueron afectadas por el estrés y que el 80% de estas reanudaron su crecimiento después de los episodios de estrés inducidos. Para la identificación de entradas con mayor tolerancia al estrés

hídrico se procedió a efectuar un análisis multivariado en forma conjunta para las variables medidas.

La determinación de diferencias genéticas solo en las variables que presentaron diferencias significativas para los tratamientos (con y sin estrés) mediante la estimación de la heredabilidad en sentido amplio. Los resultados indicaron que las diferencias genéticas en las variables fisiológicas y agronómicas son bajas debido a la presencia de interacciones (Tratamiento*Entrada) y un fuerte efecto ambiental causado por las contrastantes condiciones de estrés y sin estrés hídrico, que enmascararon la variancia genética. En primer lugar se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) para todos los datos, luego nuevamente un ACP solamente con los datos del tratamiento de estrés hídrico. Con los datos del ACP se procedió a realizar un análisis de conglomerados que se representó con un dendrograma. En ambos experimentos las variables pudieron separar a los tratamientos significativamente y el análisis de conglomerado clasificó a las entradas en tres grupos bien contrastantes en los experimentos. Así el experimento uno clasificó las entradas con mayor tolerancia al estrés hídrico en relación al contenido de agua relativo y conductancia estomática (BGSP 765, BGSP 463, BGSP 735, BGSP 804, BGSP 803, BGSP 67, BGSP 514, BGSP 475, BGSP 507, SP48114) y el experimento 2, las entradas (BGSP 765, BGSP 514, BGSP 52, BGSP 750, BGSP 803, SP48114, BGSP 463 y BGSP 716) que presentaron mejores características en porcentaje de frutos fijados del total diferenciados en la planta, total de puntos fructíferos, altura de planta, biomasa aérea, rendimiento en algodón en bruto, semillas y número de capullos. La altura de planta y biomasa área fueron las que más se correlacionaron positivamente con el uso del agua. Esta identificación se refuerza aún más debido a que los genotipos seleccionados (BGSP 765, BGSP 463, BGSP 803, BGSP 514 y SP 48114) provienen de los dos mejores grupos tanto para atributos fisiológicos como agronómicos. Los resultados obtenidos proveen la primera caracterización del banco de germoplasma por la tolerancia al estrés hídrico, iniciando así, el primer paso en la contribución con germoplasma disponible para el programa de mejoramiento genético en el desarrollo de líneas o variedades más adaptadas al estrés hídrico. En respuesta a la hipótesis de investigación planteada podemos concluir que los genotipos representativos coleccionados y conservados en el banco de germoplasma del INTA difieren en su tolerancia al estrés hídrico. Como perspectiva, se pretende evaluar las entradas que mostraron mejores atributos al estrés hídrico en distintos ambientes para mejorar las estimaciones genéticas.

ABSTRACT

Characterization of *Gossypium hirsutum* L. entries by variables associated to water use

Responses of 20 accessiones cotton to normal and limited water supply were examined under growth chamber and greenhouse conditions during the period from 2013 to 2015 in the EEA INTA Sáenz Peña and Las Breñas (Chaco, Argentina). The characterization was made on physiological variables in the early stages of cultivation, and agronomic variables associated with the use of water during the entire cycle. Accessiones under stress showed different responses, but water consumption was similar.

While the existence of genetic differences estimated through broad-sense heritability was low, it was possible to identify varieties with greater tolerance to water stress by principal components analysis and clustering. The selected entries BGSP 765, BGSP 463, BGSP 803, BGSP 514 and SP 48114 showed better physiological and agronomic characteristics under stress conditions. The existence of variability in the germplasm of cotton suggests that genetic improvement can be made through the selection of the most tolerant accessiones.

I INTRODUCCION

El algodón (*Gossypium spp.*) es el principal cultivo de fibra natural. La producción a nivel mundial se ha cuadruplicado en las décadas que van de 1950/51 hasta 2004/05, pasando de 7 millones de toneladas en la campaña 1950/51 a 27 millones de toneladas en el 2004/05, con una tasa de crecimiento promedio de 2,5% por año (290.000 toneladas por año), (Wakelyn y Chaudhry, 2010). Según datos proporcionados por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2012), China es el principal productor de algodón con 6,6 millones toneladas en el 2012/2013, seguida por India (5,2 millones de toneladas), Estados Unidos (3,7 millones de toneladas), Pakistán (2,1 millones de toneladas) y Brasil (1,5 millones de toneladas). Se cultiva en aproximadamente 80 países, ocupando el 2% de la superficie terrestre arable.

El algodón comparte la industria textil con otras fibras naturales y sintéticas (poliéster), ocupando un 70% en la década del 50 y 40% en el 2000/01 (ICAC, 2009). En términos generales, la región algodonera mundial es muy extensa. Existen cuatro países que mantienen el liderazgo en los últimos 30 años: China, India, Estados Unidos y Pakistán. En Sudamérica, se cultiva en Brasil, con fluctuaciones importantes en las últimas tres décadas motivada por la sustitución del área algodonera con el cultivo de soja y por la infestación provocada por *Anthonomus grandis* Boheman denominado el picudo del algodonero (Paytas y Ploschuk, 2013).

En Argentina, representa una de las mayores economías regionales, ligada al desarrollo de la región del Noreste (NEA) y Noroeste (NOA) con un fuerte componente cultural en el NEA. De acuerdo a la información suministrada por el Ministerio de Agroindustria de la Nación, el área algodonera nacional en el ciclo 2014/15 fue de 530.280 hectáreas y las provincias más importantes en superficie sembrada son: Chaco (269.350 ha), Santiago del Estero (135.000 ha), Santa Fe (96.000 ha) y Formosa (16.000 ha); y en menor porcentaje Salta (9.000 ha), San Luis (2.700 ha), Entre Ríos (1.100 ha), Corrientes (480 ha) y Córdoba (350 ha).

El sector algodonero argentino se ha caracterizado a lo largo de su historia por períodos de extrema inestabilidad pasando de etapas de grandes ganancias a épocas de quebranto, tal como lo expresan Larramendy y Pellegrino (2005) al describir los distintos escenarios por los que atravesó el cultivo entre 1935 y 2005. Múltiples son los factores que provocaron estas situaciones: precios, relación cambiaria, capital, ambiente, costos, tanto en

exceso como en déficit que terminaron afectando la competitividad de esta cadena agroindustrial.

En la provincia del Chaco la adopción de la soja le restó superficie al algodón, así en la campaña 2010/2011 la superficie sembrada de soja fue de 390.000 hectáreas con respecto al cultivo de algodón que alcanzó 260.000 hectáreas (RIAN, 2011). Sin embargo, el sistema de siembra denominado "surcos estrechos", a altas densidades logró estabilizar la producción. Del mismo modo, jugaron un papel de importancia para el incremento de la adopción del cultivo el desarrollo de máquinas cosechadoras de tipo "stripper" de bajo costo de adquisición y mantenimiento (Paytas, 2010).

I.1 Origen del algodón

El algodón es una dicotiledónea perteneciente al orden *Malvales*, familia de las *Malváceas*, tribu *Gossypieae* y al género *Gossypium*. Según estudios moleculares, la tribu *Gossypieae* existe desde hace al menos 12,5 millones de años, con distribución en tres centros primarios de diversificación: i) Australia (principalmente en la región de Kimberly), ii) África y el sur de la península de Arabia, iii) oeste y centro de México (Wendel et al., 2010). Existen aproximadamente 50 especies, siendo 45 diploides ($2n = 2x = 26$) y 5 especies tetraploides ($2n = 4x = 52$) (Edwards et al., 1974; Fryxell, 1992; Percival et al., 1999).

Las especies diploides de uso comercial son *G. herbaceum* L. y *G. arboreum* Vell. conocidas como algodones del viejo mundo (europeas y asiáticas). Sus fibras son las más cortas y gruesas (que van de un largo de 9,5 a 19 mm y un micronaire o grosor de fibra mayor a seis). Representan el 2% de las especies cultivadas en el mundo y actualmente se siembran en países como India, Pakistán, Myanmar, Bangladesh, Tailandia y Vietnam.

Por otro lado están las especies tetraploides representadas por *G. hirsutum* L. y *G. barbadense* L., llamados algodones del nuevo mundo (Fryxell, 1992; Basavaraddi, 2007) y son responsables del 98% de la producción mundial de fibra de algodón.

G. hirsutum L. fue desarrollada en Estados Unidos a partir del algodón nativo de México y América Central, e incluye la mayoría de las variedades comerciales actuales de "Upland cotton" o algodón de fibra corta (largo de 22 a 36 mm y micronaire de 3,8 a 5) constituye el 90% del algodón bruto producido en el mundo y única especie cultivada en Argentina (Mondino y Peterlin, 2006).

G. barbadense L. es otra especie tetraploide, con orígenes en Sudamérica, caracterizada por producir las fibras más largas (más de 35 mm) y finas con valor de micronaire menor a cuatro. Considerando su carácter extra largo o "extra-long-staple" (ELS),

forma parte del 8% de la producción mundial. Incluye las variedades comerciales Egipcia, Americana/egipcia y Sea Island.

Egipto y Sudán son actualmente, los principales productores de ELS en el mundo. "Pima" (como también se llama a las ELS Americana/egipcia) se producen en el oeste de los Estados Unidos (principalmente California y Arizona, sudoeste de Texas y Nuevo México), como también en Sudamérica.

I.2 Recursos Genéticos del Algodón en el mundo

El valor de los recursos genéticos colectados y conservados es muy importante en relación con la agrobiodiversidad y con la búsqueda de nuevas fuentes de genes útiles. La importancia de los recursos genéticos se reconoció en la plataforma intergubernamental de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) como el "patrimonio común de la humanidad", que debería ser puesto a disposición sin restricciones (FAO, 2009), conformando el algodón parte de estos recursos.

Los países de Australia, Brasil, China, India, Rusia, Estados Unidos y Francia representan la mayoría de los recursos genéticos de algodón en el mundo, sin embargo, Argentina cuenta también con un banco de germoplasma que forma parte de la base genética en la creación de nuevas variedades. A continuación se describen las colecciones y sus principales recursos genéticos de algodón:

-Estados Unidos

Como se mencionó anteriormente EEUU es un gran productor de algodón siendo producido en 17 estados del sur, desde Virginia a California. Se cultivan dos especies de algodón *G. hirsutum* y *G. barbadense*. El USDA es actualmente quien conserva cerca de 10.000 entradas que cubren 45 especies de *Gossypium* y se mantienen en la Colección Nacional de *Gossypium*. La colección se divide en siete partes: (i) colección de variedades, (ii) la colección primitiva raza criolla, (iii) colección *G. barbadense*, (iv) colección asiática (especies A-genoma), (v) colección de especies silvestres, (vi) colección de marcador genético, y (vii) una colección de base de todos los materiales en las Partes 1-6 y nuevas introducciones de plantas (Percival et al., 1999). Dentro de la colección de variedades se encuentran las principales variedades desarrolladas por los EEUU denominadas Stoneville en 1922 por "Stoneville Pedigree Seed Company" y Paymaster, que presentan capsula "stormproof" de ciclo corto, crecimiento determinado (precoces). También las variedades Delta corresponden a las series Deltapine y Stoneville, cultivados en el Delta del Mississippi, Arizona y Carolina del Sur (EE.UU). La serie Deltapine aparentemente derivó de

introducciones mexicanas durante la década de 1860 (Niles y Feaster, 1984). Otras variedades son Acala cultivadas en las regiones de regadío del Oeste de Texas, Nuevo México y el Valle de San Joaquín de California (EE.UU.) y Línea de Texas Agric. Exp. Station; y Coker.

-Australia

Australia es responsable de aproximadamente el 12% de la producción mundial de algodón, y es el tercer mayor exportador de fibra de algodón. El setenta por ciento de algodón de Australia se cultiva en el estado de Nueva Gales del Sur, y el resto se produce en el estado de Queensland (CRDI, 2005). Actualmente, las colecciones de algodón en Australia residen en dos lugares: (i) la Mancomunidad Científica y la Organización de Investigación Industriales (CSIRO, Planta Industrial), Narrabri, Nueva Gales del Sur; con 542 entradas de *G. hirsutum*, 63 entradas de *G. barbadense*, 30 raza y especies silvestre diploide y (ii) Centro de Germoplasma de Granos Tropicales Australiano (ATGGC) Biloela, Queensland, presenta 1080 entradas, el 90% pertenecen a *G. hirsutum* y el resto comprenden entre especies de tetraploide y diploide. La variedad Siokra L23 de hoja okra (muy lobulada) fue utilizada por varias investigaciones demostrando características favorables para afrontar condiciones de déficit hídrico (Nepomuceno et al., 1998; Esha Poudel 2011).

-China

China es uno de los mayores productores y consumidores de algodón en el mundo. Presenta tres zonas predominantes de siembra, Xinjiang, Rio Amarillo y Changjiang. La colección de germoplasma de algodón de China se encuentra en la Academia China de Ciencias Agrícolas en Beijing, Anyang e isla de Hainan. La colección completa consta de 8.868 entradas que representan especies cultivadas (*G. arboreum*, *G. herbaceum*, *G. hirsutum*, *G. barbadense*) y 41 especies silvestres. La misma está representada por: i) Colección a largo plazo en Beijing ii) colección de trabajo Anyang iii) colección a campo en Isla de Hainan de especies silvestres. Los trabajos de caracterización y evaluación están enfocados en caracteres agronómicos, calidad de fibra, de la semilla y de resistencia al estrés abiótico, resistencia a enfermedades, y a insectos. Los cultivares presentan principalmente características de ciclo largo.

-Rusia

Antes de la disolución de la Unión de Repúblicas Soviéticas Socialistas (URSS) en 1991, Rusia era un centro primario de algodón en la fabricación de textiles en Asia Central. Aunque a lo largo de algodón historia no se ha producido en Rusia, la antigua URSS sigue

representando una principal fuente mundial de la producción de algodón y exportación. Tras el establecimiento de repúblicas independientes, los antiguos países productores de algodón de la URSS de Asia Central, incluidos Uzbekistán, Turkmenistán, Kazajistán, Tayikistán, y Azerbaiyán, han continuado la producción y exportación grandes cantidades de algodón.

En la actualidad la colección de germoplasma de algodón de Rusia, mejor conocida como la colección VIR, está alojada en San Petersburgo y se compone de 6.322 entradas compuestas de 24 especies diploides, tres tetraploides, y varios diploides y tetraploides híbridos. El desarrollo de cultivares de algodón se enfocó principalmente en la producción de materiales de ciclo corto para los países asiáticos y de Europa Central, interviniendo muchas entradas procedentes de Bulgaria, Grecia, Yugoslavia, Rumania, Albania y otros países europeos para proporcionar la adaptación a las zonas climáticas del norte. Estos cultivares son POSS-1, POSS-2, AS-IV, AS-V, AS-VI, AS-VII, Yugtex-1, Yugtex- 2, Goliot, entre otros.

-Brasil

Es el quinto productor de algodón a nivel mundial, las zonas de siembra hasta fines de la década del 80 estaba conformada por los estados de Paraná (50%), Sao Paulo (25%) y Minas Gerais (5%). A partir de 1990 hasta la fecha la producción se concentra en Estado de Mato Grosso (De Melo Faria y Campos, 2012).

La colección brasileña es mantenida por la Empresa Brasileira de Investigación Agropecuaria (Embrapa) en el Centro Nacional de Recursos Genéticos y Biotecnología. Se conservan cerca de 4.361 entradas de algodón, de los cuales 39% son *G. hirsutum* y 35% *G. barbadense*. Las entradas restantes representan 26 especies diploides y las otras tres especies tetraploides (Campbell et al., 2010). El nivel de resistencia a algunas de las enfermedades más importantes sigue siendo inferior al necesario, y se están haciendo trabajos de caracterización y evaluación para identificar nuevas fuentes de resistencia. Debido al cambio de área de siembra los esfuerzos estuvieron enfocados hacia el desarrollo de variedades de ciclo largo del cultivo.

-India

En la India, el algodón es uno de los principales productos básicos agrícolas y una gran parte de la economía del país. De acuerdo con el Banco Mundial, la India es el segundo mayor productor y consumidor de algodón. Su colección de germoplasma de algodón se mantiene como una colección de trabajo en el Instituto Central para la Investigación en Algodón en Nagpur y Coimbatore y como una colección de almacenamiento permanente en la Oficina Nacional de Recursos Fitogenéticos. El total de

entradas es de 10.227 y representan variedades cultivadas de *G. hirsutum*, *G. barbadense*, *G. arboreum* y *G. herbaceum* (Campbell et al., 2010).

Los trabajos de evaluación y caracterización de germoplasma incluyeron estudios morfológicos, taxonómicos, caracteres que aportan rendimientos, parámetros de calidad de fibra y comportamiento ante estrés biótico y abiótico. En estudios básicos, variación estructural del gopipol y néctar glándulares, granos de polen, receptividad del estigma, estudios citogenéticas, y compatibilidad cruzada entre los diversos especies (silvestres y cultivadas).

-Francia

La colección de germoplasma de algodón francesa está a cargo del Centro de Cooperación Internacional para la Investigación y Desarrollo Agronómico (CIRAD). La colección contiene 3.070 entradas que representan cinco especies tetraploides y 27 especies diploides. Las entradas se organizan según especie, localización geográfica y origen ancestral (Campbell et al., 2010). Las entradas corresponden a las especies *G. hirsutum*, *G. arboreum*, *G. herbaceum*, *G. barbadense* *G. raimondii* Ulbrich y especies silvestres y rasas locales.

Los trabajos de caracterización y evaluación se realizan sobre características de resistencia al estrés biótico y abiótico, rasgos cuantitativos, parámetros morfológicos, rendimiento y precocidad.

-Argentina

La conservación de los recursos genéticos del algodón es llevada a cabo por el Banco de Germoplasma de INTA (Instituto de Investigación Tecnológico y Agropecuario) en la Estación Experimental Agropecuaria Roque Sáenz Peña, Chaco. La colección de Germoplasma de algodón está compuesta por alrededor de 700 entradas. El 50% de la colección está conformada por variedades obsoletas, actuales y líneas de mejoramiento de algodón (*G. hirsutum*) de INTA. El otro 50% está constituido por variedades obsoletas, modernas y líneas de mejoramiento de instituciones públicas y privadas de diferentes países productores de algodón. Se encuentran también algunas entradas de *G. barbadense* L. (Royo, 1998). El programa de mejoramiento de algodón de INTA ha utilizado el germoplasma con el objetivo de desarrollar líneas y variedades que incrementen la producción y calidad de fibra (Poisson, 2002) y la duración con ciclos de cultivo más bien intermedios adaptados a las condiciones ambientales del norte del país.

I.3 Descripción Botánica

El algodón es una especie perenne que se maneja como un cultivo anual a través de prácticas agronómicas. Se caracteriza por tener hábito de crecimiento indeterminado (Hearn y Constable, 1984), con un desarrollo vegetativo y reproductivo que sigue patrones regulares y ordenados.

Morfológicamente, las plantas de algodón presentan una raíz principal pivotante, y raíces secundarias que siguen una dirección más o menos horizontal (McMichel, 1990). Posee un tallo erecto con dos tipos de ramificaciones: i) la ramificación vegetativa que sigue un patrón de desarrollo monopodial y ii) reproductiva de carácter simpodial. Las hojas son pecioladas, de un color verde intenso, grandes y con los márgenes lobulados. La primera manifestación reproductiva visible se la llama comúnmente pimpollo o botón floral. Las flores son dialipétalas, grandes, solitarias y penduladas. El cáliz de la flor está protegido por tres brácteas. El órgano reproductor masculino está formado por un haz de estambres que rodean el pistilo. El fruto es una cápsula en forma ovoide; con tres a cinco carpelos, que tiene seis a diez semillas cada uno. Las células epidérmicas de las semillas constituyen la fibra. La longitud de la fibra varía entre 20 y 45 mm y el calibre, entre 15 y 25 micras; con peso de dos a diez gramos por cápsula. En cuanto a la duración del cultivo, (*G. hirsutum*) posee un ciclo promedio de 150 días dividido en tres etapas que se describen a continuación.

- Etapa de crecimiento vegetativo: alrededor de los 35 días después de la siembra, diferenciándose en dos fases: a) Germinación-emergencia: en condiciones normales dura entre cuatro y diez días, siendo la temperatura base para la germinación y establecimiento de 14°C (Constable y Shaw, 1988); b) Emergencia-primer pimpollo: gran parte de los asimilados son destinados a la raíz y la temperatura sigue siendo primordial para la planta, siendo las óptimas de 25 a 30°C. Esta fase dura aproximadamente entre 25 a 35 días. Los factores ambientales que afectan esta etapa son la temperatura y la disponibilidad hídrica (Paytas y Ploschuk, 2013).

- Etapa de formación de estructuras florales o reproductivas: de los 35 a los 90 días aproximadamente después de la siembra. Comienza con la aparición del primer botón floral hasta el corte fisiológico o fin de flor efectiva (la última flor a ser cosechada es fecundada). La misma cuenta con dos fases: a) Primer pimpollo-primera flor: la duración es de 25-30 días. Los procesos fisiológicos que ocurren son la elongación del tallo, índice de área foliar crítico, botones florales y ramas fructíferas (Paytas y Ploschuk, 2013); b) Primera flor-fin de

floración efectiva: la floración dura aproximadamente 25-30 días, el crecimiento vegetativo y reproductivo es simultáneo, lo cual incrementa la competencia por los fotoasimilados. A partir del fin de floración efectiva las cápsulas en crecimiento tienen la prioridad en los asimilados sobre el resto de las fructificaciones. En este sentido las fructificaciones por causa del déficit de asimilados van cayendo o derramando, siendo las cápsulas pequeñas (de no más diez días) las más sensibles al derrame y siguen en orden decreciente los pimpollos grandes, pequeños y por último las cápsulas grandes.

- Etapa de maduración: se inicia a los 90 días hasta los 140 días desde la siembra. Comprende fin de floración efectiva - cosecha comienza con el denominado corte fisiológico. La prioridad de la planta en este momento es el llenado de los últimos frutos o cápsulas. Además de la apertura de cápsulas, también se presenta la maduración de la fibra y la senescencia de las hojas. En esta fase es importante la radiación y la humedad relativa baja para el quebrado y apertura de capullos.

Si bien el algodón presenta un hábito de crecimiento indeterminado, algunos autores lo agrupan en indeterminado y determinado (Quisenberry y Roarck, 1976). Los cultivares con crecimiento determinado (precoces) fructifican fuertemente al inicio de su período de crecimiento reproductivo, después de lo cual las yemas terminales entran en dormancia, el crecimiento de las ramas fructíferas declina, la producción de flores disminuye, y la mayoría de las flores que se producen en las últimas semanas de floración son eliminadas por la planta. En cambio, los cultivares de crecimiento indeterminado continúan floreciendo y, en general, no retienen los frutos suficientes para detener su crecimiento.

I.4 Biología reproductiva del algodón

El cultivo de algodón es predominantemente autógeno, pero los insectos causan de cinco a 30% de polinización cruzada. El grado de polinización varía con el tipo y número de insectos polinizadores presentes en el campo. El polen es transmitido por el viento solo a una distancia muy corta debido a su naturaleza pesada y pegajosa (Poehlman y Allen, 2003). Para evitar la polinización cruzada en las entradas de algodón del Banco Activo de Germoplasma (BAG) se atan las flores en las primeras horas de la mañana o bien en la tarde antes de que abran, la apertura de las mismas es aproximadamente entre las nueve y 11 de la mañana. Como indicador visual se utiliza el color de las mismas, la flor es blanca durante el primer día de apertura, en ese momento el polen llega al estigma, se produce la germinación y crecimiento del tubo polínico y la fecundación del óvulo. Una vez producida la

fecundación, los pétalos cambian a un color rojo o rosado, para caer tiempo después. De esta forma las entradas son mantenidas como líneas endocriadas.

I.5 Estrés abiótico

El crecimiento de la planta se ve muy afectada por las presiones abióticas ambientales, como sequía, alta salinidad y alta y baja temperatura. Las plantas responden y se adaptan a estas presiones con el fin de sobrevivir. Estas presiones abióticas ambientales producen estrés, el mismo se define normalmente como un factor externo que ejerce una influencia negativa sobre la planta. Se mide muchas veces en relación con la supervivencia de las plantas, rendimiento y crecimiento (biomasa acumulada).

El estrés hídrico, la salinidad y las temperaturas extremas son los principales factores abióticos que limitan la productividad de los cultivos, lo que representa más de un 50% de reducción en los rendimientos de todo el mundo (Boyer, 1982). Aproximadamente el 22% de las tierras agrícolas son salinas (FAO, 2004), y las zonas afectadas por la sequía se están expandiendo y se espera que esta tendencia se acelere (Burke, 2006).

El concepto de estrés está íntimamente relacionado a la tolerancia al mismo, que es la capacidad que presenta la planta ante condiciones desfavorables. Las plantas también poseen mecanismos de aclimatación que se activan en respuesta a un estrés como el hídrico (Nilsen y Orcutt, 1996).

Si la tolerancia aumenta como resultado de una exposición previa al estrés, se dice que la planta está aclimatada. La aclimatación se diferencia de la adaptación, en que en esta última la tolerancia está dada a nivel genético adquirido en diferentes procesos de evolución en distintas generaciones. Ambas se dan a nivel morfológico, celular, bioquímico y molecular.

I.5.1 Estrés hídrico (sequía)

La sequía es un fenómeno ambiental y meteorológico generado como consecuencia de la falta de lluvias durante un período suficiente como para ocasionar el agotamiento parcial o total del agua disponible en el suelo y producir daños en los vegetales por estrés hídrico. La sequía se puede clasificar en función del periodo de tiempo en que ocurre: permanente (áreas desérticas); estacionales (áreas con estaciones húmedas y secas definidas); o bien ocasional (como en muchas áreas húmedas). Es importante reconocer que aún en áreas y/o estaciones en las que el promedio de lluvias es suficiente para permitir

la siembra de cultivos anuales, puede haber patrones de escasez de agua particulares. El conocimiento del patrón de disponibilidad hídrica para un cultivo determina la búsqueda de mayor resistencia o tolerancia a la sequía para ese cultivo y un manejo del cultivo que minimicen los efectos del déficit de humedad. En una primera aproximación, se dice que una especie es tolerante a la sequía cuando tiene atributos que le permiten enfrentar con éxito la exposición a ella. Entre las especies cultivadas, se dice que un cultivar manifiesta tolerancia a la sequía cuando su rendimiento se ve menos afectado por ésta adversidad que la de otro cultivar.

Los cultivos presentan características que permitirían eludir la sequía como por ejemplo, un apropiado desarrollo fenológico. Sin embargo las características que otorgarían tolerancia a la sequía se presentan en aquellos cultivos que pueden mantener un alto tenor de agua en los tejidos ya sea por reducción en la pérdida de agua, alta resistencia foliar y cuticular, reducción en la carga de radiación y baja área foliar y además mantener la absorción de agua por medio de raíces profundas con alta densidad. Por otro lado existen cultivares que toleran bajos contenidos hídricos en los tejidos por mantenimiento del potencial de turgencia, ajuste osmótico y alta elasticidad de la pared celular (Milthorpe y Moorby, 1982; Evans, 1983; Kramer, 1983; Nobel, 1983; Salisbury y Ross, 1985; Loomis y Connor, 1992). De esta manera, el agua constituye el principal factor limitante del crecimiento de las plantas en la tierra, actuando como una fuerza selectiva de primer grado de evolución y distribución de las especies vegetales (Hanson y Hitz, 1982).

Estudios realizados en algodón demuestran que existe variabilidad genética entre las variedades frente al estrés hídrico o sequía. Así Longenberger et al. (2006) evaluaron 23 genotipos en tres momentos del ciclo del cultivo en condiciones de sequía, concluyendo que la mayor variabilidad genética se da en el primer período del cultivo, mostrando tolerancia, susceptibilidad y estabilidad en el porcentaje de supervivencias frente a estrés por sequía. Sin embargo Roark y Quisenberry (1977) sugieren que la variabilidad genética en los rasgos de tolerancia ante estrés hídrico en los cultivares modernos de algodón es potencialmente baja, debido a que la mayoría fueron seleccionados bajo condiciones de humedad permanente y ambientes de buenas precipitaciones. Por otro lado, las razas primitivas de algodón han sido identificadas como fuentes potenciales de características asociadas a la tolerancia a estrés hídrico (Quisenberry et al., 1981; Basal et al., 2003).

1.5.2 Estrés y requerimientos hídricos en el algodón

Los requerimientos de agua varían entre las especies, entre cultivares, a lo largo de la estación de crecimiento y entre ambientes, siendo el déficit hídrico la mayor restricción

que limita la producción agrícola (Boyer, 1982). Para el algodón (*G. hirsutum*) el agua es uno de los principales factores limitantes. Así, el desarrollo de la longitud de fibra se ve afectado negativamente cuando la deficiencia de agua se presenta en los primeros 20 días después de floración (Haigler, 2010). Tcach et al. (2010) compararon dos campañas agrícolas, con estrés hídrico en plena floración y llenado de cápsulas versus sin restricciones de agua demostrando que el déficit hídrico disminuye los rendimientos a 400 kg/ha (el promedio de la zona es de alrededor de 1.500 kg según año climático) y la longitud de fibra a 25 mm, valores resultan bajos según estándares internacionales (INTA, 1998) en relación con la campañas sin restricciones hídrica donde los rendimientos fueron de 630 kg/ha y la longitud de 27,50 mm. Sin embargo, el algodón parece estar bien adaptado a la producción de fibra bajo diferentes regímenes hídricos (Hearn, 1979) motivo por el cual es cultivado en zonas en todo el mundo, con precipitaciones variables y con escasa disponibilidad de agua para riego.

El algodón posee una adaptación xerofítica que le confiere un carácter distintivo a las relaciones hídricas del cultivo. A pesar de este origen xerofítico, es ampliamente cultivado bajo regadío. Hasta el momento, no hay estudios definitivos sobre la proporción de la cosecha mundial de algodón que es producida bajo regadío. Según Ayalon (1983) la mayor parte del algodón en el mundo se produce en seco, mientras que Waddle (1984) afirma que más del 60% de la superficie mundial destinada al cultivo son tierras de regadío, sin embargo teniendo en cuenta las zonas tropicales y subtropicales, con períodos de lluvias durante el verano, incluyendo gran parte del Sub-Sahara, África, América Central y América del Sur, se puede afirmar que el algodón es más comúnmente cultivado en condiciones de seco (Hearn, 1994).

En Argentina el algodón es de gran importancia en el norte del país, siendo el Chaco la provincia que concentra aproximadamente el 50% del área de siembra (Delssin, 2015) y donde se produce cerca de un 70% de la fibra de algodón producida en el país. La provincia del Chaco se especializó en la producción algodонера con sistemas de seco concentrados en el centro y sudoeste provincial (Rofman, 1999). En los sistemas de seco disminuye notoriamente la posibilidad de éxito con precipitaciones inferiores a los 750 mm. Las precipitaciones en el Chaco van de 700 a 1.300 mm anuales disminuyendo de este a oeste, oscilando entre 500 a 1.000 mm anuales. El semestre más caluroso va de octubre a marzo coincidiendo con el ciclo del cultivo. El crecimiento y desarrollo del algodón no sólo se ve influenciado por el promedio anual de precipitaciones sino también por la regularidad y su distribución estacional (Arturi, 1984).

La distribución anual de las lluvias en el Chaco es regular en el norte e irregular en el sur. Pero en muchos lugares de la provincia excesos y deficiencias ocurren en diferentes épocas del año y se presentan años en que la precipitación es excesiva durante una estación y deficiente en otra (Ledesma et al., 1973). Paytas (2010) mencionó que una de las principales limitantes del cultivo es la elevada irregularidad de la oferta de precipitaciones, evidenciándose en las temporadas 2007-08 y 2008-09. El déficit de agua en el suelo sucede durante enero y febrero, cuando el algodón está entre la primera y la última flor efectiva, reduciendo así el rendimiento de semilla de algodón por lo que ésta se constituye en una variable dependiente de las precipitaciones. Por otro lado hay otras dos variables que brindan una idea si el cultivo está atravesando un período de estrés hídrico, i) contenido de agua útil en el perfil de suelo y ii) estado hídrico de la planta. Según Novick (2004) el rendimiento del algodón en la Argentina está influenciado en un 76% por factores ambientales, en un 4% por la variedad utilizada y un 20% por la existencia de interacción genotipo-ambiente. Además como consecuencia de su domesticación, las variedades modernas han perdido en gran medida la sensibilidad a la diferencia de temperatura y el fotoperíodo, aunque hay efectos vestigiales (Mauney, 1966; Low et al., 1969). No obstante las variedades modernas son sensibles para el régimen de agua. Cuando el suministro de agua es abundante, el desarrollo fenológico se prolonga durante más tiempo, dando lugar a plantas más grandes y mejores rendimientos, y cuando la oferta se limita ocurre lo contrario. La clave de adaptación de la planta de algodón se produce cuando el suministro de agua empieza a ser limitante, la planta responde deteniendo el desarrollo morfológico y centrándose en la maduración de las cápsulas ya establecidas (Hearn, 1994).

Los estudios sobre el requerimiento hídrico en el cultivo del algodón siguen siendo un tema de investigación en desarrollo. Según ICAR (Central Institute for Cotton Research) de la India, los requerimientos de agua para el algodón difieren en función de la fase de cultivo (Tabla 1), siendo la fase de floración la que registra el mayor consumo.

Tabla 1. Requerimiento de agua en algodón (m³/ha)

Fase del cultivo	Días desde siembra	Requerimiento de agua
Antes de floración	0-35	700-800
Durante floración	35-90	800-1.000
Durante madurez	90-140	600-700

Fuente: *Abiotic Stresses in Cotton - A Physiological approach, No-2 - 2000, Perumal NK, Hebbar KB & Kairon MS*

Se trata de un cultivo exigente en agua, pues la planta tiene muchas hojas provistas de estomas por las que transpira cuando hay un exceso de calor. Según Perumal et al. (2000) el requerimiento de agua para el algodón en la India es de aproximadamente de 500 a 800 mm durante la temporada para la obtención de un rendimiento normal.

Estudios realizados por Dagdelen et al. (2005) al oeste de Turquía en dos campañas agrícola (2003 y 2004) sobre algodón y maíz, relacionaron los rendimientos en función del uso eficiente del agua y muestran valores promedios de uso de agua estacionales que oscilaron desde 257 a 867 mm en algodón, afectándose significativamente los rendimientos cuando estuvieron sometidos a bajos aportes de agua, variando los rendimientos de algodón en bruto variaron desde 1.780 hasta 5.490 kg ha⁻¹.

Por su parte Arturi (1984) sostiene que para obtener rendimientos elevados, el requerimiento de agua varía de 500 m³ ha⁻¹ en regiones con estación corta de cultivo a 1000 m³ ha⁻¹ o más, en los casos que las temperaturas favorezcan a períodos vegetativos prolongados; las estimaciones de consumo diario se pueden describir de acuerdo al uso consuntivo diario equivalente a la evapotranspiración, siendo inferior el consumo diario antes de floración o etapa de crecimiento vegetativo. El mismo es de 2,5 mm por día desde la siembra hasta la aparición de los pimpollos florales. A medida que el ciclo del cultivo avanza y aumentan las temperaturas, aumenta el consumo diario llegando a diez mm por día o más. Cuando comienza la maduración de las cápsulas disminuye el consumo diario. Esta distribución se mantiene regularmente, sin embargo, los valores absolutos fluctúan según la localidad y condiciones climáticas.

El algodón está adaptado a episodios de sequía periódica, debido a que el 90% de algodón cultivado en el mundo fue domesticado por primera vez en las regiones semiáridas del sur de México y norte Guatemala (Brubaker y Wendel, 1994; Brubaker et al., 1999). Su producción óptima para un alto rendimiento en fibra requiere entre 2.158 y 3.906 m³ de agua por ciclo del cultivo, dependiendo de las prácticas locales y los patrones meteorológicos (McWilliams, 2003).

La cantidad de humedad necesaria por etapa depende en gran medida de la transpiración de las plantas y la evaporación del suelo (Allen et al., 1998). En consecuencia, la fecha, la duración, y la gravedad del déficit de agua durante todo el ciclo de vida del cultivo condicionan las pérdidas potenciales de rendimiento (Boman y Lemon, 2006; Edmisten et al., 2007) siendo las etapas críticas al suministro de agua: i) establecimiento de plantas, ii) pre-floración, y iii) post-floración (McWilliams, 2003). Además Parolin (2001)

describió el papel crítico del agua para las actividades meristemáticas demostrando que la disponibilidad de agua fue crucial durante el período de la división celular y la elongación. Estos hallazgos son coincidentes a los encontrados por Chaves et al. (2003), quienes también describieron la importancia de la disponibilidad de agua durante el crecimiento vegetativo.

1.5.2.1 Respuestas de caracteres fisiológicos al estrés hídrico

Las respuestas de los caracteres fisiológicos frente al estrés hídrico se dan en forma conjunta (Nobel, 1983). Por otro lado estas respuestas no solo dependen de la severidad del estrés sino también del genotipo. La conductancia estomática y las tasas máximas de fotosíntesis se correlacionan positivamente con el aumento de los rendimientos de cultivares modernos o avanzados, mientras que la temperatura de las hojas muestra una correlación negativa (Fischer et al., 1998). Las relaciones entre conductancia y el potencial hídrico de la hoja en cultivares modernos de trigo puede ser oportunista en relación con el agua disponible: altas tasas de conductancia de la hoja cuando la humedad del suelo es favorable y una marcada reducción de la conductancia en la hoja cuando la humedad del suelo es limitante. Cultivares antiguos, por otro lado, se caracterizan por una estrategia conservadora con una conductancia inferior de la hoja incluso a alta humedad del suelo (Siddique et al., 1990). La conductancia estomática aumenta con la temperatura hasta un óptimo para luego declinar (Nobel, 1983). Sin embargo, para facilidad de interpretación de estas respuestas fisiológicas, serán abordadas por separado.

1. Conductancia estomática ($\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)

La conductancia es la facilidad con la cual los gases pueden intercambiar entre dos lugares y el cambio se produce a través de los poros estomáticos de la epidermis. La apertura y cierre de los estomas está modulados por las células guardas y el cierre podría evitar la deshidratación de las plantas (Lewitt, 1980). Muchos estudios también han hecho hincapié en la asociación de la tolerancia a sequía con la tasa de pérdida de agua en hoja, cierre de los estomas, y un incremento del ácido abscísico (ABA) en condiciones deficientes de agua (Zeevaart y Creelmen, 1988).

La regulación de los estomas o el ajuste estomático, que facilitan la difusión del CO_2 y reduce al mínimo la pérdida de agua, podría mejorar la tolerancia a la sequía de las plantas sometidas a déficit de agua temporales o sostenidos. Este es un mecanismo para

ajustar la pérdida de agua (Fernández y McCree, 1991; Fambrini et al., 1995; Franca et al., 2000). El cierre de los estomas se detecta típicamente ante cambios en el potencial hídrico de las hojas durante la sequía, y son las estructuras responsables de la mayor pérdida de agua en las plantas (Taiz y Zeiger, 2010). La conductancia estomática es muy importante en la comprensión de las consecuencias de la escasez de agua, ya que se ve afectado por varios parámetros internos y externos tales como el estado hídrico de las hojas, genotipo de la planta, el déficit de presión de vapor, entre otros. La reducción de la conductancia estomática aumenta la eficiencia del uso del agua, pero disminuye la frecuencia absoluta de fotosíntesis neta. El cierre de los estomas causa una mayor disminución de la transpiración de la fotosíntesis debido a la resistencia adicional a la difusión de CO₂ en relación con vapor de agua en la hoja. La disminución de la conductancia estomática también provoca una pérdida de la eficiencia fotosintética de uso de N (uso instantáneo de N para la ganancia fotosintética de C). La conductancia estomática en el algodón está determinada genéticamente y se ha demostrado que se asocia con la resistencia al calor y los rendimientos más altos. En general, el estrés por calor reduce la conductancia estomática y la variabilidad genética disponible. Altas temperaturas o estrés por calor favorecen la expresión de los genes que tienen efectos aditivos, mientras que en ausencia de alta temperatura a los genes que tienen efectos dominantes (Rahman, 2005).

2. Temperatura de hoja (°C)

En las plantas, la temperatura foliar es similar a la temperatura del aire; pero puede variar con respecto a la de éste, en unos pocos grados centígrados en más o en menos, según la apertura de los estomas. Esto no es un tema menor desde el punto de vista de la transpiración. Una activa transpiración, cuando los estomas están bien abiertos y la planta no sufre restricciones hídricas, produce una apreciable disminución de la temperatura, debido a la pérdida de calor latente utilizada en la vaporización del agua. Sin embargo la temperatura de la hoja se ve afectada tanto por el estado hídrico de la planta (Meyer y Walker, 1981) como por el estado del agua en el suelo. Algunos estudios han demostrado que las mediciones de temperatura de la hoja y las mediciones de temperatura del dosel son buenos indicadores de la tolerancia de las plantas a la sequía y que es factible el uso de dichos datos para cuantificar el déficit hídrico de la planta (Ko y Piccinni, 2009).

3. Contenido de agua relativo (%)

El contenido de agua celular controla en gran medida la apertura y la conductancia estomática. Los valores de Contenido Relativo de Agua (CAR) ponen de manifiesto el

estado hídrico de la planta, por lo tanto el déficit hídrico en un tejido existe siempre que su contenido de agua sea inferior al 100%. Así mismo se relaciona con el potencial hídrico porque éste y sus componentes, potencial de presión y solutos, son función del volumen de agua del protoplasma.

Por otro lado, es un indicador de tolerancia a la desecación en cultivos como trigo y soja (Carter, 1989). Este parámetro es una integración de los componentes aéreos y subterráneos confiriéndole a la planta la capacidad de tolerar el déficit hídrico. En trigo, por ejemplo, se ha logrado confirmar una relación directa entre el CAR y la tolerancia a la sequía (Schonfeld et al., 1988). Estos mismos autores encontraron un valor alto de heredabilidad para esta característica y la proponen como un criterio muy promisorio de selección de cultivares tolerantes a la sequía. Sinclair y Ludlow (1985) estimaron que el CAR es un determinante principal de la actividad metabólica y de la sobrevivencia foliar y consideraron este parámetro como una perspectiva más confiable que las mediciones termodinámicas para analizar las respuestas fisiológicas a la desecación.

1.5.2.2 Respuestas de caracteres morfológicos-biomasa al estrés hídrico

1. Altura (cm)

Mahmood et al. (2006) encontraron en las variedades de algodón caracterizadas, distintas respuestas en crecimiento y en rasgos productivos para diversos regímenes de sequía, resultando la altura de la planta a comienzo temprano del período de sequía un indicador del efecto del estrés hídrico. Resultados similares para algodón fueron obtenidos por Esha Poudel (2011) al evaluar el tratamiento de irrigación en cuatro cultivares de hoja normal y okra, quien afirma que la altura decrece a medida que disminuye el riego. Esto es similar a lo informado por Siddique et al. (1990) para trigo y Sikuku et al. (2010) en arroz.

2. Área foliar (cm²)

Cuando el déficit hídrico se desarrolla lentamente, se dan cambios en procesos de desarrollo que tienen varios efectos sobre el crecimiento, uno de principal importancia es la limitación específica de la expansión foliar (Moreno-Fonseca, 2009). La reducción del área foliar se considera como la primera línea de defensa de la planta al déficit hídrico. La misma es importante, pues de ella depende la fotosíntesis. Una rápida expansión foliar puede afectar negativamente la adaptación a la poca disponibilidad de agua. En plantas

indeterminadas, el estrés no solo limita el tamaño de sus hojas, sino también el número y la tasa de crecimiento de las ramas. Normalmente, a medida que disminuye el contenido de agua de la planta, las células se encogen y las paredes celulares se relajan. Esta reducción en el volumen celular da lugar a una menor presión de turgencia generando menor expansión celular (menor crecimiento). Las plantas de algodón responden al déficit hídrico del suelo mediante la reducción de la expansión del área de la hoja (Hearn, 1979; Constable, 1981; Turner et al, 1986; Gerik et al., 1996). Sin embargo, esta respuesta depende de la fecha, la duración y la gravedad del déficit hídrico en el suelo. Constable (1981), encontró que la expansión de las hojas fue afectada en un 60% cuando la humedad del suelo disponible se agotó.

3. Índice de área foliar

El índice de área foliar (IAF) de una planta (número de hojas x área superficial de cada hoja) no se mantiene constante después que todas las hojas han madurado. Si las plantas se ven sometidas a un estrés hídrico después de haber desarrollado un importante IAF, las hojas sufren senescencia y posible abscisión. Este ajuste del área foliar es un cambio importante a largo plazo que mejora el estado de la planta en un entorno con limitaciones de agua. El proceso de abscisión de las hojas en respuesta al estrés hídrico se debe fundamentalmente al incremento en la síntesis y capacidad de respuesta a la hormona vegetal endógena etileno. En conclusión, el estrés hídrico afecta el IAF (Jordan, 1970; McMichael y Hesketh, 1982; Turner et al., 1986; Gerik et al., 1996).

4. Biomasa de raíz (g)

El crecimiento de la raíz según McMichael y Quisenberry (1991) es afectado en condiciones de estrés hídrico severo. Malik y Wright (1997) reportaron que el crecimiento de la raíz parece estar menos afectado por la sequía que el crecimiento de brotes. Varios investigadores (Ball et al., 1994; Pace et al., 1999) observaron que las plántulas de algodón bajo estrés hídrico mostraron una mayor elongación de las raíces, acompañadas de una reducción del diámetro de las mismas.

La disponibilidad de agua afecta la relación entre el crecimiento de la parte aérea y la raíz. La raíz continúa su desarrollo mientras que la parte aérea dejaría de crecer por causa del estrés. Así, las plantas son capaces de continuar el desarrollo de sus raíces en búsqueda de agua en zonas más profundas del suelo (Potters et al., 2007; Shao et al., 2008).

5. Biomasa área (g)

Como se mencionó con anterioridad, la relación de crecimiento aéreo y subterráneo estaría afectada por el estrés hídrico, y uno de los factores que se vería afectado es la biomasa aérea.

1.5.2.3 Respuestas de caracteres productivos al estrés hídrico

El rendimiento de la planta es afectado negativamente por el estrés hídrico (Boyer, 1982). El contenido de agua útil en el perfil de suelo condiciona el estado hídrico de la planta y por defecto a su rendimiento. De acuerdo con el momento de ocurrencia del déficit hídrico el efecto en el rendimiento suele variar. A continuación se describe cómo responden los caracteres reproductivos (flores, bochas) y productivos (fibra, semillas) frente a situaciones de estrés por déficit de humedad.

A partir de diversas investigaciones realizadas a campo e invernáculo, se sabe que el estrés por déficit de humedad en el suelo provoca menores rendimientos de fibra debido a la reducción en la producción de cápsulas, principalmente por presentar un menor número de flores, pero también por un mayor número de aborto en las estructuras fructíferas cuando el estrés se presenta durante el período de crecimiento reproductivo (Grimes y Yamada, 1982; McMichael y Hesketh, 1982; Turner et al., 1986; Gerik et al., 1996). Además se considera la fase de crecimiento reproductivo de algodón sensible a períodos prolongados de estrés por sequía. El efecto de la sequía en las plantas de algodón provocan un recorte (es decir, finaliza la etapa de crecimiento de las plantas antes de la apertura de las cápsulas) en comparación a las plantas de algodón bajo riego, teniendo así un período de floración prematuro y acortado (Pettigrew, 2004b).

Existen antecedentes que revelan pérdidas de hasta 20 kg ha⁻¹ de fibra por cada día en que la planta se encuentra en condiciones de estrés hídrico (considerando menos del 50% de agua útil en el perfil de suelo). Cuando el periodo de estrés hídrico ocurre hacia fines del ciclo del cultivo, durante la maduración y llenado de frutos o bochas, se ve afectado el tamaño y peso individual, con efectos negativos en el rendimiento y la calidad (Paytas et al., 2012). Estos efectos negativos del rendimiento y la calidad se manifiestan a través de un menor índice de cosecha y producción de semilla; así como la longitud de fibra, uniformidad, madurez y fuerza son afectadas negativamente por la sequía (Eaton y Ergle, 1952; Grimes et al., 1969; McMichael y Hesketh, 1982; Gerik et al., 1996; Saranga et al., 1998; Pettigrew, 2004; Wen et al., 2013).

I.6 Eficiencia del uso del agua

La agricultura consume entre el 50 y 80% de agua del suelo para producir alimentos y esta cantidad de producción está directamente relacionada con la disponibilidad del agua en el suelo (Medrano et al., 2007). Así mismo, producir un gramo de biomasa supone gastar entre 100 a 1.000 gramos de agua dependiendo de las especies y condiciones ambientales. Las plantas han desarrollado mecanismos ante la escasez de agua para asegurar su supervivencia aumentando la disponibilidad de agua y mejorando la eficiencia de su uso (Schulze, 1986). La eficiencia del uso del agua (EUA) de las plantas puede describirse como el volumen de agua que éstas consumen para incorporar a su biomasa una determinada cantidad de carbono de la atmósfera (CO_2), también como el rendimiento total cosechado por unidad de agua utilizada durante toda la estación de crecimiento (Condon et al., 2004). Agronómicamente, se define como la relación entre la materia seca (g/ha) y la cantidad de agua utilizada (m^3/ha). Las especies que presentan un uso eficiente del agua se las conoce como C_4 , presentan un metabolismo que les permite explorar ambientes más áridos (Black y Osmond, 2003; Luttge, 2004) y requieren menor cantidad de agua por kilogramos de biomasa (caña de azúcar, maíz, sorgo). El algodón es una especie C_3 , el cual es poco EUA en comparación con las especies mencionadas anteriormente. Hearn (1979) estudió la EUA en algodón encontrando valores que van de 0,1 a 0,3 kg fibra/ m^3 de agua. Resultados similares fueron encontrados por Chase et al. (2013).

De esta manera la EUA es un rasgo atractivo para estimar la tolerancia a la sequía en las especies y, aunque su medición es un poco difícil, se la determina a través de la biomasa producida de la planta al final de su ciclo.

I.7 Heredabilidad en sentido amplio (H^2) o Grado de Determinación Genética (GDG)

La heredabilidad es una estimación de un rasgo de la proporción de la variación fenotípica a la variación genotípica, de los cuales el fenotipo es un producto del genotipo, del ambiente y de la interacción del genotipo y ambiente (Bernardo 2002; Falconer y Mackay, 1989; Fehr, 1991; Hallauer y Miranda, 1981).

La heredabilidad en sentido amplio mide la proporción de la contribución genética total de la variación fenotípica observada en una población dada. Esto difiere de una estimación de heredabilidad en sentido estricto debido a que esta última distingue entre aditivo y acción génica dominante. Sin embargo, al tratarse de materiales genéticos

homocigóticos, toda la variación genética es de tipo aditivo ya que la variancia no aditiva (debido a la dominancia y a la epistasis) desaparece.

Hasta la fecha se han realizado muchos estudios relacionados con la estimación de componentes de varianza genética para determinar la heredabilidad en sentido amplio en varias especies. En papa (*Solanum tuberosum* L.), Gabriel et al. (2012) determinaron a partir del análisis de los componentes de varianza la heredabilidad en sentido amplio y encontraron un valor medio para volumen de raíz (0,41), peso seco de raíz (0,39) y longitud de raíz (0,32) en condiciones de estrés hídrico; en maíz (*Zea mays* L.). Belich et al. (2014) evaluaron la resistencia a *Fusarium verticillioides* utilizando un ANOVA para descomponer la varianza y a partir de esto encontraron valores bajos de heredabilidad en sentido amplio para el carácter resistencia (0,27) y en algodón (*G. hirsutum*) Muhammad et al. (2015) informaron alta variación tanto genotípica (752,39) como fenotípica (753,34) para rendimiento de semillas de algodón, lo que da origen a un valor de heredabilidad en sentido amplio de 0,96 y seguido por la altura de la planta con una varianza genotípica de 130,60 y fenotípica de 131,00 ($H^2 = 0,99$). Menores variaciones genotípicas y fenotípicas se registraron para los caracteres peso de la cápsula (0,303 y 0,304, respectivamente) e índice semilla (1,76 y 1,77, respectivamente) generando sin embargo elevados valores de heredabilidad ya que ambas variancias disminuyeron en la misma proporción. Observaciones similar en algodón americano fueron reportados por diferentes investigadores (Preetha y Raveendran, 2007; Amir et al., 2012.; Abbas et al., 2011). Así Dhivya et al. (2014) estudiaron la variabilidad en 54 líneas de diverso origen en algodón (*G. hirsutum*) para estimar, heredabilidad y avance genético sobre el rendimiento y sus componentes, y además sobre los parámetros de calidad de fibra.

I.8 Descripción del problema

Unas de las estrategias para minimizar el impacto producido por el déficit hídrico es la selección de variedades agronómicamente más eficientes en la utilización del agua. El mejoramiento genético podría aportar soluciones útiles a través del desarrollo de líneas tolerantes a estrés hídrico provenientes de la hibridación entre variedades con buen comportamiento frente a esta variable. Para ello es necesario elegir adecuadamente los progenitores a hibridar ya que es el paso fundamental en cualquier programa de mejoramiento de especies autógamas. Las poblaciones conservadas en el Banco Activo de Germoplasma (BAG) de INTA EEA Sáenz Peña podrían presentar buen comportamiento ante condiciones de estrés. Sin embargo el proceso de selección de genotipos parentales se

complica ya que se desconoce el comportamiento de las entradas coleccionadas y conservadas en el BAG. Es por esta razón que se plantea la necesidad de caracterizar la respuesta fenotípica de variedades y líneas coleccionadas, frente a condiciones limitantes de agua.

II HIPOTESIS Y OBJETIVOS

II.1 Hipótesis

Genotipos representativos coleccionados y conservados en el banco de germoplasma del INTA difieren en su tolerancia al estrés hídrico.

II.2 Objetivo General

Caracterizar 20 entradas de algodón *Gossypium hirsutum* L. del Banco de Germoplasma del INTA Sáenz Peña por la tolerancia al estrés hídrico en dos períodos fenológicos utilizando variables asociadas al uso del agua.

II.3 Objetivos Específicos

i) Evaluar el efecto del estrés hídrico sobre caracteres fisiológicos y morfológicos tales como altura, área foliar, biomasa área y de raíces, la producción de fibra, semilla y número de estructuras retenidas.

ii) Determinar la existencia de diferencias genéticas para las variables asociadas al uso del agua mediante la estimación del grado de determinación genética (GDG) o heredabilidad en sentido amplio.

iii) Identificar entradas con mayor tolerancia al estrés hídrico.

III MATERIALES Y MÉTODOS

III.1 Material Vegetal

Se utilizaron 20 genotipos pertenecientes a entradas de la colección de algodón del BAG de INTA EEA Sáenz Peña, seleccionados por sitio de origen y tipo de población (Tabla 2). La primer selección se baso de acuerdo a lo reportado por Gómez (2007) cuando estimó la diversidad genética en entradas (*G. hirsutum* L.) del presente banco a través de marcadores moleculares, concluyendo que la mayor distancia genética comprendían entre entradas de diferentes orígenes. Por otro lado, la denominación de cultivar obsoleto y moderno hace referencia a la sustitución en el uso por el productor. Para el caso de líneas se refiere al material desarrollado por los mejoradores que son conservados por su valor real o potencial. Por último, SP 48114 fue cedido recientemente al banco por parte de mejoramiento genético de la EEA Sáenz Peña.

Tabla 2. Entradas de la colección de algodón del banco de germoplasma de EEA Sáenz Peña

Identificación	2da identificación o denominación	Tipo de población	Sitio de Origen
BGSP 43	Stoneville 508	Cultivar obsoleto	USA
BGSP 52	I.A.C RM4	Cultivar obsoleto	Brasil
BGSP 67	HAR L-142-9	Cultivar obsoleto	Costa de Marfil
BGSP 73	Bouake HAR G 181-5-H-748	Cultivar obsoleto	Costa de Marfil
BGSP 156	Línea de Texas Agric. Exp. Station	Línea	USA
BGSP 392	INTA SP Toba II	Cultivar obsoleto	Argentina
BGSP 463	Paymaster 145	Cultivar obsoleto	USA
BGSP 475	Porá INTA	Cultivar obsoleto	Argentina
BGSP 507	Guazuncho 2 INTA	Cultivar obsoleto	Argentina
BGSP 514	Siokra	Cultivar obsoleto	Australia
BGSP 715	(917) B557	Cultivar obsoleto	Pakistán
BGSP 716	(1120) ALEPO 93	Cultivar obsoleto	Siria
BGSP 735	(63) B 59-1684	Cultivar obsoleto	EX URSS
BGSP 750	ZM-01082	Cultivar	China
BGSP 765	ZM-01632	Local	China
BGSP 799	Guazuncho 3 INTA	Cultivar moderno	Argentina
BGSP 803	SP 6635	Línea	Argentina
BGSP 804	SP 4172	Línea	Argentina
BGSP 805	8461	Línea	Argentina
SP48114	SP 48114	Cultivar moderno	Argentina

Extracción base de dato de la Red de Bancos del INTA (DBGERMO)

A continuación se describen algunas características morfológicas y parámetros de calidad de fibra en las entradas seleccionadas:

BGSP 43: Morfología de hoja normal con ramas vegetativas abiertas y porte mediano. Buen porcentaje de desmote (40,26%) y longitud de fibra alta o larga (29,30 mm), baja resistencia de fibra (23,95 g/tex) y micronaire (3,58).

BGSP 52: Morfología de hoja normal con ramas vegetativas erectas y porte mediano. En cuanto al porcentaje de desmote presenta un comportamiento alto (37,44%). Longitud de fibra alta o larga (29,08 mm), de calidad media en resistencia de fibra (24,58 g/tex) y micronaire (3,98).

BGSP 67: Morfología de hoja normal, con ramas vegetativas erectas y porte mediano. Porcentaje de desmote alto (38,33%). Longitud de fibra alto o larga (29,35 mm), micronaire (4,58) mediano, con resistencia de fibra baja (23,65 g/tex).

BGSP 73: Morfología de hoja normal con ramas vegetativas abiertas y porte mediano. Porcentaje de desmote alto (36,55%). Longitud de fibra muy alto o muy larga (30,43mm) con micronaire (4,50) y resistencia de fibra media (27,60 g/tex).

BGSP 156: Morfología de hoja normal con ramas vegetativas erectas y porte mediano. Porcentaje de desmote alto (37,24%). Longitud de fibra muy bajo o muy corta (25,80 mm) con micronaire (4,23) y resistencia de fibra media (27,53 g/tex).

BGSP 392: Morfología de hoja normal con ramas vegetativas abiertas y porte mediano. Porcentaje de desmote alto (38,24%). Longitud de fibra (27,50 mm), micronaire (3,83) y resistencia de fibra (24,75 g/tex) de calidad media.

BGSP 463: Morfología de hoja normal con ramas vegetativas erectas y porte mediano. Porcentaje de desmote alto (39,72%). Longitud (26,98 mm) y resistencia de fibra (23,38 g/tex) con valores bajos, siendo medio el micronaire (4,28).

BGSP 475: Morfología de hoja normal con ramas vegetativas erectas y escasas, de porte mediano. Porcentaje de desmote alto (39,67%). Longitud de fibra alta o larga (29,13 mm) con resistencia de fibra (26,43 g/tex) y micronaire de calidad media (4,15).

BGSP 514: Morfología de hoja okra y porte mediano. Porcentaje de desmote alto (42,15%). Longitud de fibra alta o larga (29,30 mm) con resistencia de fibra (28,40 g/tex) y micronaire de calidad media (4).

BGSP 507: Morfología de hoja normal con ramas vegetativas abiertas y porte mediano. Porcentaje de desmote alto (42,04%). Longitud de fibra alto (29,78 mm) con resistencia de fibra (26,20 g/tex) y micronaire de calidad media (4,15).

BGSP 715: Morfología de hoja normal con tallo principal grueso y porte mediano. Porcentaje de desmote alto (38,00%). Longitud (29,00mm) resistencia (26 g/tex) y micronaire (4) de fibra con valores de calidad media.

BGSP 716: Morfología de hoja normal y porte bajo. Porcentaje de desmote (38,69%) y longitud de fibra (29,20 mm) con valores altos. La calidad media en resistencia de fibra (26,30 g/tex) y micronaire (4,50).

BGSP 735: Morfología de hoja normal de follaje abierto y porte mediano. Porcentaje de desmote (39%) y longitud de fibra (29,10 mm) con valores altos. La calidad media en resistencia de fibra (27,30 g/tex) y micronaire (4,50) valores medios.

BGSP 750: Morfología de hoja normal y grande de porte alto. Porcentaje de desmote (39%) y longitud de fibra (29,10 mm) con valores altos. La calidad media en resistencia de fibra (27,30 g/tex) y micronaire (4,50) valores medios.

BGSP 765: Morfología de hoja normal, tallo principal grueso de porte alto. Porcentaje de desmote alto (39%). Longitud de fibra (28,10 mm), resistencia de fibra (27 g/tex) y micronaire (4,51) valores medios.

BGSP 799: Morfología de hoja normal y follaje abierto. Porte mediano y estructura columnar. Porcentaje de desmote alto (40,40%). Longitud de fibra alta o larga (30 mm), resistencia de fibra alta (30,20 g/tex) y micronaire (3,80) medio.

BGSP 803: Morfología de hoja normal y follaje abierto. Porte mediano y estructura columnar. Porcentaje de desmote alto (40,01%). Longitud de fibra (28 mm) y micronaire (3,80) con valores medios. Resistencia de fibra alta (30 g/tex).

BGSP 804: Morfología de hoja normal y follaje abierto. Porte mediano y estructura columnar. Porcentaje de desmote alto (38,20%). Longitud de fibra bajo o corta (27 mm), micronaire (3,98) con valores medios y resistencia de fibra alta (29,21 g/tex).

BGSP 805: Morfología de hoja normal y follaje abierto. Porte mediano y estructura columnar. Porcentaje de desmote alto (37,50%). Longitud de fibra (29 mm) micronaire (4,01) con valores medios y resistencia de fibra alta (31 g/tex).

SP 48114: Morfología de hoja normal y follaje abierto. Porte mediano y estructura columnar. Porcentaje de desmote alto (39,98%). Longitud de fibra (29 mm) micronaire (4,50) con valores medios y resistencia de fibra alta (31 g/tex).

III.2 Experimento 1: Corto plazo- Tratamiento de sequía- Etapa de crecimiento vegetativo

El ensayo se realizó en cámaras climatizadas en la Estación Experimental INTA Las Breñas ubicada a 27° 05'20 S y 62° 07' 20 O sobre la Ruta Nacional 89 a 90 km al suroeste de Presidencia Roque Sáenz Peña, Provincia del Chaco.

Se utilizó el protocolo de Parkhi et al. (2009) el cual fue ajustado según los requerimientos del ensayo a corto plazo. Para ello se diseñó un experimento bifactorial en dos niveles:

Factor A, correspondiente a los 2 tratamientos principales:

-Sin estrés (control): sin limitaciones de agua;

-Con estrés: con suspensión de la oferta de agua a partir de tres hojas verdaderas para generar condiciones de estrés hídrico.

Factor B, correspondiente a las entradas o accesiones caracterizadas (20).

Se utilizaron macetas de dos litros de capacidad conteniendo 1.300 g de suelo seco de textura franca. Se agregó agua hasta un estado de humedad óptimo, registrándose en todas las macetas un peso de 1.550 g al inicio del ensayo. Se sembraron diez semillas por maceta, las cuales fueron regadas cada tres días hasta la germinación, mostrada en fotografía 1 (Anexo X). Las plantas fueron mantenidas en condiciones de cámara climatizada con alternancia de luz y temperatura (16 horas en oscuridad a 20 °C y 8 horas de luz a 30 °C) y humedad relativa del 80%. Se realizó un raleo en las macetas dejando 5 plantas uniformes en altura, tamaño y número de hojas verdaderas. Luego se regó periódicamente hasta la aparición de tres hojas verdaderas desplegadas, momento en el cual se suspendió el riego para lograr condiciones de sequía. Al suspender el riego las plantas fueron monitoreadas diariamente por el marchitamiento.

A los seis días de suspendido el riego (manifestación de marchitamiento) se midió la conductancia estomática, la temperatura foliar y contenido de agua relativo. En las variables Ce y T se midió en la superficie abaxial de la tercera hoja verdadera en tres plantas por tratamiento y seguidamente se extrajo la tercera hoja de cinco plantas por tratamiento para determinar el CAR.

El ensayo se realizó en dos momentos elegidos aleatoriamente que se consideraron repeticiones.

III.2.1 Variables fisiológicas analizadas

1. Conductancia estomática (Ce, mmol m⁻²s⁻¹)

Para evaluar el grado de apertura estomática se estimó esta variable utilizando un porómetro foliar (SC-1 Decagon) con un rango de mediciones: desde 0 hasta 1.000 mmol m⁻²s⁻¹. Se midió al finalizar el periodo de estrés hídrico.

2. Temperatura de hoja (T, °C)

Se determinó con porómetro foliar (SC-1 Decagon). Se registró al mismo momento ambas variables teniendo en cuenta que el aumento de la temperatura de la hoja causa disminución en la conductancia estomática (Möller et. al., 2007).

3. Contenido de agua relativo (CAR, %)

Se determinó en función de la fórmula descrita por Schonfeld et al. (1988) empleando las variables que se describen a continuación.

Siendo;

PF= Peso fresco de la tercera hoja verdadera diferenciada. Una vez finalizadas las mediciones de las variables (Ce y T) se procedió a cortar una hoja por planta y luego pesarlas.

PT = Peso de máxima turgencia. Una vez determinado el PF se dejaron las hojas en agua destilada en placas de Petri sellados con "parafilm" por 24 horas a temperatura ambiente como muestra la fotografía 2 (Anexo X), luego se pasaron a papel de filtro para eliminar el exceso de agua y se pesaron.

PS = Peso seco. Para su medición se colocaron las hojas que se encontraban en su máxima turgencia en estufa durante 72 horas a 70°C y procediéndose posteriormente a medir su peso.

Entonces;

$$\text{CAR (\%)} = (\text{PF-PS}) / (\text{PT-PS}) \times 100$$

Cabe aclarar que todas las variables que se utilizaron para determinar el CAR se pesaron con balanza electrónica analítica (OHAUS) capacidad de 220 g x 0,1mg.

III.2.2 Análisis estadístico en las variables fisiológicas

III.2.2.1 Análisis univariado

Se realizó un análisis inferencial por medio de modelos generales lineales y mixtos con el programa estadístico InfoStat/P (Di Rienzo et al., 2014) a través de su interfaz con R.

El modelo consideró los efectos de tratamiento y entrada como efectos fijos y las repeticiones como efecto aleatorio. Los efectos fijos son factores cuyos niveles están específicamente seleccionados por el investigador.

En estudios de genética de poblaciones; las poblaciones o entradas de una especie determinada pueden considerarse efecto fijo o aleatorio, según el interés de la investigación (Di Rienzo et al., 2010). Como en este estudio la inferencia se orienta solamente a las entradas estudiadas, el efecto de cada una se considera fijo para poder estimar y comparar las medias de las poblaciones.

Los efectos aleatorios son los niveles de la variable independiente que no son específicamente elegidos sino que son adoptados al azar de una mayor población o niveles posibles. El considerar las repeticiones como efecto aleatorio rompe con la independencia de los dos grupos de observaciones considerando la variabilidad de los mismos.

Se evaluó además la interacción entre los efectos fijos tratamiento y entrada. Se comprobaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas para cada modelo y se corrigió, cuando fue necesario, la heterogeneidad de las varianzas, seleccionando el modelo más parsimonioso o simple en cada caso por medio de los coeficientes AIC y BIC. El coeficiente AIC hace referencia al criterio de Akaike y BIC al criterio Bayesiano de Información. Para la comparación de los valores promedios se utilizó la prueba LSD de Fisher con un valor de significancia del 5% ($p < 0.05$).

III.2.2.2 Análisis de los componentes de la varianza para determinar la Heredabilidad (H^2)

Se calculó la heredabilidad en sentido amplio (H^2) o Grado de Determinación Genética (GDG) para las variables que presentaron diferencias significativas para tratamiento (con estrés y sin estrés) mediante los componentes de la varianza siguiendo el modelo propuesto por Mariotti (1986).

$$X_{ij} = \mu + G_i + E_{ij}$$

x_{ij} : es la observación que corresponde al genotipo G_i en j -ésima medición

μ : media general del experimento

G_i : genotipos (entradas)

E_{ij} : error experimental.

Suponiendo un diseño completamente aleatorizado, se presenta el siguiente cuadro de análisis de la varianza (Tabla 3).

Tabla 3. Cuadro de análisis de varianza para calcular heredabilidad en sentido amplio

Causas de variación	gl	V (varianza)	Esperanza de (V)
Entre genotipos	r_1	V_1	$\sigma^2_E + r_2 \sigma^2_G$
Entre réplicas dentro de genotipos	$r_1 (r_2 - 1)$	V_2	σ^2_E

Siendo;

gl: *grados de libertad*

r_1 : *número de genotipos utilizados (entradas)*

r_2 : *número de veces observado sobre un mismo genotipo*

V_1 : *estimación de la varianza entre genotipos*

V_2 : *estimación de la varianza ambiental promedio en la población (σ^2_E)*

σ^2_G : *esperanza entre los genotipos*

σ^2_E : *esperanza dentro de los genotipos*

La varianza genética poblacional (σ^2_G) puede estimarse a partir de la varianza observacional consecuencia de la partición en el análisis de la varianza:

Varianza del genotipo (σ^2_G): $(V_1 - V_2) / r_1$

Entonces;

La H^2 o GDG se calculó en base a la fórmula descrita por Falconer y Mackay, (1989) y Mariotti (1986).

$$H^2 \text{ o GDG: } \frac{\text{Varianza genética (Vg)}}{\text{Varianza fenotípica (Vf)}}$$

III.2.2.3 *Análisis multivariado*

Se procedió a efectuar el análisis multivariado en forma conjunta para las variables antes mencionadas, para ello se utilizó el programa R versión 3.0.1 (R, 2011). Se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) para todos los datos colectados (con y sin estrés). Para dicho análisis se estandarizaron los datos y seguidamente se contruyó una matriz de correlaciones lineares.

Se utilizó el paquete FactoMineR, que posibilita realizar elipses de confianza para las medias del grupo y conocer los p-valores de la correlación entre los tratamientos y las Componentes Principales (CP). Las elipses se superponen sobre el gráfico de dispersión y cuando éstas no se interceptan significa que existen diferencias entre los grupos de las variables estudiadas simultáneamente, al nivel de significancia del 5%.

Una vez verificado que las variables pudieron separar a los tratamientos significativamente se procedió a realizar nuevamente ACP solo con los datos del tratamiento con déficit hídrico. El objetivo del análisis fue visualizar la relación entre las variables estudiadas en conjunto con las entradas y estudiar las asociaciones entre individuos a partir de estas variables y los posibles agrupamientos existentes. Estos datos se graficaron en biplots realizados en base a las dos primeras Componentes Principales dado que representaron el mayor porcentaje de la varianza total de los datos.

A partir de los resultados del ACP se procedió a realizar un análisis de conglomerados con el objetivo de lograr visualizar los grupos por medio de la representación gráfica de los dendrogramas o árboles jerárquicos. Se utilizó como criterio el de agrupamiento de los individuos de acuerdo a la CP1 y un mínimo de clusters utilizando los datos estandarizados para conformar las CP. El objetivo de construir un árbol jerárquico es visualizar los vínculos entre objetos, lo cual significa estudiar la variabilidad dentro del conjunto de los datos. Esto abarca el mismo tema que el método de ACP pero se diferencia en la forma en que se presentan los dos enfoques.

III.3 Experimento 2: Largo plazo- Múltiple tratamiento de sequía- Ciclo completo de la planta.

El ensayo se realizó en invernáculo de la Estación Experimental INTA Sáenz Peña ubicada en el Km 1.108 de la Ruta Nacional 95 en Presidencia Roque Sáenz Peña, provincia del Chaco. Las condiciones ambientales del invernáculo fueron semi-controladas, presentando un rango de temperatura que varió entre 28-35°C y humedad relativa de 50-70%.

Se utilizó el protocolo de Parkhi et al. (2009) el cual fue ajustado según los requerimientos del ensayo a largo plazo. Para ello se diseñó un experimento bifactorial en dos niveles:

Factor A, correspondiente a los 2 tratamientos principales:

- Sin estrés (control): sin limitaciones de agua;
- Con estrés: con limitación de agua por diez días a partir del 50% de agua útil al inicio de tres momentos fenológicos del ciclo, 30, 70 y 120 días después de la siembra (DDS). Luego de los episodios de estrés hídrico se mantuvieron las macetas por encima del 50% del agua útil.

Factor B, correspondiente a las entradas o accesiones caracterizadas (20).

Cada unidad experimental estuvo integrada por una maceta soplada de 30 L y se consideró una repetición. Se utilizaron tres macetas por entrada sin estrés y tres macetas con estrés, de las cuales tuvo que descartarse una de cada entrada por problemas de toxicidad a causa del herbicida 2,4-D, generado por factores externos al experimento.

Las macetas de 30 L contenían 20 kg de suelo seco, el mismo correspondió a un *Haplustol típico*, descrito como bien provisto de materia orgánica; con capacidad de retención de agua medianamente alta hasta el metro, muy rico en calcio; magnesio y potasio; alta capacidad de intercambio de cationes; bajo porcentaje de saturación de bases; medianamente ácido y textura pesada. El suelo fue analizado en el Laboratorio de Suelo y Agua de la EEA INTA Sáenz Peña. Los resultados de análisis fueron el siguiente: pH: 6.8; conductividad eléctrica: 0,22 (dS.m⁻¹), P: 77.6 (ppm), Na: 0,09, K: 1,7, Ca: 6,4, Mg: 1,9 (cmol.kg⁻¹), N total: 0,15%., COT 2,6% (MOT 4,4%) y C/N 16,5. Para la identificación de la serie se utilizó una imagen satelital del programa Google Earth superponiendo la carta de suelos sobre el sitio donde se recolectó la tierra.

Contenido de humedad en el suelo:

Para determinar el agua útil (AU) del suelo se siguió la metodología propuesta por Said et al. (2003), ajustada según variables utilizadas y condiciones del ensayo.

En primer lugar se cargaron con el suelo seco y se pesaron tres macetas que sólo fueron utilizadas para realizar las determinaciones de contenido de humedad o agua útil del suelo, las macetas se regaron hasta que todos los poros del suelo fueran ocupados por agua. Tras la saturación el agua tiende a moverse por gravedad hacia el subsuelo, hasta llegar a un punto en que el drenaje es tan pequeño que el contenido de agua del suelo se estabiliza. Para llegar a este equilibrio se dejaron las macetas dos días tapadas para que drene todo el exceso de agua y no se evapore, cuando se alcanzó este punto se consideró que el suelo se encontraba a Capacidad de Campo (CC). En este momento se volvieron a pesar las macetas (balanza electrónica de capacidad 0,1 kg a 30 kg).

Buena parte del agua retenida a CC puede ser utilizada por las plantas, pero a medida que el agua disminuye se llega a un punto en que la planta no puede absorberla. En este estado se dice que el suelo está en el punto de marchitez (PM). El PM se define como el límite inferior de humedad aprovechable para las plantas. Por debajo de este umbral, el potencial hídrico del suelo es tan bajo que las fuerzas de succión de las células de las raíces son insuficientes para extraer el agua retenida por el mismo. La diferencia entre CC y PM representa la fracción de agua útil o disponible para el cultivo. Con los valores obtenidos de pesos de suelo seco y CC se procedió a realizar el cálculo de PM y AU.

Una vez determinados los valores antes mencionados se procedió a cargar las macetas del ensayo propiamente dicho con suelo seco y se regó hasta alcanzar el peso de CC establecido previamente. Las macetas en CC se sembraron con cinco golpes y tres semillas por golpe, mostrado en fotografía 3 (Anexo XI). Se realizó un riego manual con vaso de precipitado (500 ml) cada tres días hasta la germinación y se monitoreó el contenido de humedad del suelo (80-90% AU) pesando las mismas. El primer raleo se efectuó cuando todas las plántulas desplegaron sus cotiledones, dejando cinco plántulas uniformes de alto vigor determinado visualmente, mostrada en fotografía 4 (Anexo XI). Un segundo y último raleo se realizaron cuando las plantas presentaban de dos a tres hojas verdaderas. El número final de plantas por macetas fue de dos, el criterio de selección se basó en uniformidad en altura, número de hojas y plantas sanas.

Para evitar la evaporación del agua se cubrió el suelo con una capa de diez cm aproximadamente de perlita agrícola, de esta manera las variaciones en el contenido de

humedad del suelo corresponderían al agua transpirada por las plantas. Cabe aclarar también que las macetas que contenían a las plantas de algodón no presentaban orificio de salida en el fondo de las mismas.

III.3.1 Variables morfológicas, asociadas al mapeo, biomasa y productivas analizadas

1. Consumo de agua (L):

Para determinar el momento del riego se pesaron cada tres días un grupo de macetas. El peso de cada maceta indicaba la cantidad de AU disponible en la misma. Cuando el AU se encontraba por debajo de 80-90% se pesaron todas las macetas y por medio de riego con vaso de precipitado (500 ml) se restablecían las condiciones de humedad del ensayo. Durante todo el ciclo del cultivo las macetas fueron mantenidas entre 80-90% de AU en los tratamientos sin estrés. De igual manera se procedió para las macetas del tratamiento de estrés a excepción de los momentos de estrés (30, 70 y 120 días después de la siembra) donde se mantuvo a las plantas por debajo del 50% AU.

El uso del agua o consumo se determinó para cada tratamiento semanalmente sumando los incrementos de agua y pesando al inicio y al final las macetas. Relacionando el peso inicial con el peso final de cada maceta se realizaba el riego en función del siguiente criterio:

Siendo;

Peso inicial de la maceta (PI)= todas las macetas sin estrés se llevaban al mismo peso y el suministro de agua en función a su peso, manteniendo las macetas entre 80-90 % de AU durante todo el ciclo del cultivo.

De igual manera se procedió para las macetas con estrés, a excepción en el período de estrés que mantuvieron por debajo o al 50 % de AU.

Peso final de la maceta (PF)= *se pesaron todas las macetas al final de la semana.*

Entonces;

Consumo de agua (L) = PI-PF

2. Área foliar (cm²):

Se utilizó un equipo Licor 3000 y se midió al finalizar en los dos primeros episodios de estrés (40 y 80 DDS). No se midió en último episodio de estrés (140 DDS) debido a que las plantas no poseían suficientes hojas.

3. Altura de planta (cm):

Se midió la altura de las plantas desde el suelo hasta el ápice al finalizar el 1er, 2do y 3er ciclo de estrés, es decir a los 40, 80 y 140 DDS con regla métrica graduada. En el último ciclo de estrés se consideró como una de las variables asociadas al mapeo (ver ítem 4).

4. Variables asociadas al mapeo

El mapeo es una herramienta que permite cuantificar el crecimiento y desarrollo de la planta en etapas fenológicas (Constable, 1991; Kerby et al., 2010). Además, se refiere específicamente al registro y evaluación de la estructura de la planta, distribución y retención de los frutos en un momento específico (Oosterhuis et al., 1996). Con el objetivo de expresar el comportamiento del estrés hídrico acumulado durante todo el ciclo del cultivo en las diferentes entradas se realizó el mapeo a los 140 DDS, momento en el cual finalizó el ensayo. Las variables medidas en el mapeo fueron las siguientes:

-Altura de planta (AP): Se considera la distancia comprendida entre el ápice y el nudo cotiledonar (Arturi, 1984).

-Ramas vegetativas (RV): Las ramas vegetativas son aquellas que portan solo un 20% del total de la producción. Estas presentan crecimiento monopodial y se insertan en los nudos basales uno al cuatro generalmente (Arturi, 1984).

-Nº de nudos del tallo principal (NN): Esta variable está asociada al tiempo de crecimiento y se define como el total de nudos diferenciados sobre el tallo principal para un periodo definido (Arturi, 1984).

-Longitud media de los entrenudos del tallo principal (LME): Esta variable se puede vincular con el equilibrio del crecimiento, ya que asocia el número de nudos con la altura. Cuando la tasa de diferenciación de nudos es menor a la elongación de altura, se considerara que el cultivo está en una fase final de ciclo (Mondino, 2006).

-Nº de nudo del tallo principal en que se inserta la primer rama fructífera (NPRF): Este parámetro está asociado a la precocidad del cultivo, la inserción de la primera rama

fructífera puede variar según el ciclo de la variedad y se considera contando a partir del nudo cotiledonar (Mondino, 2006).

-Nº de ramas fructíferas (NRF): Se considera que es el total de ramas fructíferas para un determinado periodo de crecimiento (Arturi, 1984).

-Total de puntos fructíferos de la planta (TPF): El total de puntos fructíferos consideran todos los sitios donde esta alguna estructura reproductiva independiente de su fijación. Esta variable está vinculada con el potencial. (Constable, 1991).

-Porcentaje de frutos fijados del total de puntos diferenciados en la planta (%F): Esta relación determina la eficiencia productiva, ya que considera los puntos que efectivamente se transformaron en producción en relación a la diferenciación total (Constable, 1991)

-Nº frutos caídos (CAI): Esta variables está determinada por todos los puntos que no poseen estructuras reproductivas dentro de una estación de crecimiento (Constable 1991).

-Nº de capullos (CAPL): Pertenece a uno de los factores de rendimiento y permite predecir el comportamiento final. Considera todos los capullos aptos para cosechar en una planta (Mondino, 2006).

-Precocidad (PREC%): Es la relación entre el porcentaje de algodón listo para recolectar, (considerando dos períodos de cosecha) y el estado de madurez del cultivo, reflejando el ciclo del mismo (Bourland et al., 2000). En el presente trabajo se consideró como el porcentaje de capullos abiertos al momento de mapeo en relación al total de frutos formados por la planta en la estación de cultivo.

5. Biomasa total, aérea y de raíces(g) :

Para el cálculo de biomasa total una vez realizado el mapeo, se comenzó a separar la biomasa aérea y subterránea en hojas, tallo, bochas, botones florales y raíces colocando en sobres de madera que seguidamente fueron secados a estufa por cinco días a 70°C. Transcurrido el tiempo de secado se pesó con balanza electrónica modelo Systel Clipse con capacidad máxima hasta 15 Kg.

6. Rendimiento de algodón en bruto, semilla y fibra (g):

Se cosecharon los capullos una vez finalizado el ciclo del cultivo. Se efectuó el pesado de los capullos (algodón en bruto) representando uno de los componentes directos del rendimiento, y que tiene, según Arturi (1984), una correlación negativa con número de frutos y porcentaje de desmote. Luego se procedió a separar las fibras de las semillas mediante la utilización de una micro desmotadora. Seguido a esto se procedió al peso de las semillas y fibras.

7. Eficiencia en el Uso del Agua (EUA)

Se determinó en base a la biomasa total producida (g) por unidad de agua suministrada (L) al final del ciclo del cultivo.

III.3.2 Análisis estadístico en variables morfológicas, asociadas al mapeo y productivas

III.3.2.1 Análisis univariado

Al igual que en el experimento de corto plazo, se trabajó con modelos generales lineares y mixtos con el programa estadístico InfoStat/P (Di Rienzo et al., 2014) a través de su interfaz con R.

Se analizó las variables en cada ciclo de estrés, es decir a los 40, 80 y 140 DDS. Se consideró el efecto de tratamiento y entrada como efecto fijo y las repeticiones como efecto aleatorio. Se evaluó la interacción entre los efectos fijos tratamiento y entrada.

Se comprobaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas para cada modelo y se corrigió cuando fue necesario la heterogeneidad de las varianzas, seleccionando el modelo más parsimonioso o simple en cada caso por medio de los coeficientes AIC y BIC. El coeficiente *AIC* hace referencia al criterio de Akaike y *BIC* al criterio Bayesiano de Información. Para la comparación de los valores promedios se utilizó la prueba LSD de Fisher a un valor de significancia del 5% ($p < 0,05$).

III.3.2.2 Análisis de los componentes de la varianza para determinar Herederabilidad (H^2)

Se calculó la heredabilidad utilizando la misma metodología y criterio en el experimento 1 de corto plazo.

III.3.2.3 Análisis multivariado

Se procedió de igual manera que en el experimento 1, desarrollado en el punto II.2.2.3.

IV RESULTADOS

IV.1 Experimento 1: Corto Plazo- Tratamiento de sequía-Etapa de crecimiento Vegetativo

IV.1.1 Análisis estadístico en variables fisiológicas

IV.1.1.1 Análisis univariado

1. Conductancia Estomática ($\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)

i. Efectos fijos

La tabla 4 presenta las medidas de ajuste del modelo para la variable conductancia estomática al finalizar el ciclo de estrés.

Tabla 4. Medidas de ajuste del modelo mixto

N	AIC	BIC	loglik	Sigma	R ² 0	R ² 1
240	1859,91	2001,74	-886,96	3,24	0,66	0,64

La tabla 5 muestra las diferencias significativas entre tratamientos, entradas y la existencia de interacción entre los dos factores. En la tabla 6 se observa que la Ce fue significativamente mayor en el tratamiento sin estrés versus al estresado.

Tabla 5. Pruebas de hipótesis secuenciales para la variable conductancia estomática

	numDF	denDF	F-valor	p-valor
(Intercept)	1	199	1,40	0,2387
Tratamiento	1	199	229,85	<0,0001
Entrada	19	199	2,89	0,0001
Tratamiento: entrada	19	199	3,58	<0,0001

Tabla 6. Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento según conductancia estomática- Ce Test LSD Fisher (Alfa=0,05)

Tratamiento	Medias	E.E
Sin estrés	125,37 A*	8,69
Con estrés	3,82 B	3,37

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

La presencia de diferencias significativa en la interacción (Tratamiento*Entrada) (Anexo I) indica que las entradas responden de manera diferente para las dos condiciones de humedad y que la respuesta de la Ce ($\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) no es independiente para ambos factores fijos. La entrada BGSP 799 fue la que presentó mayor promedio ($269,25 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) y la entrada BGSP 750 la menor ($12,28 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) en condiciones sin estrés. La respuesta de Ce en todas las entradas fue similar en el tratamiento con estrés hídrico, lo que se evidencia por ausencia de diferencias significativas entre las entradas. Esto muestra que ante la presencia de ambientes estresantes se anulan las diferencias genéticas.

La entrada SP 48114 presentó mayor valor ($11,55 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) en el tratamiento con estrés. Sin embargo en el tratamiento sin estrés presento un valor medio de $97,48 \text{ (mmol m}^{-2}\text{s}^{-1})$.

Por otro lado, la respuesta de Ce para ambas condiciones de humedad en las entradas BGSP 715, BGSP 73, BGSP 67 y BGSP 750 no presentaron diferencias estadísticas significativas a pesar que tuvieron medias más bajas en el tratamiento sin estrés.

ii. Efectos aleatorios

El cálculo de la varianza de los efectos aleatorios se obtiene multiplicando el desvío estándar de las repeticiones (1,47) por el desvío estándar de los errores o sigma (3,24). La varianza fue $\sigma^2=4,76$. En este caso no se utiliza este efecto aleatorio con fines predictivos sino solo a modo de considerar la variabilidad generada por las dos repeticiones.

iii. Estructura de varianzas

Para este modelo se consideraron varianzas heterogéneas para cada tratamiento, ya que fue mucho mayor la varianza en el tratamiento sin estrés que con estrés. El modelo se

seleccionó siguiendo el criterio REML (estimador de máxima verosimilitud restringida). Los resultados se presentan en tabla 7 y 8.

Tabla 7. Parámetros de la función de varianza de los tratamientos según conductancia estomática

Parámetro	Estimación
Con estrés	1
Sin estrés	27,12

Para el cálculo de la varianza estimada para cada tratamiento se toma en cuenta lo siguiente:

$$\text{Varianza estimada} = (\text{parámetro} * \sigma^2)$$

Donde σ es el desvío estándar de los errores obtenido de las medidas de ajuste del modelo.

Tabla 8. Estimación de varianza para ambos tratamientos en conductancia estomática

Parámetro	Varianza estimada
Con estrés	$(1 * 3.24)^2 = 10.49$
Sin estrés	$(27.12 * 3.24)^2 = 7720.92$

Los resultados indican que existió mayor variabilidad en el comportamiento de la conductancia estomática para las diferentes entradas cuando se encontraron en condiciones normales, es decir sin estrés hídrico. La varianza en el tratamiento con estrés fue mucho menor, demostrando que la respuesta en la Ce en condiciones de estrés se comporta de manera uniforme para todas las entradas caracterizadas.

2. Temperatura foliar (°C)

i. Efectos fijos:

La tabla 9 presenta las medidas de ajuste del modelo para la variable temperatura al finalizar el ciclo de estrés.

Tabla 9. Medidas de ajuste del modelo mixto

N	AIC	BIC	loglik	Sigma	R ² 0	R ² 1
240	217,51	418,71	-47,75	0,95	0,48	0,67

No hubo diferencias estadísticas significativas para tratamiento ni interacción de los factores fijos (Tratamiento*Entrada). Sin embargo hubo diferencias significativas entre entradas (Tablas 10 y 11).

Tabla 10. Pruebas de hipótesis marginales para la variable temperatura con varianzas heterogéneas para las entradas

	numDF	denDF	F-valor	p-valor
(Intercept)	1	199	10340,09	<0,0001
Tratamiento	1	199	0,04	0,8499
Entrada	19	199	12,87	<0,0001
Tratamiento: entrada	19	199	1,21	0,2558

La ausencia de efecto de tratamiento estaría indicando que la temperatura foliar se comporta de manera similar en ambas condiciones de humedad y que las diferencias se debieron a las características propias de cada entrada.

Los resultados (Tabla 11) indican que las entradas presentan distintas temperatura de hoja.

Así la entrada BGSP 715 registró la temperatura más elevada aunque no presentó diferencias significativas con las entradas BGSP 716, BGSP 67, BGSP 750, BGSP 805, BGSP 156, BGSP 735, BGSP 799, BGSP 475, BGSP 392, BGSP 514 y BGSP 73.

Por el contrario la entrada BGSP 43 obtuvo la temperatura de hoja más baja y presentó diferencias significativas con el resto de las entradas.

Tabla 11. Medias ajustadas y errores estándares para las entradas según temperatura foliar - Test LSD Fisher (Alfa=0.05)

Entradas	Medias		E.E
BGSP 715	30,51	A*	0,43
BGSP 716	30,30	A	0,29
BGSP 67	30,23	A	0,30
BGSP 750	30,23	A	0,30
BGSP 805	30,18	AB	0,34
BGSP 156	30,13	AB	0,29
BGSP 475	30,11	AB	0,29
BGSP 735	30,07	AB	0,29
BGSP 799	30,03	ABC	0,29
BGSP 392	29,98	ABC	0,29
BGSP 514	29,91	ABCD	0,29
BGSP 73	29,87	ABCD	0,35
BGSP 507	29,85	BCD	0,30
BGSP 463	29,84	BCD	0,30
BGSP 804	29,81	CD	0,29
BGSP 765	29,79	CD	0,30
BGSP 803	29,67	CD	0,29
SP 48114	29,66	CD	0,34
BGSP 52	29,26	D	0,46
BGSP 43	27,97	E	0,40

**Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)*

ii. Efectos aleatorios

La varianza del efecto aleatorio fue $\sigma^2=0,30$ (σ^2 =desvío estándar de las repeticiones* desvío estándar de los errores (σ)=0,41 * 0,95 = 0,30).

iii. Estructura de varianzas

Se seleccionó un modelo con varianzas heterogéneas para las entradas. Hubo dos entradas que fueron mucho más variables en la temperatura de hoja: BGSP 43 y BGSP 52 (Tabla 12 y 13).

Tabla 12. Parámetros de la función de varianza de las entradas según temperatura foliar

Parámetro	Estimación
BGSP 735	0,04
BGSP 803	0,10
BGSP 716	0,11
BGSP 475	0,11
BGSP 804	0,13
BGSP 514	0,14
BGSP 715	0,14
BGSP 156	0,16
BGSP 392	0,17
BGSP 799	0,24
BGSP 507	0,21
BGSP 750	0,26
BGSP 765	0,26
BGSP 67	0,27
BGSP 463	0,35
BGSP 805	0,64
SP 48114	0,68
BGSP 73	0,69
BGSP 43	1,00
BGSP 52	1,32

Tabla 13. Estimación de varianza para las entradas en temperatura foliar

Parámetro	Estimación
BGSP 735	$(0,04*0,95)^2=0,0014$
BGSP 803	$(0,10*0,95)^2=0,0090$
BGSP 716	$(0,11*0,95)^2=0,0109$
BGSP 475	$(0,11*0,95)^2=0,0109$
BGSP 804	$(0,13*0,95)^2=0,0152$
BGSP 514	$(0,14*0,95)^2=0,0176$
BGSP 715	$(0,14*0,95)^2=0,0176$
BGSP 156	$(0,16*0,95)^2=0,0231$
BGSP 392	$(0,17*0,95)^2=0,0260$
BGSP 507	$(0,21*0,95)^2=0,0398$
BGSP 799	$(0,24*0,95)^2=0,0519$
BGSP 750	$(0,26*0,95)^2=0,0610$
BGSP 765	$(0,26*0,95)^2=0,0610$
BGSP 67	$(0,27*0,95)^2=0,0657$
BGSP 463	$(0,35*0,95)^2=0,1113$
BGSP 805	$(0,64*0,95)^2=0,3696$
SP 48114	$(0,68*0,95)^2=0,4173$
BGSP 73	$(0,69*0,95)^2=0,4296$
BGSP 43	$(1,00*0,95)^2=0,9025$
BGSP 52	$(1,32*0,95)^2=1,1913$

3. Contenido de Agua Relativo (CAR)

i. Efectos fijos:

La tabla 14 presenta las medidas de ajuste del modelo para la variable contenido de agua relativo al finalizar el ciclo de estrés.

Tabla 14. Medidas de ajuste del modelo mixto

N	AIC	BIC	loglik	Sigma	R ² 0	R ² 1
400	3007,97	3171,19	-1461,99	12,30	0,72	0,74

Después de los seis días del estrés, el CAR, definido como el porcentaje de agua en una hoja con respecto a esa hoja a plena hidratación (Slavik, 1974) presentó diferencias significativas en los valores promedios de tratamientos y entradas (Tabla 15). Hubo interacción significativa entre ambos factores (Tabla 15).

Tabla 15. Pruebas de hipótesis secuenciales para la variable contenido de agua relativo

	numDF	denDF	F-valor	p-valor
(Intercept)	1	359	335,03	<0,0001
Tratamiento	1	359	928,46	<0,0001
Entrada	19	359	1,93	0,0112
Tratamiento: entrada	19	359	2,21	0,0027

En condiciones de déficit hídrico, la variable CAR presentó valores más bajos en plantas que crecieron con estrés por un efecto de tratamiento (Tabla 16) reflejado por síntomas de marchitez temporaria (Figura 1)

Tabla 16. Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento según contenido de agua relativo – Test LSD Fisher (Alfa=0,05)

Tratamiento	Medias	E.E
Sin estrés	81,79 A*	3,50
Con estrés	44,32 B	3,50

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



Figura 1: Manifestación síntomas de marchitamiento en hojas producido por la falta de agua y ausencia de síntomas en el tratamiento control

Los resultados de la interacción entre los factores (Tratamiento*Entradas) presentaron significancia (Anexo II), indicando que las entradas responden de manera diferente para las dos condiciones de humedad.

Las entradas que estuvieron sometidas a condiciones sin estrés presentaron porcentajes de CAR más elevado, siendo la BGSP 52 (90,20%) la más hidratada y no presentó diferencias significativas con BGSP 799, 507, SP 48114, BGSP 392, BGSP 67, BGSP 514, BGSP 803, BGSP 156, BGSP 805, BGSP 750, BGSP 735, BGSP 475, BGSP 73 y BGSP 804. La entrada BGSP 715 presentó el CAR más bajo dentro del tratamiento sin estrés y no presentó diferencias significativas con BGSP 716, BGSP 765, BGSP 463 y BGSP 43. Estos resultados indicarían que las mismas presentarían menos hidratación que las demás entradas.

En relación a las condiciones de estrés hídrico, la entrada BGSP 43 presentó un CAR más elevado (52,81%) y fue similar a BGSP 514, SP 48114, BGSP 67, BGSP 475, BGSP 803, BGSP 507, BGSP 804, BGSP 735, BGSP 463 y BGSP 715.

La entrada BGSP 805 presentó un CAR de 30,90%, mostrando ser la más afectada dentro del tratamiento con estrés junto a las entradas BGSP 750, BGSP 52, BGSP 392, BGSP 73, BGSP 716, BGSP 765, BGSP 156 y BGSP 799.

ii. Efectos aleatorios

La varianza del efecto aleatorio fue $\sigma^2=58,91$ (σ^2 =desvío estándar de las repeticiones* desvío estándar de los errores (σ^2)= $4,79 * 12,30 = 58,91$). El modelo presentó homogeneidad de varianzas para los factores fijos, por lo tanto no hubo que ajustar la heterocedasticidad.

IV.1.1.2 Análisis estadístico de los componentes de la varianza para determinar Heredabilidad (H^2)

Los componentes de varianza genética se determinaron para las variables que presentaron diferencias significativas en los tratamientos, es decir CAR y Ce, no así T (Tabla 17). Los componentes genéticos mostraron valores menores en condiciones de estrés hídrico en relación a la varianza del tratamiento sin estrés, similar comportamiento expresó la varianza fenotípica. Así mismo la heredabilidad en sentido amplio para la variable CAR ($H^2 = 0,085$) en condiciones de estrés hídrico fue baja. Esto significa que en la variable CAR el 8,50% de la variación fenotípica es debida al genotipo y el 91,50% es ambiental. En condiciones de buena disponibilidad hídrica (Sin estrés) el CAR presentó una heredabilidad también baja ($H^2 = 0,081$), es decir, el 8,10% se deben al genotipo y 91,90% al ambiente.

La heredabilidad en sentido amplio para la Ce en condiciones de estrés hídrico ($H^2 = 0,035$) fue baja. El 3,50% de la variación fenotípica se debió al genotipo y 96,50% al ambiente, distinta fue la respuesta para buenas condiciones de agua (Sin estrés), el 32% del fenotipo se debió a la expresión del genotipo y el 68% al ambiente.

Tabla 17. Varianzas genética, fenotípica y heredabilidades en sentido amplio en los dos tratamientos para contenido de agua relativo y conductancia estomática

Variabes	Tratamiento	σ^2_G	σ^2_F	H^2
CAR	Sin estrés	20,08	245,18	0,081
	Con estrés	9,64	112,25	0,085
Ce	Sin estrés	3409,45	10662,25	0,32
	Con estrés	0,90	25,55	0,035

IV.1.1.3 Análisis multivariado

En esta instancia se estudió conjuntamente las variables las Ce ($\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), T ($^{\circ}\text{C}$) y CAR (%) mediante un análisis multivariado para los dos tratamientos, con y sin estrés hídrico, con el objeto de ver si estas tres variables en conjunto lograban separar a las entradas que mejor tolerancia al estrés presentaron. Para el mismo se utilizó el programa R 3.0.1, específicamente el paquete estadístico FactoMineR. En primer lugar se efectuó un Análisis de Componentes Principales (ACP), el cual ordena y permite arreglar y representar gráficamente el material de estudio en un número reducido de dimensiones. Seguidamente se realizó un análisis de conglomerados o cluster cuya representación gráfica es un dendrograma, también con el objetivo de representar las similitudes o correlaciones entre las diferentes entradas (Husson et al., 2010)

IV.1.1.3.1 Análisis de Componentes Principales para las variables para ambos tratamientos

Se deben considerar como aceptables los componentes cuyos valores propios expliquen un 70% o más de la varianza total acumulada (López e Hidalgo, 1994). Tomando el criterio mencionado anteriormente, se tomaron las dos primeras componentes principales que explican un 90,46% de la varianza total (Tabla 18).

Tabla 18. Valores de las componentes principales

	Autovalores	Porcentaje de la varianza	Porcentaje acumulado
Componente principal 1	1,71	57,11	57,11
Componente principal 2	1,00	33,35	90,46

Las variables que definen la Componente Principal 1 (CP1) son el CAR y la Ce (Tabla 19). La Componente Principal 2 (CP2) está definida por la T (Figura 2).

Tabla 19. Correlación de conductancia estomática, temperatura foliar y contenido de agua relativo con cada componente principal (autovectores)

	Componente principal 1	Componente principal 2
Conductancia estomática	0,92	-0,05
Temperatura de hoja	0,04	1,00
Contenido agua relativo	0,93	0,01

En la tabla 20 se presenta la significancia de cada variable con las CP, cuando la hubiera. Para la categoría Tratamiento se realizó también un análisis de la varianza, el cual confirmó que las coordenadas de los tratamientos con estrés y sin estrés fueron significativamente diferentes en relación a las variables CAR y Ce (Tabla 21), presentando el grupo sin estrés coordenadas mayores en la CP1 que el grupo con estrés que tiene coordenadas menores al promedio, confirmado esto gráficamente por las elipses de confianza. (Figura 3).

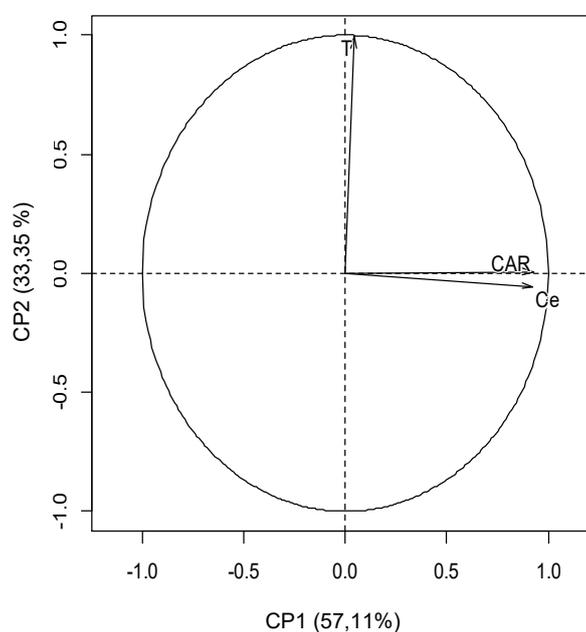


Figura 2: Gráfico de variables Ce, T y CAR en las CP1 y 2 en los dos tratamientos

Tabla 20. Prueba de significancia de la correlación de conductancia estomática, temperatura foliar y contenido de agua relativo con las CP 1 y CP 2 (Test de Student)

	Componente principal 1		Componente principal 2	
	Correlación	p-valor	Correlación	p-valor
Conductancia estomática	0,9243	1,74851 e-17		
Contenido agua relativo	0,9256	1,25238 e-17		
Temperatura de hoja			0,9987	4,20714 e-51

Tabla 21. Prueba de significancia de la correlación de la variable categórica Tratamiento con la CP1 (Test de Student)

	Componente principal 1	
	R ²	p-valor
Tratamiento	0,8438	6,653532 e-17
	Estimado	p-valor
Sin estrés	1,202352	6,653532 e-17
Con estrés	-1,202352	6,653532 e-17

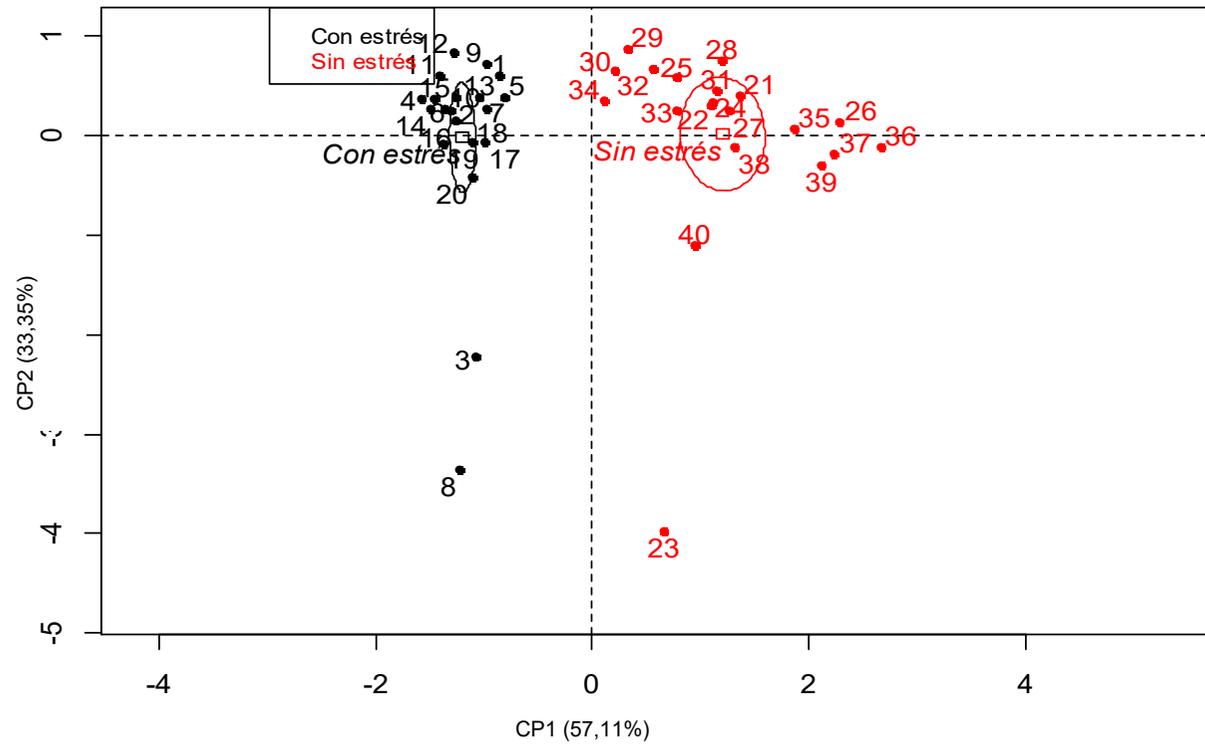


Figura 3: Gráfico de individuos y diferencias significativas (elipses) en los tratamientos sin estrés y con estrés hídrico en las CP1 y CP2

IV.1.1.3.2 Análisis de componentes principales para el tratamiento con estrés

Una vez realizado el ACP para las entradas y ambos tratamientos se analizó únicamente el tratamiento con estrés con el objeto de visualizar de acuerdo a los valores que mostraron para cada variable cómo se distribuyeron las entradas. La CP1 contribuyó con el 53,59 % de la varianza total, la CP2 aportó un 29,69% de la variabilidad total no explicada por la CP1. La variabilidad total explicada por ambos componentes fue del 83,28% (Tabla 22).

Tabla 22. Valores de las componentes principales en el tratamiento con estrés hídrico

	Autovalores	Porcentaje de la varianza	Porcentaje acumulado
Componente principal 1	1,60	53,59	53,59
Componente principal 2	0,89	29,69	83,28

Las variables que definieron la CP1 fueron Ce y el CAR (Tabla 23). En cuanto a la CP2 la variable que la define fue la T (Tabla 23) y (Figura 4).

La figura 5 muestra cómo se relacionó cada entrada con las componentes principales. Las que se diferenciaron del conjunto de entradas fueron SP48114 y BGSP 43 en la CP1 mostrando los valores más altos de Ce y CAR; BGSP 43 y BGSP 52 se diferenciaron por los menores valores de la CP2, presentando las menores T (Tabla 24), coincidiendo con los resultados informados en el análisis univariado.

Tabla 23. Correlación de conductancia estomática, temperatura foliar y contenido de agua relativo con cada componente principal (autovectores)

	Componente principal 1	Componente principal 2
Conductancia estomática	0,81	0,31
Temperatura de hoja	-0,49	0,86
Contenido agua relativo	0,83	0,21

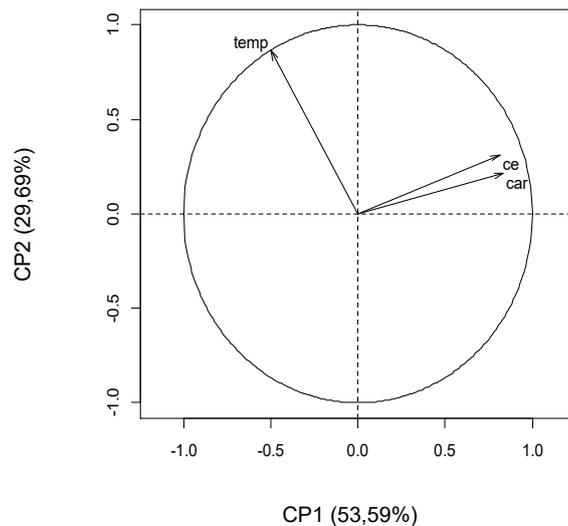


Figura 4: Gráfico de variables Ce, T y CAR en las CP1 y CP2 en condiciones de estrés hídrico

Tabla 24. Coordenadas de las entradas en las CP1 y CP2

Entrada	Componente principal 1	Componente principal 2
BGSP156	-0,82	0,23
BGSP392	-0,90	-0,00
BGSP43	2,54	-2,11
BGSP463	-0,23	0,07
BGSP475	0,73	0,97
BGSP507	1,67	0,72
BGSP514	0,53	0,167
BGSP52	0,06	-2,91
BGSP67	0,48	0,93
BGSP715	-0,67	0,06
BGSP716	1,07	0,53
BGSP73	-0,77	-0,19
BGSP735	-0,07	0,47
BGSP750	-1,74	0,06
BGSP765	-0,34	-0,14
BGSP799	-0,88	0,01
BGSP803	0,46	-0,17
BGSP804	0,02	-0,16
BGSP805	-2,07	0,09
SP48114	3,09	1,34

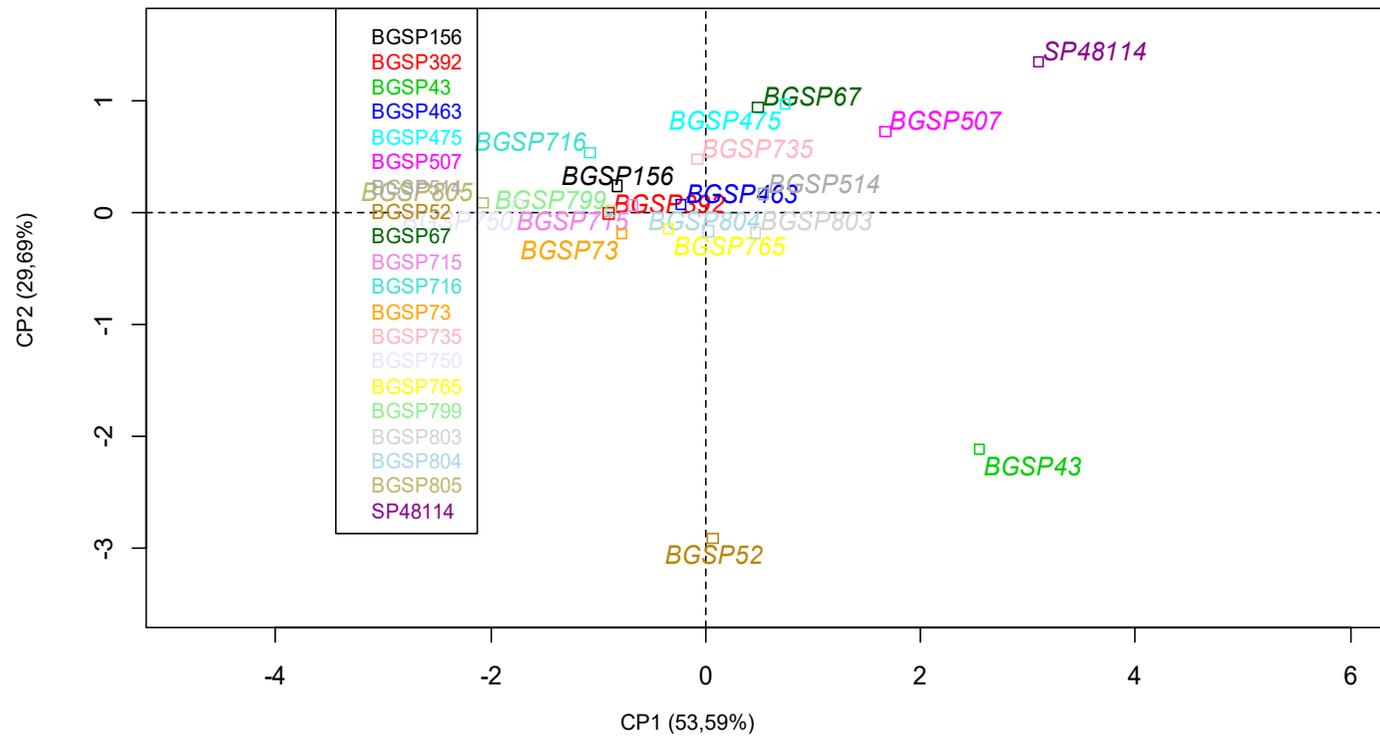


Figura 5: Gráfico de individuos (entradas) en las CP1 y CP 2 en condiciones de estrés hídrico

IV.1.1.3.3 *Análisis de grupos para el tratamiento con estrés*

El árbol jerárquico dividió a las entradas en tres agrupamientos (Figura 6). En el agrupamiento uno el 37,5% de las entradas fueron originarias de Argentina (BGSP 805, BGSP 799, BGSP BGSP 392) mientras que 62,5% restantes están representadas en iguales proporciones por poblaciones originarias de China (BGSP 750), Siria (BGSP 716), USA (BGSP 156), Costa de Marfil (BGSP 73) y Pakistan (BGSP 715).

Para el agrupamiento dos, el 50% de las poblaciones fueron provenientes de Argentina (SP 48114, BGSP 804, BGSP 803, BGSP 507) y el otro 50% de China (BGSP 765), USA (BGSP 463), Australia (BGSP 514), Costa de Marfil (BGSP 67) y Ex URSS (BGSP 735).

Con respecto al agrupamiento tres: estuvieron conformadas por la entrada BGSP 43 de origen americano y BGSP 52 de origen brasilero teniendo en común que son materiales obsoletos o antiguos.

Estos porcentajes sugieren que las características fisiológicas presentaron mayor peso para separar a las entradas y no por su origen ni tipo de población, ya que en los diferentes grupos se encuentran entradas de orígenes y poblaciones diversas.

Agrupamiento uno: BGSP 805, BGSP 750, BGSP 716, BGSP 392, BGSP 799, BGSP 73, BGSP 156, BGSP 715;

Agrupamiento dos: BGSP 765, BGSP 463, BGSP 804, BGSP 735, BGSP 803, BGSP 514, BGSP 67, BGSP 475, BGSP 507, SP48114;

Agrupamiento tres: BGS P52 y BGSP 43.

Esta partición es representada en el mapa producido por las dos componentes principales donde los individuos están coloreados de acuerdo al agrupamiento al que pertenecen (Figura 7).

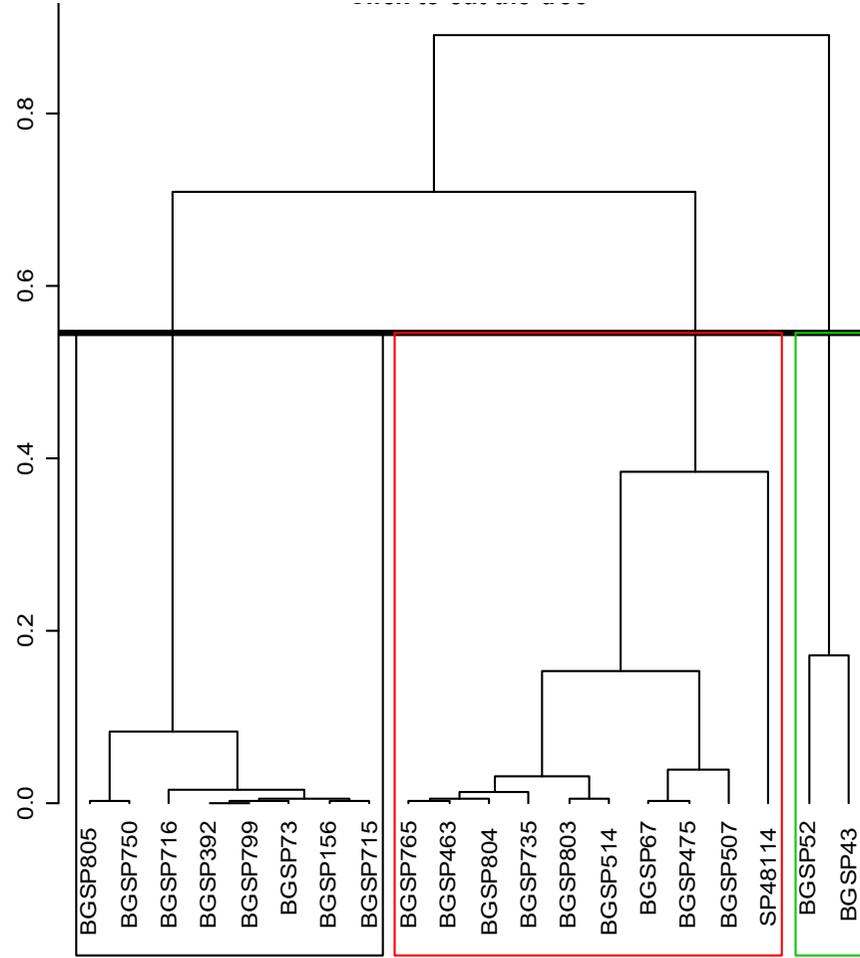


Figura 6: Árbol jerárquico dividiendo a las entradas en tres grupos por las CP1 y 2 en condiciones de estrés

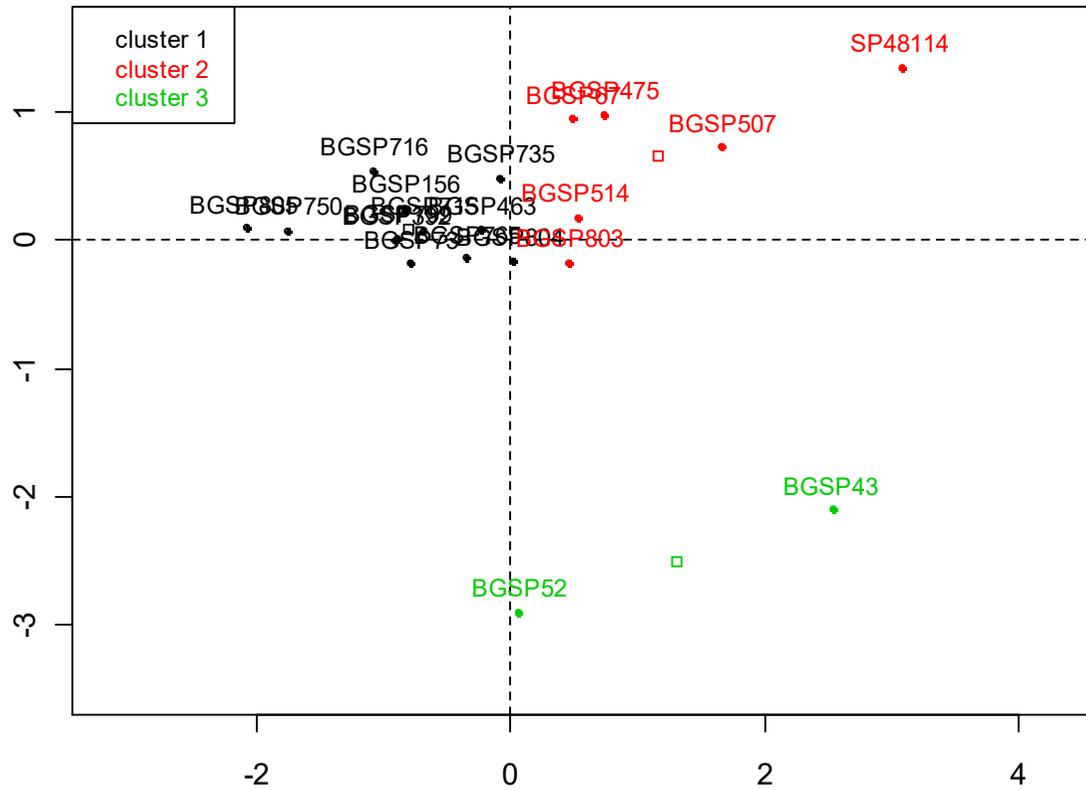


Figura 7: Representación de los grupos de entradas en el mapa en condiciones de estrés hídrico formados a partir de las CP1 y CP2

Los resultados para las variables continuas se presentan en la tabla 25. En ella se describe el promedio para las variables cuantitativas que caracterizan cada grupo (Media de la categoría), el promedio para la variable para el conjunto total de datos (Media general), el desvío estándar asociado y el p-valor correspondiente a la hipótesis de que la media de la categoría es igual a la media global. Si el p-valor es menor a 0,05 la media del grupo es significativamente mayor o menor a la media global, según el signo del v.test. El test de valor (v. test) es considerado una desviación “estandarizada” entre la media de los individuos de una categoría y la media global. Según el signo indica si la disviación del grupo es con valores menores o mayores. Las entradas en el grupo uno se caracterizan por tener un CAR menor que la media general, las del grupo dos un CAR mayor a la media general y las del grupo tres una T menor a la media general.

Tabla 25. Descripción de los grupos a través de las variables continuas (conductancia estomática, temperatura foliar y contenido de agua relativo)

Variable continuas	Grupos	v.test	Media en la categoría	Media general	D.E de la categoría	D.E.de la general	p-valor
CAR	1	-3,13	38,72	44,32	4,04	6,36	0,001
CAR	2	2,93	48,60	44,32	3,60	6,30	0,003
T	3	-4,10	28,32	29,83	0,05	0,53	3,96 x10⁻⁵

Los grupos también pueden describirse a través de las componentes principales, lo cual se realiza por medio de una descripción idéntica a la conducida para las variables continuas.

La tabla 26 muestra que las entradas que integran el agrupamiento uno tienen menores coordenadas en la CP1, caracterizada por las variables CAR y Ce presentando valores más bajos para estas variables que las entradas del agrupamiento dos que tienen coordenadas mayores en la CP1, y las del agrupamiento tres tienen coordenadas menores en la CP2 respecto de la media general presentando valores significativamente menores de T que es la variable que caracteriza la CP2.

Tabla 26. Descripción de los grupos por las componentes principales

Componente principal	Grupo	v.test	Media en la categoría	Media general	D.E de la categoría	D.E. general	p-valor
1	1	-3,14	-1,12	$1,9 \times 10^{-15}$	0,47	1,26	0,001
1	2	2,18	0,63	$1,9 \times 10^{-15}$	0,98	1,26	0,02
2	3	-3,86	-2,50	-4,50	0,39	0,94	0,001

Puede ilustrarse también un grupo utilizando individuos específicos de ese grupo, para lo cual se puede diferenciar entre los parangones, es decir las entradas que en este caso estarían más cerca del centro del agrupamiento y los individuos específicos que son los que están más alejados de los centros de los otros grupos. En la tabla 27 se ve que las entradas BGSP 392, BGSP 514 y BGSP 52 son las que mejor representan a los agrupamientos uno, dos y tres respectivamente; por otra parte los que son específicos de cada agrupamiento son BGSP 805, SP48114 y BGSP 52, en el mismo orden.

Tabla 27. Descripción de los grupos por las componentes principales

Grupo 1				
<u>Parangones</u>				
BGSP 392	BGSP 799	BGSP 156	BGSP 716	BGSP 715
0,24	0,25	0,32	0,43	0,44
<u>Individuos específicos</u>				
BGSP 805	BGSP 750	BGSP 716	BGSP 392	BGSP 799
2,72	2,40	1,71	1,59	1,57
Grupo 2				
<u>Parangones</u>				
BGSP 514	BGSP 67	BGSP 475	BGSP 803	BGSP 735
0,27	0,53	0,56	0,62	0,71
<u>Individuos específicos</u>				
SP 48114	BGSP 507	BGSP 475	BGSP 67	BGSP 514
4,25	2,85	2,05	1,81	1,65
Grupo 3				
<u>Parangones</u>				
BGSP 52	BGSP 43			
1,30	1,30			
<u>Individuos específicos</u>				
BGSP 52	BGSP 43			
3,23	3,17			

IV.2 Experimento 2: Largo plazo- Múltiple tratamiento de sequía- Ciclo completo de la planta

IV.2.1 Análisis estadístico en las variables morfológicas, asociadas al mapeo, biomasa y productivas

IV.2.1.1 Análisis estadístico univariado

IV.2.1.1.1 Variables analizadas en el primer episodio de estrés hídrico (40 DDS)

En la tabla 28 se pueden observar los resultados promedios para las variables de AP y AF. Para el tratamiento con limitaciones hídricas, la AP varió entre 48 y 93 cm pasando por un valor promedio de 67,53 cm. Para condiciones de buena disponibilidad de agua (sin estrés) la AP comprendió entre 56 y 100,03 cm, presentado un valor promedio de 83,33 cm. En cuanto al CV, ambos tratamientos presentan coeficientes afines, siendo mayor en el tratamiento con estrés (12,89%) con respecto al sin estrés (12,08%).

Los valores del AF en condiciones de estrés hídrico oscilaron entre 251,64 y 647,25 cm², presentando un valor promedio de 430,17 cm². En condiciones de buena disponibilidad de agua (sin estrés) el rango del AF comprendió entre 306,73 y 698,61 cm² alcanzando un promedio de 503,86 cm². El CV en el tratamiento con estrés fue de 18,61% y 17,90% para el sin estrés.

Tabla 28. Medidas de resumen para los tratamientos según altura de planta y área foliar en el período de estrés iniciado a los 30 días después de la siembra

Tratamiento	Variable	N	Media	E.E	C.V	Mín	Máx
Con estrés	AP	80	67,53	0,97	12,89	48	93
Sin estrés	AP	80	83,33	1,13	12,08	56	100,03
Con estrés	AF	80	430,17	8,95	18,61	251,64	647,25
Sin estrés	AF	80	503,86	10,08	17,90	306,73	698,61

Para corroborar si estas diferencias son significativas se procedió a realizar las pruebas de hipótesis secuenciales que se presentan a continuación en ambas variables (AP y AF).

1. Altura de planta (cm)

i. Efectos fijos:

La tabla 29 presenta las medidas de ajuste del modelo para altura de planta en el período de estrés iniciado a los 30 días después de la siembra.

Tabla 29. Medidas de ajuste del modelo mixto

N	AIC	BIC	loglik	Sigma	R ² 0	R ² 1
160	950,81	1067,89	-433,41	7,06	0,74	0,75

La tabla 30 muestra que hay efecto de tratamiento y de genotipos (entradas) para la variable AP. La significancia de interacción revela que la variable no es independiente ante los dos efectos (Tratamiento*Entrada).

Tabla 30. Pruebas de hipótesis secuenciales para altura de planta en el período de estrés iniciado a los 30 días después de la siembra

	numDF	denDF	F-valor	p-valor
(Intercept)	1	119	2800,84	<0,0001
Tratamiento	1	119	200,56	<0,0001
Entrada	19	119	6,43	<0,0001
Tratamiento: entrada	19	119	1,75	0,0372

En la prueba de comparación de media, la AP fue afectada por el tratamiento con estrés demostrado por las diferencias estadísticas significativa (Tabla 31). De esta manera, las plantas que crecieron en condiciones de buena humedad del suelo (sin estrés) tuvieron mayor AP (83,33 cm), a diferencia de aquellas que estuvieron sometidas a estrés hídrico donde su crecimiento se vio afectado en 18,93% representado un 15,80 cm menos. Este efecto se observa en fotografía 5 (Anexo XI).

Tabla 31. Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento según altura de planta- Test LSD Fisher (Alfa=0,05)

Tratamiento	Medias	E.E
Sin estrés	83,33 A*	1,53
Con estrés	67,53 B	1,53

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

La interacción (Tratamiento*Entrada) manifiesta (Anexo III) que las entradas se comportan de manera diferente según el tratamiento, y no siguieron un mismo patrón. Las entradas que presentaron mayor AP en condiciones de buena disponibilidad de agua (sin estrés) y que no presentaron diferencias estadística entre ellas fueron: BGSP 765 (93 cm), BGSP 67 (93 cm), BGSP 735 (91,76 cm), BGSP 750 (91,25 cm), BGSP 804 (90,75, cm), BGSP 805 (89 cm), SP 48114 (87,25 cm), BGSP 392 (87,25 cm), BGSP 514 (86 cm), BGSP 715 (85,50 cm), BGSP 803 (84,50 cm) y BGSP 507 (84,50 cm). En condiciones de estrés las entradas BGSP 765 (79,50 cm) y SP 48114 (79,50 cm) no se diferenciaron estadísticamente entre ellas.

Por el contrario, las entradas con menor AP en el tratamiento con estrés fueron las siguientes: BGSP 73 (55,75 cm), BGSP 475 (57,50 cm), BGSP 43 (60,50 cm), BGSP 463 (61cm) ,BGSP 799 (62,25 cm) ,BGSP 715 (63,25 cm), BGSP 805 (64,25 cm), 507 (64,50 cm) y BGSP 735 (66,25 cm). Las mismas no presentaron diferencias estadísticas significativas. Para este grupo de entradas, BGSP 73 se comportó más estable ya que en condiciones sin estrés hídrico, fue la que presento menor AP (68 cm).

iii. Efectos aleatorios

La varianza del efecto aleatorio fue $\sigma^2=13,06$ (σ^2 =desvío estándar de las repeticiones* desvío estándar de los errores (σ)=1,85 * 7,06= 13,06).

En este caso no se utiliza este efecto aleatorio con fines predictivos sino solo a modo de considerar la variabilidad generada por las repeticiones. El modelo presentó homogeneidad de varianzas para los factores fijos, por lo tanto no hubo que ajustar la heterocedasticidad.

1. Área foliar (cm²)

i. Efectos fijos:

La tabla 32 presenta las medidas de ajuste del modelo para área foliar en el período de estrés iniciado a los 30 días después de la siembra.

Tabla 32. Medidas de ajuste del modelo mixto

N	AIC	BIC	loglik	Sigma	R ² 0	R ² 1
160	1477,71	1594,78	-696,85	63,73	0,64	0,64

En la tabla 33 se puede observar el análisis de la varianza, con las pruebas de hipótesis de tipo secuencial. En la misma, hay diferencias significativas para los dos efectos fijos (Tratamiento y entrada). Un comportamiento similar presentó la interacción (Tratamiento*Entrada). Como el análisis de varianza indicó la existencia de diferencia significativa en el tratamiento, se procedió a realizar la prueba de LSD Fisher. En la tabla 34 se puede observar que el promedio del AF en condiciones sin estrés fue mayor.

Tabla 33. Pruebas de hipótesis secuenciales para área foliar en el período de estrés iniciado a los 30 días después de la siembra

	numDF	denDF	F-valor	p-valor
(Intercept)	1	119	4741,21	<0,0001
Tratamiento	1	119	53,48	<0,0001
Entrada	19	119	6,54	<0,0001
Tratamiento: entrada	19	119	1,99	0,0138

Tabla 34. Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento según área foliar- Test LSD Fisher (Alfa=0,05)

Tratamiento	Medias	E.E
Sin estrés	503,86 A*	8,45
Con estrés	430,17 B	8,45

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

El AF se comportó de manera dependiente a la interacción (Tratamiento*Entrada).

Los resultados (Anexo IV) exponen que la mayor expansión de las hojas en condiciones de buena disponibilidad de agua (sin estrés) se observó en las entradas BGSP 765, BGSP 735 y BGSP 43 respondiendo de manera similar. La menor expansión de AF estuvieron representadas por SP 48114, BGSP 716, BGSP 799, BGSP 463, BGSP 804, BGSP 805, BGSP 750, BGSP 156, BGSP 73 y BGSP 803 no observando diferencias significativas en condiciones de estrés hídrico. La entrada BGSP 799 no presentó diferencia para tratamiento. En resumen el estudio revela una significativa influencia del estrés hídrico sobre las entradas BGSP 765, BGSP 735, BGSP 67, BGSP 73, BGSP 750, BGSP 805, BGSP 716 y SP 48114 afectando en forma negativa en el crecimiento de AF. Sin embargo, las entradas BGSP 43, BGSP 475, BGSP 52, BGSP 507, BGSP 392, BGSP 514, BGSP 156, BGSP 803, BGSP 804, BGSP 715, BGSP 463 y BGSP 799 no fueron afectados en la expansión de las hojas, respondiendo de manera similar en ambos tratamientos.

ii. Efectos aleatorios

La varianza del efecto aleatorio fue $\sigma^2=6,37$ (σ^2 =desvío estándar de las repeticiones* desvío estándar de los errores (σ)=0,10 * 63,73= 6,37).

El modelo presentó homogeneidad de varianzas para los factores fijos, por lo tanto no hubo que ajustar la heterocedasticidad.

IV.2.1.1.2 Variables analizadas en el segundo episodio de estrés hídrico (80 DDS)

En tabla 35, se presenta las medidas de resumen para los tratamientos con estrés y sin estrés en AP y AF.

Tabla 35. Medidas de resumen para los tratamientos según Altura de planta y Área foliar para el período de estrés iniciado a los 70 días de la siembra

Tratamiento	Variable	N	Media	E.E	C.V	Mín	Máx
Con estrés	AP	80	121	0,02	15,24	78	155
Sin estrés	AP	80	120	0,02	14,51	82	164
Con estrés	AF	80	151,66	1,63	9,59	114	178,09
Sin estrés	AF	80	182,84	2,02	9,89	157,41	229,96

Con respecto al CV el tratamiento con estrés presentó un valor de 15,24% y 14,51% en el tratamiento sin estrés. Si bien en condiciones de estrés hídrico la altura presentó un CV más alto, fue cercano al valor de CV del tratamiento sin estrés.

A continuación se presentan los resultados de las pruebas de hipótesis tipos secuencias (análisis de la varianza) para verificar el efecto del tratamiento sobre las variables antes mencionadas (AP y AF):

1. Altura de planta (cm)

i. Efectos fijos:

La tabla 36 presenta las medidas de ajuste del modelo para altura de planta en el período de estrés iniciado a los 70 días después de la siembra.

Tabla 36. Medidas de ajuste del modelo mixto

N	AIC	BIC	loglik	Sigma	R ² 0	R ² 1
160	-0,28	116,80	42,14	0,13	0,54	0,59

Tabla 37. Pruebas de hipótesis secuenciales para altura en el período de estrés iniciado a los 70 días después de la siembra

	numDF	denDF	F-valor	p-valor
(Intercept)	1	117	2418,97	<0,0001
Tratamiento	1	117	0,09	0,7703
Entrada	19	117	6,40	<0,0001
Tratamiento: entrada	19	117	1,80	0,0306

En los resultados de la interacción (Anexo V) se puede observar que la entrada BGSP 765 presentó 148 cm de AP con estrés hídrico y no varió significativamente cuando estuvo en condiciones de buena disponibilidad de agua (sin estrés) midiendo 139 cm de AP.

Asimismo no presentó diferencias con otras entradas en el tratamiento con estrés hídrico (BGSP 803, BGSP 514, BGSP 750, SP 48114 y BGSP 804) y del mismo modo con las entradas sin estrés hídrico (BGSP 765, BGSP 750, BGSP 804, BGSP 43, BGSP 67 y SP 48114).

De igual manera fue el comportamiento de las entradas SP 48114, BGSP 514, BGSP 750, BGSP 804, BGSP 43, BGSP 67, BGSP 735, BGSP 716, BGSP 156, BGSP 715, BGSP 392, BGSP 475, BGSP 799 y BGSP 73 presentando diferencias no significativas entre los tratamientos. Distinto es el caso para las entradas BGSP 803, BGSP 805 y BGSP 52 que fueron afectadas por el tratamiento, mostrado por las diferencias estadísticas significativas.

La máxima reducción en AP fue observada por BGSP 805 (30 cm) después de finalizar el segundo episodio de estrés hídrico. Sin embargo la BGSP 52 y BGSP 803 presentaron diferencias iguales (22 cm), pero la BGSP 52 fue más baja en condiciones de buena disponibilidad de agua, por el contrario la AP de BGSP 803 fue menor en condiciones de estrés hídrico.

ii. Efectos aleatorios

La varianza del efecto aleatorio fue $\sigma^2 = \text{desvío estándar de las repeticiones} * \text{desvío estándar de los errores} (\sigma) = 0,04 * 0,13 = 0,0052$.

El modelo presentó homogeneidad de varianzas para los factores fijos, por lo tanto no hubo que ajustar la heterocedasticidad.

2. Área foliar (cm²)

i. Efectos fijos:

La Tabla 38 presenta las medidas de ajuste del modelo para área foliar en el período de estrés iniciado a los 70 días después de la siembra.

Tabla 38. Medidas de ajuste del modelo mixto

N	AIC	BIC	loglik	Sigma	R ² 0	R ² 1
160	1065,19	1182,26	-490,59	11,33	0,80	0,81

En la tabla 39, se muestra la prueba de hipótesis secuenciales (análisis de la varianza). Los dos factores fijos (Tratamiento y Entrada) presentaron diferencias altamente significativas ($p < 0,0001$). De la misma manera se comportó la interacción de los factores fijos.

Tabla 39. Pruebas de hipótesis secuenciales para área foliar en el período de estrés iniciado a los 70 días después de la siembra

	numDF	denDF	F-valor	p-valor
(Intercept)	1	117	14676,52	<0,0001
Tratamiento	1	117	302,87	<0,0001
Entrada	19	117	6,37	<0,0001
Tratamiento: entrada	19	117	4,55	<0,0001

El déficit de agua causó una significativa influencia sobre la expansión de la hoja como la reducción del AF en respuesta al estrés (Tabla 40).

Tabla 40. Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento según área foliar- Test LSD Fisher (Alfa=0,05)

Tratamiento	Medias	E.E
Sin estrés	182,84 A*	1,65
Con estrés	151,66 B	1,65

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

Las entradas exhibieron diferentes respuestas para los tratamientos, mostrado por la interacción (Anexo VI). Las entradas BGSP 514, BGSP 475 y BGSP 73 produjeron más expansión de las hojas en buenas condiciones de agua en relación a las demás entradas.

Sin embargo en condiciones de estrés hídrico la expansión de sus hojas fue afectada significativamente.

La entrada más afectada por el estrés hídrico fue BGSP 507 (130,49 cm²) y no presentó diferencias significativas con las BGSP 716, BGSP 392, BGSP 73, BGSP 52 y BGSP 735.

Las entradas BGSP 765, BGSP 799, BGSP 804 y SP 48114 no presentaron diferencias significativas en el AF para ambas condiciones de humedad. Presentaron mejor comportamiento ante un estrés hídrico al inicio de los 70 DDS por un periodo de 10 días que las demás entradas caracterizadas.

ii. Efectos aleatorios

Se utiliza este efecto aleatorio a fin considerar la variabilidad generada por las repeticiones.

La varianza del efecto aleatorio fue $\sigma^2 = \text{desvío estándar de las repeticiones}^2 \cdot \text{desvío estándar de los errores} = 2,10 \cdot 11,33 = 23,79$

El modelo presentó homogeneidad de varianzas para los factores fijos, por lo tanto no hubo que ajustar la heterocedasticidad.

IV.2.1.1.3 Variables analizadas en el tercer episodio de estrés hídrico (140 DDS)

1. Consumo de agua (L)

En el gráfico (Figura 8) se representa la variación en el consumo de agua durante el ciclo del cultivo para los dos tratamientos. Las tablas 40 y 41 presentan la prueba de hipótesis y las medias para cada tratamiento, que es el único factor que presentó diferencias significativas.

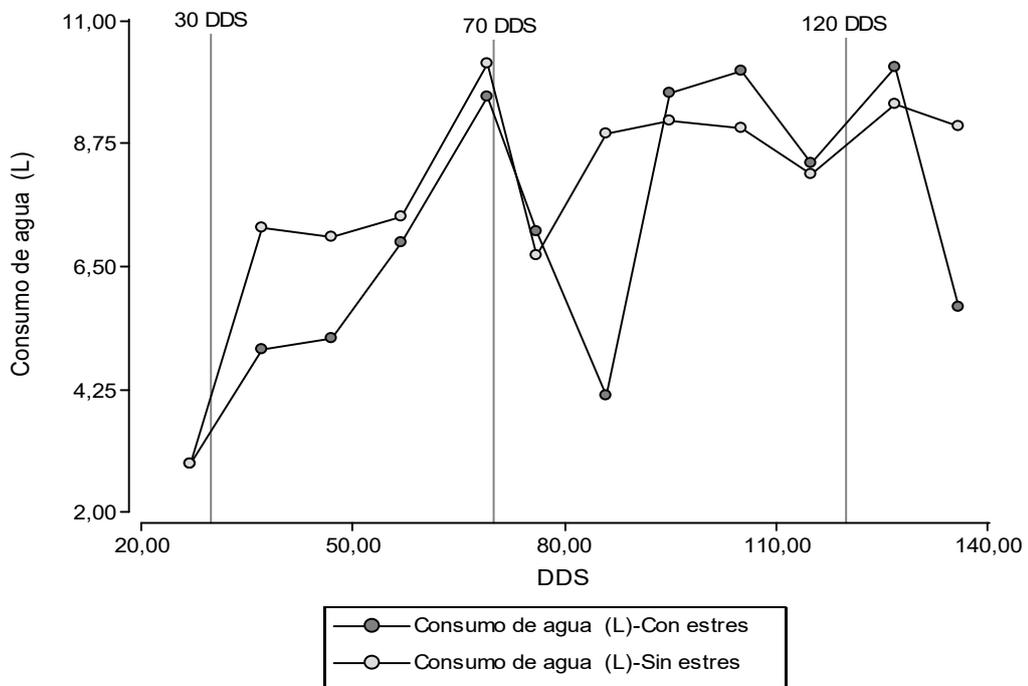


Figura 8: Consumo de agua durante el ciclo completo del cultivo en los dos tratamientos

Los resultados de la tabla 41, muestra que la diferencias de consumo de agua fue dado entre tratamiento, indicando el mayor consumo en el tratamiento sin estrés en relación al tratamiento con estrés (Tabla 42). Además, la no significancia en uno de los efectos fijos (Entrada) mostraría que las distintas entradas de algodón consumirían agua de igual manera independiente de las condiciones de humedad en que se desarrollen.

Tabla 41. Pruebas de hipótesis secuenciales para consumo de agua en el ciclo completo del cultivo

	numDF	denDF	F-valor	p-valor
(Intercept)	1	39	474,92	<0,0001
Tratamiento	1	39	46,69	<0,0001
Entrada	19	39	0,98	0,5043
Tratamiento: entrada	19	39	1,00	0,4863

Tabla 42. Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento según consumo de agua- Test LSD Fisher (Alfa=0,05)

Tratamiento	Medias	E.E.
Sin estrés	95,36 A*	4,21
Con estrés	85,26 B	4,21

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

Las plantas que crecieron en condiciones de buena disponibilidad de humedad en el suelo (Sin estrés) consumieron en promedio 10,10 L de agua más que las plantas que crecieron en condiciones estresantes (Con estrés).

2. Variables asociadas al mapeo

La tabla 43 presenta los valores medios de todas las variables medidas en el mapeo para los dos tratamientos y las diferencias significativas en caso de presentarse.

El estrés disminuyó significativamente la altura de las plantas (-4,4%), el número de nudos del tallo principal (-5,8%), el número de ramas fructíferas (-7,3%), el número de capullos (-23,8%), el porcentaje de fijación (-21,8%) y la precocidad o maduración del cultivo (-11,6%). Por otro lado, el estrés aumentó significativamente el TPF de la planta (17,3%) y

el número de frutos caídos o yemas vacías (29,2%) debido a que reanudó el crecimiento después de los diferentes episodios de estrés hídrico inducidos. Esto le permitió diferenciar nuevos puntos fructíferos dando lugar a la mayor caída de frutos en comparación al tratamiento sin estrés hídrico que no presentó este comportamiento de crecimiento compensatorio. Asimismo no mostraron diferencias estadísticamente significativas el número de ramas vegetativas diferenciadas (RV), la longitud media de los entrenudos del tallo principal (LME) y el nudo del tallo principal en que se inserta la primera rama fructífera (NPRF). Estas diferencias se atribuyeron a características propias de cada entrada.

Tabla 43. Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento según variables del mapeo a fin de ciclo del cultivo- Test LSD Fisher (Alfa=0,05)

Variables	Sin estrés	Con estrés
Altura de planta (AP)	131,99 ±2,69 A*	126,11 ±2,69 B
Ramas vegetativas (RV)	2,75 ±0,15 A	2,80 ±0,15 A
Nº de nudos del tallo principal (NN)	18,71±0,57A	17,63 ±0,57 B
Longitud media de los entrenudos del tallo principal (LME)	7,22 ±0,10 A	7,25 ±0,10 A
Nº de nudo del tallo principal en que se inserta la 1er. rama fructífera (NPRF)	5,37 ±0,08 A	5,49 ±0,06 A
Nº de ramas fructíferas (NRF)	14,23 ±0,60 A	13,19 ±0,60B
Total de puntos fructíferos de la planta (TPF)	24,04 ±2,97 B	28,20 ±2,97 A
Porcentaje de frutos fijados del total de puntos diferenciados en la planta (%F)	30,39 ±0,89 A	23,78 ±0,89 B
Nº frutos caídos (yemas vacías)	16,98 ±2,38 B	21,95 ±2,38 A
Nº de capullos (CAPL)	5,76 ±0,38 A	4,39 ±0,38 B
Precocidad (PREC)	85,21 ±2,59 A	75,30 ±2,59 B

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

A continuación se presentan los resultados de las pruebas de hipótesis para las variables que presentaron diferencias significativas.

Altura de planta (AP): La altura de plantas presentó diferencias significativas entre tratamientos y entradas, sin interacción (Tabla 44). Las plantas sometidas a estrés presentaron altura significativamente menor (Tabla 43). La mayor AP fue la correspondiente a la entrada BGSP 765. La entrada BGSP 73 presentó el menor valor promedio (Tabla 45).

Tabla 44. Pruebas de hipótesis secuenciales para altura de planta a fin de ciclo del cultivo

	numDF	denDF	F-valor	p-valor
(Intercept)	1	117	3017,58	<0,0001
Tratamiento	1	117	5,07	0,0263
Entrada	19	117	3,96	<0,0001
Tratamiento: entrada	19	117	1,31	0,1931

Tabla 45. Medias ajustadas y errores estándares para Entrada según altura de planta – Test LSD Fisher (Alfa=0,05)

Entrada	Medias		E.E
BGSP 765	146,13	A*	6,15
BGSP 750	142,88	AB	6,15
BGSP 804	141,00	ABC	6,15
BGSP 716	140,25	ABC	6,15
SP 48114	138,63	ABCD	6,15
BGSP 735	137,38	ABCDE	6,15
BGSP 803	136,25	ABCDEF	6,15
BGSP 67	136,00	ABCDEF	6,15
BGSP 43	133,38	ABCDEFGF	6,15
BGSP 514	132,63	ABCDEFGF	6,15
BGSP 715	127,75	BCDEFG	6,15
BGSP 156	126,88	BCDEFGH	6,15
BGSP 52	125,88	CDEFGH	6,15
BGSP507	122,50	DEFGH	6,15
BGSP475	122,00	EFGH	6,15
BGSP392	121,38	EFGH	6,15
BGSP 805	120,25	FGH	6,15
BGSP 799	118,75	GH	6,15
BGSP 463	111,25	HI	6,15
BGSP 73	99,88	I	6,15

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

Nº de nudos del tallo principal (NN): El NN presentó diferencias significativas entre tratamientos y entradas, sin presentar interacción (Tabla 46). El tratamiento con estrés presentó menor cantidad de NN (Tabla 43). La de mayor NN fue la entrada BGSP 716 y la de menor NN la entrada BGSP 765 (Tabla 47).

Tabla 46. Pruebas de hipótesis secuenciales para Nº de nudos del tallo principal a fin de ciclo del cultivo

	numDF	denDF	F-valor	p-valor
(Intercept)	1	117	1216,33	<0,0001
Tratamiento	1	117	5,95	0,0163
Entrada	19	117	2,44	0,0019
Tratamiento: entrada	19	117	1,26	0,2210

Tabla 47. Medias ajustadas y errores estándares para Entrada según Nº de nudos del tallo principal - Test LSD Fisher (Alfa=0,05)

Entrada	Medias		E.E
BGSP 716	22,00	A*	1,10
BGSP 507	20,00	AB	1,10
BGSP 735	20,00	AB	1,10
BGSP 803	19,25	ABC	1,10
BGSP 804	19,13	BC	1,10
BGSP 799	19,00	BC	1,10
BGSP 156	18,75	BC	1,10
BGSP 514	18,63	BCD	1,10
BGSP 463	18,38	BCD	1,10
BGSP 750	18,25	BCD	1,10
BGSP 52	18,13	BCDE	1,10
BGSP 67	18,00	BCDE	1,10
BGSP 73	17,75	BCDE	1,10
SP 48114	17,50	BCDE	1,10
BGSP 43	17,50	BCDE	1,10
BGSP 475	16,75	CDE	1,10
BGSP 805	16,63	CDE	1,10
BGSP 392	16,50	CDE	1,10
BGSP715	15,88	DE	1,10
BGSP 765	15,38	E	1,10

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

Nº de ramas fructíferas (NRF): El NRF mostró diferencias significativas entre tratamientos y entradas, sin presentar interacción (Tabla 48). El tratamiento con estrés presentó significativamente menor NRF (Tabla 43). La BGSP 716 fue la de mayor NRF y la BGSP 765 la que presentó el menor NRF (Tabla 49).

Tabla 48. Pruebas de hipótesis secuenciales para Nº de ramas fructíferas a fin de ciclo del cultivo

	numDF	denDF	F-valor	p-valor
(Intercept)	1	117	620,74	<0,0001
Tratamiento	1	117	4,60	0,0341
Entrada	19	117	2,24	0,0047
Tratamiento: entrada	19	117	1,08	0,3848

Tabla 49. Medias ajustadas y errores estándares para Entrada según Nº de ramas fructíferas –Test LSD Fisher (Alfa=0,05)

Entrada	Medias		E.E
BGSP 716	17,00	A*	1,19
BGSP 507	16,00	AB	1,19
BGSP 735	15,63	AB	1,19
BGSP 804	15,00	ABC	1,19
BGSP 156	14,75	ABC	1,19
BGSP 799	14,63	ABC	1,19
BGSP 803	14,63	ABC	1,19
BGSP 463	14,38	ABCD	1,19
SP 48114	13,88	BCD	1,19
BGSP 43	13,75	BCDE	1,19
BGSP 67	13,75	BCDE	1,19
BGSP 73	13,50	BCDE	1,19
BGSP 750	13,50	BCDE	1,19
BGSP 52	13,13	BCDE	1,19
BGSP 805	12,50	CDE	1,19
BGSP 392	12,38	CDE	1,19
BGSP 475	12,00	CDE	1,19
BGSP 715	11,50	DE	1,19
BGSP 514	11,50	DE	1,19
BGSP 765	10,75	E	1,19

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

Total de puntos fructíferos de la planta (TPF): La tabla 50 muestra el efecto de entradas y tratamiento sin presentar interacción significativa. El tratamiento con estrés presentó mayor cantidad de TPF que sin estrés (Tabla 43) y las entradas se diferenciaron entre ellas (Tabla 51). La BGSP 156 y BGSP 799 se distinguieron de las demás con mayores valores promedio de TPF y BGSP 475 por ser la menor.

Tabla 50. Pruebas de hipótesis secuenciales para total de puntos fructíferos de la planta a fin de ciclo del cultivo

	numDF	denDF	F-valor	p-valor
(Intercept)	1	117	82,14	<0,0001
Tratamiento	1	117	8,06	0,0053
Entrada	19	117	2,32	0,0032
Tratamiento: entrada	19	117	1,42	0,1326

Tabla 51. Pruebas de hipótesis secuenciales para total de puntos fructíferos de la planta a fin de ciclo del cultivo

Entrada	Medias		E.E
BGSP 156	35,13	A*	4,30
BGSP 799	35,00	A	4,30
BGSP 735	32,00	AB	4,30
BGSP 507	31,25	ABC	4,30
BGSP 804	30,63	ABCD	4,30
BGSP 43	28,88	ABCDE	4,30
BGSP 716	28,63	ABCDEF	4,30
BGSP 463	26,75	ABCDEFG	4,30
SP 48114	26,63	ABCDEFG	4,30
BGSP 750	26,63	ABCDEFG	4,30
BGSP 715	26,50	ABCDEFG	4,30
BGSP 67	25,25	BCDEFG	4,30
BGSP 803	23,63	BCDEFG	4,30
BGSP 514	22,63	CDEFG	4,30
BGSP 765	22,00	DEFG	4,30
BGSP 805	21,63	DEFG	4,30
BGSP 73	21,00	EFG	4,30
BGSP 52	20,00	EFG	4,30
BGSP 392	19,63	FG	4,30
BGSP 475	18,63	G	4,30

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

Porcentaje de frutos fijados del total de puntos diferenciados en la planta (%F): Para este parámetro hubo diferencias significativas en entradas y tratamiento (Tabla 52) sin presentarse interacción. Al comparar entre entradas, se destaca BGSP 514 por poseer mayor %F y la entrada BGSP 804 por el menor valor (Tabla 53).

Tabla 52. Pruebas de hipótesis secuenciales para porcentaje de frutos fijados del total de puntos diferenciados en la planta a fin de ciclo del cultivo

	numDF	denDF	F-valor	p-valor
(Intercept)	1	117	1861,05	<0,0001
Tratamiento	1	117	27,74	<0,0001
Entrada	19	117	1,70	0,0460
Tratamiento: entrada	19	117	1,24	0,2398

Tabla 53. Medias ajustadas y errores estándares para Entrada según frutos fijados del total de puntos diferenciados en la planta-Test LSD Fisher (Alfa=0,05)

Entrada	Medias		E.E
BGSP 514	34,88	A*	2,81
BGSP 765	32,13	AB	2,81
BGSP 463	31,63	AB	2,81
BGSP 43	30,13	ABC	2,81
BGSP 715	29,50	ABCD	2,81
BGSP 716	29,25	ABCD	2,81
BGSP 392	28,88	ABCD	2,81
BGSP 475	28,75	ABCDE	2,81
BGSP 156	28,00	ABCDE	2,81
BGSP 73	26,75	BCDE	2,81
SP48114	26,63	BCDE	2,81
BGSP 803	26,50	BCDE	2,81
BGSP52	26,13	BCDE	2,81
BGSP 750	26,13	BCDE	2,81
BGSP 67	23,50	CDE	2,81
BGSP 805	23,38	CDE	2,81
BGSP 507	23,25	CDE	2,81
BGSP 735	23,00	CDE	2,81
BGSP 799	22,25	DE	2,81
BGSP804	21,00	E	2,81

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

Nº frutos caídos (CAI): La tabla 54 muestra la significancia de las entradas y tratamiento, la interacción no mostró significancia. El tratamiento con estrés presentó mayor CAI (Tabla 43). La BGSP 799 presentó mayor número CAI y BGSP 475 menor (Tabla 55).

Tabla 54. Pruebas de hipótesis secuenciales para Nº frutos caídos a fin de ciclo del cultivo

	numDF	denDF	F-valor	p-valor
(Intercept)	1	117	72,26	<0,0001
Tratamiento	1	117	15,06	0,0002
Entrada	19	117	2,29	0,0038
Tratamiento: entrada	19	117	1,47	0,1091

Tabla 55. Medias ajustadas y errores estándares para Entrada según Nº frutos caídos-Test LSD Fisher (Alfa=0,05)

Entrada	Medias		E.E
BGSP 799	27,75	A*	3,36
BGSP 156	26,38	AB	3,36
BGSP 735	25,13	ABC	3,36
BGSP 804	24,50	ABCD	3,36
BGSP 507	24,00	ABCD	3,36
BGSP 750	21,00	ABCDE	3,36
BGSP 43	20,63	ABCDE	3,36
BGSP 716	20,50	ABCDE	3,36
BGSP 715	19,88	ABCDE	3,36
SP 48114	19,75	ABCDE	3,36
BGSP 67	19,38	BCDE	3,36
BGSP 463	18,88	BCDE	3,36
BGSP 803	17,25	CDE	3,36
BGSP 805	16,50	DE	3,36
BGSP765	15,25	E	3,36
BGSP 73	15,25	E	3,36
BGSP 52	15,00	E	3,36
BGSP 514	14,88	E	3,36
BGSP392	14,13	E	3,36
BGSP 475	13,25	E	3,36

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

Nº de capullos (CAPL): La tabla 56 muestra el efecto del tratamiento para la variable CAPL. La misma no presentó diferencias estadísticas significativas para entradas ni interacción (Tabla 56).

Tabla 56. Pruebas de hipótesis secuenciales para Nº de capullos a fin de ciclo del cultivo

	numDF	denDF	F-valor	p-valor
(Intercept)	1	117	212,24	<0,0001
Tratamiento	1	117	20,76	<0,0001
Entrada	19	117	1,55	0,0821
Tratamiento: entrada	19	117	1,24	0,2378

Las diferencias significativas muestran que el tratamiento con estrés hídrico resultó en plantas con menor número de capullos (Tabla 43).

Precocidad (PREC): Los resultados reflejan diferencias significativas entre tratamientos (Tabla 43), entradas e interacción (Tabla 57). El efecto significativo de la interacción, indica que a la variable PREC hay que analizarla según cada entrada y condición hídrica.

Tabla 57. Pruebas de hipótesis secuenciales para precocidad a fin de ciclo del cultivo

	numDF	denDF	F-valor	p-valor
(Intercept)	1	117	1587,02	<0,0001
Tratamiento	1	117	9,23	0,0029
Entrada	19	117	2,19	0,0058
Tratamiento: entrada	19	117	1,96	0,0153

Los resultados de la interacción (Anexo VII) indicaron que las entradas BGSP 475 y BGSP 73 fueron las más precoces en condiciones de estrés hídrico y BGSP 765 en condiciones de buena disponibilidad de agua. La entrada menos precoz fue la BGSP 43 en condiciones de estrés hídrico, en cambio en condiciones de buena disponibilidad de agua en el suelo se comportó con mayor precocidad. Distinto fue el comportamiento de la BGSP 475 que tanto en condiciones de estrés como sin estrés fue más precoz.

De todas las variables de mapeo expresadas anteriormente mostraron (Anexo VIII) que el 50% de las entradas no fueron afectados por el estrés en el aspecto productivo, es decir, el número de frutos (capullos + cápsulas) (BGSP 514, BGSP 716, BGSP 765, BGSP

52, BGSP 803, BGSP 750, BGSP 715, BGSP 804, BGSP 735 y BGSP 43), y el 50% sí redujeron el número final de frutos (BGSP 799, BGSP 507, BGSP 73, BGSP 475, BGSP 463, BGSP 67, SP 48114, BGSP 805, BGSP 392 y BGSP 156).

Por otro lado, el 80% de las entradas (BGPS 716, BGPS 52, BG PS 750 BG PS 765, BGPS 803, BGPS 715, BGPS 735 y BG PS 43) que mantuvieron el nivel productivo, reanudaron el crecimiento después del estrés (disminución de la precocidad en más del 20%) respecto al resto que se mantuvo por debajo del 20%.

3. Biomasa total, aérea y de raíces (g)

La biomasa seca total (Bt) y aérea (Ba) fueron afectadas significativamente por el tratamiento con estrés. En cambio la biomasa seca de raíces (Br) no fue afectada por el estrés hídrico (Tabla 58).

Tabla 58. Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento según variables de biomasa a fin de ciclo del cultivo- Test LSD Fisher (Alfa=0,05)

Variables	Sin estrés	Con estrés
Biomasa seca total (g)	79,90 ± 4,77 A*	70,89 ± 4,77 B
Biomasa seca de raíces (g)	5,55 ± 0,34 A	5,43 ± 0,34 A
Biomasa aérea seca (g)	74,47 ± 2,41 A	65,06 ± 2,41 B

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

Las diferencias significativas muestran que el tratamiento con estrés hídrico resultó en menor biomasa seca total. No hubo efecto de entradas ni interacción.

La biomasa total (g) mostró diferencias significativas para tratamiento, sin embargo, nos presentó diferencias para entrada e interacción (Tabla 59). La biomasa seca aérea (g) presentó diferencias significativas entre tratamientos, entrada e interacción (Tabla 60).

Tabla 59. Pruebas de hipótesis secuenciales para Biomasa total a fin de ciclo del cultivo

	numDF	denDF	F-valor	p-valor
(Intercept)	1	39	272,62	<0,0001
Tratamiento	1	39	10,97	0,0020
Entrada	19	39	1,02	0,4599
Tratamiento: entrada	19	39	0,79	0,6994

Tabla 60. Pruebas de hipótesis secuenciales para biomasa aérea a fin de ciclo del cultivo

	numDF	denDF	F-valor	p-valor
(Intercept)	1	39	1991,23	<0,0001
Tratamiento	1	39	90,31	<0,0001
Entrada	19	39	3,32	0,0007
Tratamiento: entrada	19	39	3,04	0,0016

Los resultados de interacción (Anexo IX) indica que BGSP 52 en condiciones de estrés hídrico acumuló mayor Ba (88,69 g) y no presentó diferencias significativas con ninguna entrada a excepción de la BGSP 73. Estos resultados manifiestan que BGSP 52 fue la menos afectada por el estrés hídrico y por lo contrario la entrada BGSP 73 desarrolló menor biomasa aérea siendo la más afectada por el estrés. Sin embargo cuando estuvo en condiciones sin estrés también fue de las entradas que menor Ba presentó.

En el siguiente gráfico (Figura 9) se presenta la partición de la biomasa según órganos vegetativos (tallos, ramas, hojas y raíces), reproductivos (bochas y carpelos) y productivos (algodón en bruto). El peso seco de las hojas fue mayor en proporción en el tratamiento sin estrés versus con estrés, resultados similares a los hallados en el primer y segundo episodio de estrés hídrico donde se observó una disminución en el AF en condiciones de estrés. El peso seco del algodón en bruto fue mayor en condiciones de buena disponibilidad hídrica. En cambio el peso seco de raíz, carpelos, bochas, tallos y ramas presentan en proporciones similares en ambos tratamientos.

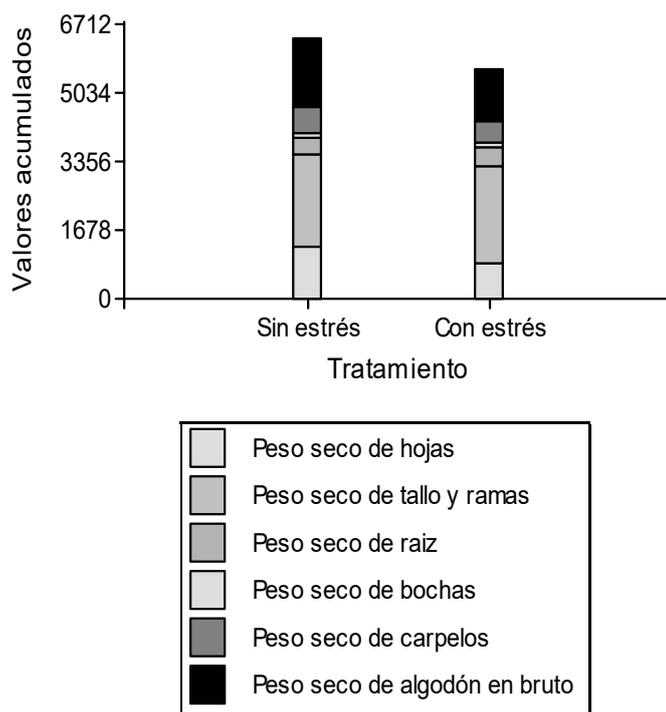


Figura 9: Representación de la partición de la biomasa seca total en los dos tratamientos

4. Rendimiento de algodón en bruto (AlgBr), fibra (Fi) y semilla (Sem)

Los resultados (Tabla 61) muestran que la fibra de algodón no fue afectada por el tratamiento con estrés, aunque el mismo afectó al rendimiento del algodón en bruto y la producción de semilla (Tabla 62 y 63).

Tabla 61. Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento según variables de rendimientos a fin de ciclo del cultivo- Test LSD Fisher (Alfa=0,05)

Variables	Sin estrés	Con estrés
Algodón en bruto (g)	21,32 ± 1,28 A*	16,27 ± 1,28 B
Semilla (g)	13,22 ± 0,80 A	9,70 ± 0,80 B
Fibra de algodón (g)	9,47 ± 1,38 A	8,59 ± 1,38 A

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

A continuación se presentan las pruebas de hipótesis para algodón en bruto (Tabla 62) y semilla (Tabla 63), que se diferenciaron entre tratamientos pero no presentaron diferencias significativas para entradas e interacción.

Tabla 62. Pruebas de hipótesis secuenciales para rendimiento de algodón a fin de ciclo del cultivo

	numDF	denDF	F-valor	p-valor
(Intercept)	1	117	268,52	<0,0001
Tratamiento	1	117	19,99	<0,0001
Entrada	19	117	0,98	0,4911
Tratamiento: entrada	19	117	0,88	0,6046

Tabla 63. Pruebas de hipótesis secuenciales para rendimiento de semilla a fin de ciclo del cultivo

	numDF	denDF	F-valor	p-valor
(Intercept)	1	117	251,25	<0,0001
Tratamiento	1	117	27,71	<0,0001
Entrada	19	117	1,01	0,4597
Tratamiento: entrada	19	117	0,90	0,5824

5. Eficiencia en el Uso del Agua (EUA)

Este parámetro no presentó diferencias significativas entre tratamientos, entradas e interacción (Tabla 64); si más variación entre el tratamiento con estrés que sin estrés, por lo cual para el análisis inferencial se ajustó un modelo con varianzas heterogéneas para tratamiento.

Tabla 64. Pruebas de hipótesis secuenciales para eficiencia en el uso del agua a fin de ciclo del cultivo

	numDF	denDF	F-valor	p-valor
(Intercept)	1	39	5081,20	<0,0001
Tratamiento	1	39	0,10	0,7554
Entrada	19	39	1,36	0,2032
Tratamiento: entrada	19	39	0,65	0,8418

IV.2.1.2 Análisis estadístico de los componentes de la varianza para determinar Herederabilidad en sentido amplio (H^2)

Los componentes de varianza y heredabilidades obtenidos para los caracteres se presentan en la tabla 65.

Tabla 65. Varianzas genéticas, fenotípicas y heredabilidades en sentido amplio en los dos tratamientos para variables de mapeo, biomasas y rendimientos

Variables	Tratamiento	σ^2_G	σ^2_F	H^2
AP	Sin estrés	54,70	293,66	0,19
	Con estrés	160,16	496,69	0,34
NN	Sin estrés	1,70	10,93	0,15
	Con estrés	1,25	9,71	0,13
NRF	Sin estrés	2,18	11,95	0,18
	Con estrés	0,40	10,81	0,037
TPF	Sin estrés	0	88,59	0
	Con estrés	24,90	170,35	0,14
%F	Sin estrés	15,97	66,62	0,23
	Con estrés	0	73,33	0
CAI	Sin estrés	2,00	57,46	0,035
	Con estrés	17,24	161,92	0,11
CARL	Sin estrés	0	4,65	0
	Con estrés	0,68	4,11	0,16
PREC	Sin estrés	0	398,57	0
	Con estrés	227,53	691,74	0,32
Bt	Sin estrés	0	124,30	0
	Con estrés	0	192,70	0
Ba	Sin estrés	0	111	0
	Con estrés	0	391,04	0
AlgBr	Sin estrés	0	71,89	0
	Con estrés	2,14	40,04	0,053
Sem	Sin estrés	0	25,89	0
	Con estrés	1,07	14,29	0,074

Las variables que presentaron varianza genética negativa se asumió como cero o nulo, por lo tanto, la heredabilidad en sentido amplio es nulo en las siguientes variables: TPF, CARL, PREC, Bt, Ba, AlgBr y Sem en condiciones de buena disponibilidad de agua y

en condiciones de estrés %F, Bt y Ba. Los valores más bajos se presentaron en NRF, AlgBr y Sem en condiciones de estrés y CAI en condiciones sin estrés.

Algunos autores consideran a los valores cercanos a cero como nulo (Searle, 1971), en el presente estudio se asumió como heredabilidad baja. Los valores más altos de varianza genética y fenotípica se encontraron en AP y PREC, expresando mayores varianzas fenotípicas que genéticas para ambos caracteres y fueron acompañados con los valores más altos de heredabilidad encontrados en condiciones de estrés hídrico. Los resultados muestran que el 34 % de la variación fenotípica de la AP en condiciones de estrés se debió al genotipo y el 66 % al ambiente. De manera similar fue el comportamiento de la PREC, el 32 % de la variación del fenotipo se debió al genotipo y el 68% al ambiente.

IV.2.1.3 Análisis multivariado

IV.2.1.3.1 Análisis de Componentes Principales para ambos tratamientos

Las dos primeras componentes principales explicaron un 66,11% de la varianza total, se retuvieron para el análisis solamente estas por considerar muy poco significativo el porcentaje representado por la tercera componente (Tabla 66).

Tabla 66. Descomposición de la variabilidad total por componente para ambas condiciones de humedad

	Autovalores	Porcentaje de la varianza	Porcentaje acumulado
Componente principal 1	4,10	37,82	37,82
Componente principal 2	3,10	28,28	66,11

Las variables que más se correlacionaron con la Componente Principal 1 (CP1) fueron variables relacionadas con el rendimiento como AlgBr y Sem en forma positiva (Tabla 67) y en forma negativa el CAI, lo cual indicaría que a mayor número de frutos caídos hubo menor rendimiento de algodón en bruto y semilla. La Componente Principal 2 (CP2) fue definida principalmente por las variables NN y NRF, variables más asociadas al crecimiento vegetativo y reproductivo.

Tabla 67. Correlación de las variables de mapeo, biomاسas y rendimientos con cada componente principal (autovectores)

	Componente principal 1	Componente principal 2
Biomasa aérea (Ba)	0,62	0,35
Altura de planta (AP)	0,21	0,48
Nº de nudos del tallo principal (NN)	-0,01	0,87
Nº de ramas fructíferas (NRF)	- 0,09	0,89
Nº de capullos (CAPL)	0,68	0,41
Nº de frutos caídos (CAI)	-0,74	0,56
Total de puntos fructíferos de la planta (TPF)	-0,67	0,65
Porcentaje de floración (% F)	0,69	-0,20
Precocidad (PREC)	0,68	0,34
Rendimiento de algodón en bruto (AlgBr)	0,79	0,31
Rendimiento de semillas (Sem)	0,80	

En la tabla 68 se presenta la significancia de las variables con cada CP, en los para en que la correlación con alguna de las CP fue significativa. La variable suplementaria consumo de agua en litros (Ct.L) presentó mayor correlación significativa con la CP1 que con la CP2 y se asoció más estrechamente a las variables Ba, CAPL, AlgBr y Sem (Figura 10). Para la categoría Tratamiento se realizó también un análisis de la varianza (Tabla 69) presentando el grupo sin estrés coordenadas significativas muy correlacionadas con la CP1 y también con menor nivel de significancia con la CP2 (Figura 11). El grupo con estrés que tiene coordenadas menores al promedio.

Las elipses de confianza pudieron separar ambos tratamientos, lo cual significa que las variables que definen las CP pudieron en conjunto separar el efecto del estrés en las diferentes entradas.

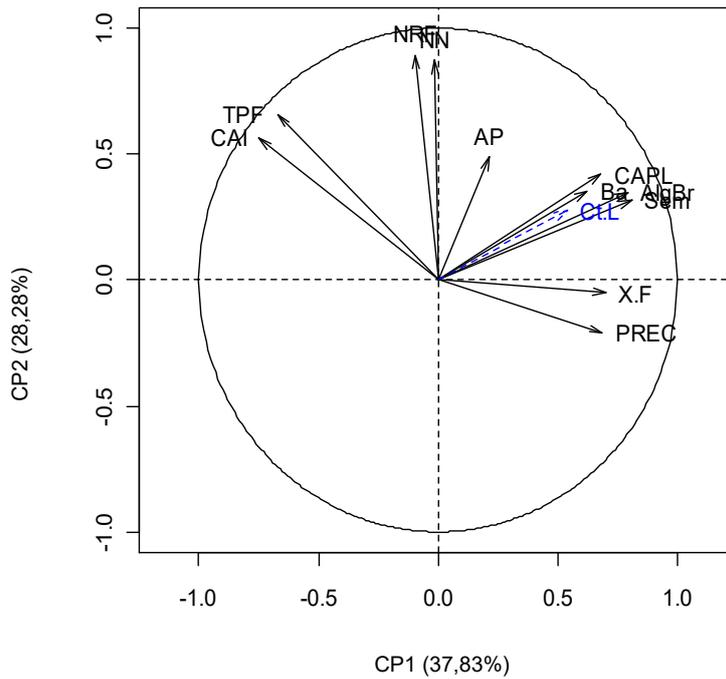


Figura 10: Gráfico de las variables en las CP 1 y 2 en los dos tratamientos

Tabla 68. Prueba de significancia de la correlación de las variables de mapeo, biomazas y rendimientos con las componentes principales (Test de Student)

	Componente Principal 1		Componente Principal 2	
	Correlación	p-valor	Correlación	p-valor
Sem	0,80	8,95 e-25	0,31	1,16 e-3
AlgBr	0,79	3,57 e-23	0,34	3,27 e-4
%F	0,69	2,73 e-16	-	-
PREC	0,68	1,48 e-15	-0,20	3,6 e-2
CAPL	0,68	3,73 e-15	0,41	1,16 e-5
Ba	0,62	2,74 e-12	0,35	2,84 e-4
AP	0,21	3,03 e-2	-	-
TPF	-0,67	1,11 e-14	0,65	6,54 e-14
CAI	-0,74	1,59 e-19	0,56	7,21 e-10
NRF	-	-	0,89	2,36 e-36
NN	-	-	0,87	9,15 e-33
Ct.L	0,54	4,51 e-9	0,27	5,00 e-3

Tabla 69. Prueba de significancia de la correlación de la variable categórica Tratamiento con las CP (Test de Student)

	Componente principal 1		Componente principal 2	
	R2	p-valor	R2	p-valor
Tratamiento	0,45	8,66 e-14	0.07	0,022
	Estimado	p-valor	Estimado	p-valor
Sin estrés	2,19	3,93 e-13	0,76	0,01
Con estrés	-2,19	3,93 e-13	-0,76	0,01

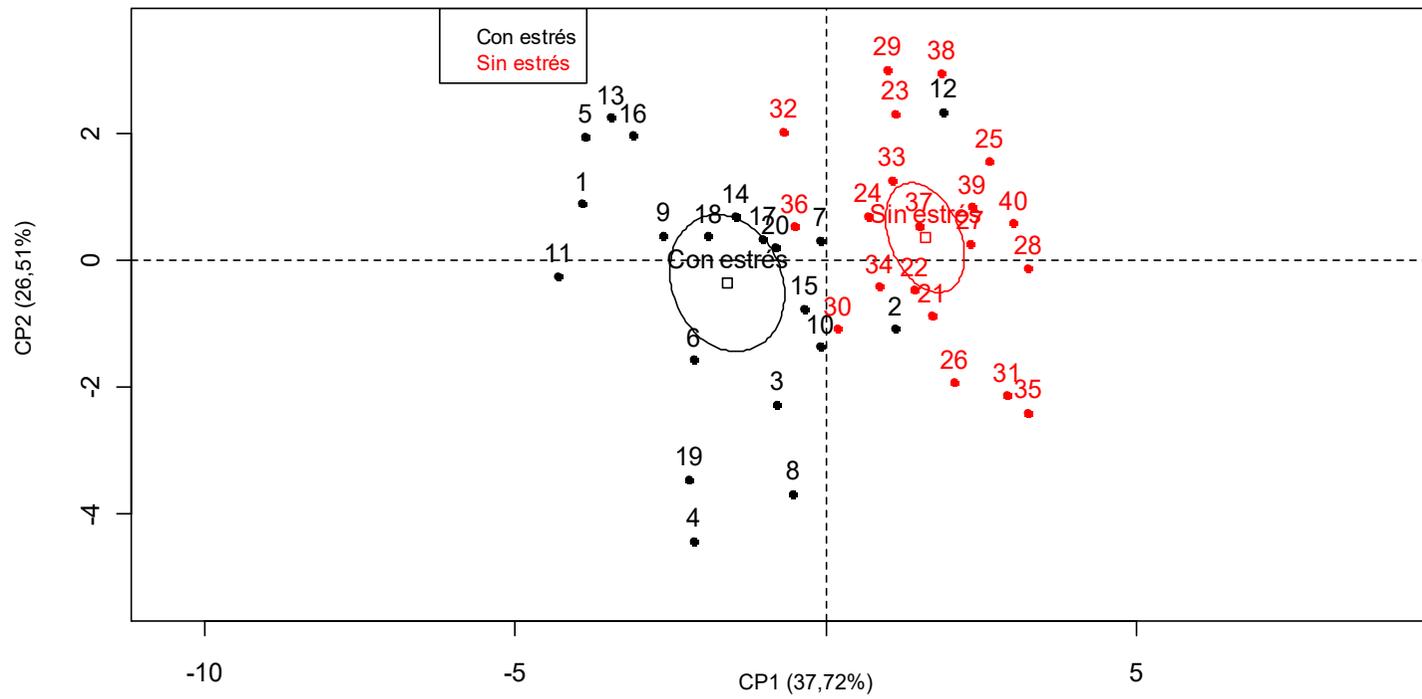


Figura 11: Gráfico de individuos y diferencias significativas (elipses) en los tratamientos sin estrés y con estrés hídrico en las CP 1 y CP 2

IV.2.1.3.2 *Análisis de componentes principales para el tratamiento con estrés*

Este análisis se realizó en base a todas las variables que presentaron diferencias significativas entre los tratamientos con y sin estrés. Para el cálculo se estableció que todas las variables fueran activas, menos el consumo de agua (L) que se consideró una variable suplementaria cuantitativa, es decir una variable que se considera “ilustrativa” ya que no tiene rol en el cálculo de la distancia entre individuos pero puede ilustrar la relación entre las características de interés y enriquece la información (Husson et al., 2010).

La CP1 contribuyó con el 36,38% de la varianza total, la CP2 aportó un 33,69% de la variabilidad total. La variabilidad total explicada por ambos componente fue del 70,07% (Tabla 70).

Tabla 70. Descomposición de la variabilidad total por componente en condiciones de estrés hídrico

	Autovalores	Porcentaje de la varianza	Porcentaje acumulado
Componente principal 1	4,00	36,38	36,38
Componente principal 2	3,70	33,69	70,07

La variable que más se correlacionó con la CP1 fue el rendimiento de algodón en bruto (AlgBr) seguida del rendimiento de la semilla (Sem) y el número de capullos (CAPL), variables más asociadas a los resultados productivos del cultivo.

La CP2 estuvo más correlacionada con el número de frutos caídos (CAI) y el total de puntos fructíferos (TPF) en forma positiva y la precocidad (PREC) en forma negativa, variables más asociadas al comportamiento reproductivo (Tabla 71). En la figura 12 quedan representadas las variables en las componentes principales 1 y 2.

La variable suplementaria consumo de agua (L) se asoció más con AP y Ba (Figura 12), parámetros que han sido asociados por numerosos autores como ligados al uso del agua disponible por el cultivo.

Tabla 71. Correlación de las variables de mapeo, biomásas y rendimientos con cada componente principal (autovectores)

	Componente principal 1	Componente principal 2
Ba	0,54	0,02
AP	0,51	0,30
NN	0,72	0,56
NRF	0,54	0,72
CAPL	0,84	-0,15
CAI	- 0,002	0,95
TPF	0,09	0,95
%F	0,55	0,39
PREC	0,27	-0,76
Sem	0,84	-0,31
AlgBr	0,89	-0,27

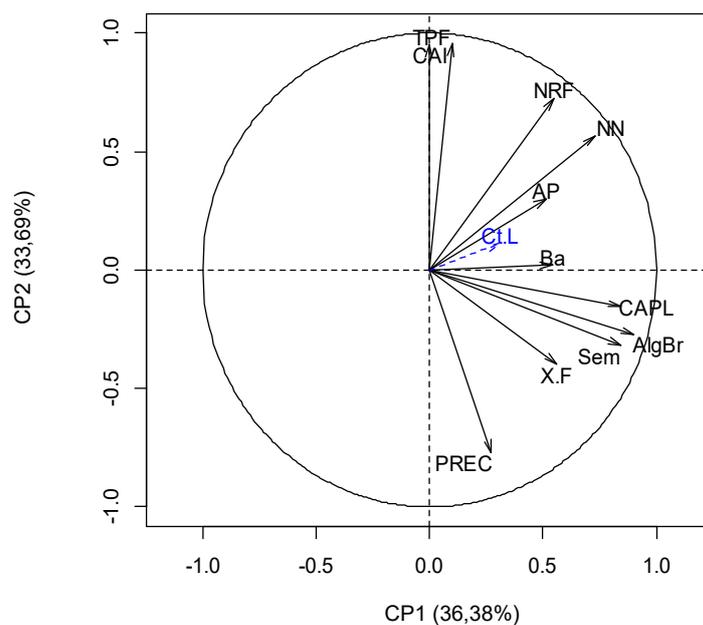


Figura 12: Gráfico de las variables que definen a las CP1 y 2 en condiciones estrés hídrico

La distribución de las entradas está representada en el mapa producido por las dos primeras componentes principales (Figura 13). Las entradas que mayor correlación tuvieron con cada componente se encuentran expresadas en la tabla 72.

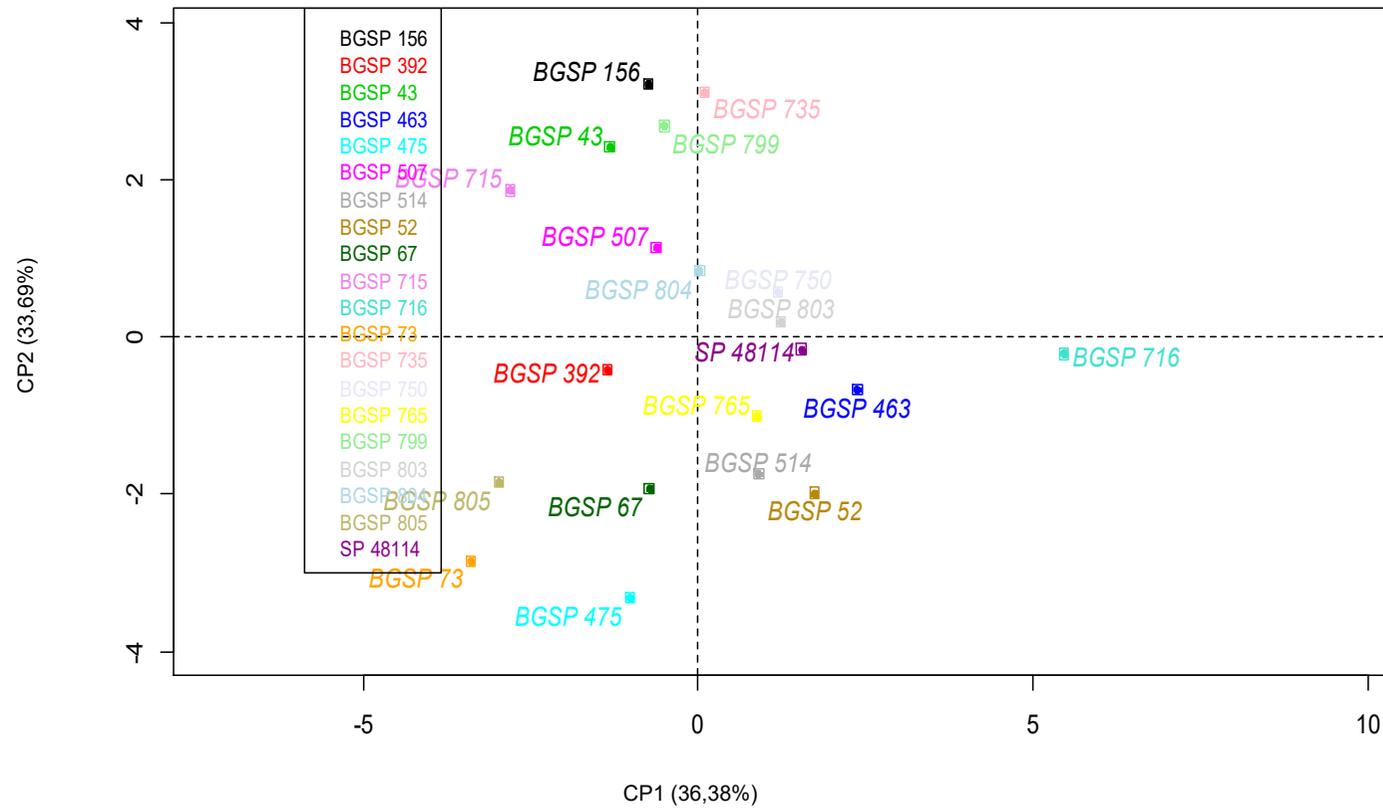


Figura 13: Gráfico de las entradas distribuidas según las CP1 y 2 en condiciones de estrés hídrico

Tabla 72. Coordenadas de las entradas en las CP1 y CP2

Entrada	Componente principal 1	Componente principal 2
BGSP 156	-0,74	3,22
BGSP 392	-1,34	-0,41
BGSP 43	-1,32	2,42
BGSP 463	2,30	-0,66
BGSP 475	-1,01	-3,31
BGSP 507	-0,62	1,13
BGSP 514	0,90	-1,74
BGSP 52	1,73	-1,97
BGSP 67	-0,72	-1,93
BGSP 715	-2,80	1,87
BGSP 716	5,46	-0,21
BGSP 73	-3,39	-2,84
BGSP 735	0,10	3,12
BGSP 750	1,19	0,58
BGSP 765	0,88	-1,00
BGSP 799	-0,50	2,69
BGSP 803	1,23	0,20
BGSP 804	0,02	0,84
BGSP 805	-2,97	-1,84
SP 48114	1,54	-0,14

Las entradas que mayor correlación con CP1 fueron la BGSP 716 y BGSP 73, la BGSP 716 fue la que mayor valor presentó en las variables productivas y la BGSP 73 la de menores valores. Ésta última presentó también correlación fuerte con la CP2 con respecto a las características reproductivas, como también la entrada BGSP 475. Las entradas BGSP735 y BGSP 156 presentaron los valores más altos de variables relacionadas con la reproducción que más aportaron a la construcción de la CP2 como CAI y TPF.

IV.2.1.3.3 *Análisis de grupos para el tratamiento con estrés*

Para la construcción del siguiente dendograma se utilizaron las dos componentes principales, igual que para el experimento de corto plazo (experimento 1).

El árbol jerárquico dividió a las entradas en tres agrupamientos (Figura 14). Para el agrupamiento uno el 50% fue proveniente de Argentina (BGSP 799, BGSP 392, BGSP 507 y BGSP 804), 25% de USA (BGSP 43 y BGSP 156) y 25% restante representada en iguales proporciones por los orígenes de Paskitán (BGSP 715) y Ex URRSS (BGSP 735).

En el agrupamiento dos el 50% perteneció al sitio de origen de Argentina (BGSP 805 y BGSP 475) y el otro 50% de Costa de Marfil (BGSP 73 y BGSP 67).

Con respecto al agrupamiento tres, el 25% fue proveniente de Argentina (BGSP 803 y SP 48114), el 25% de China ((BGSP 750 y BGSP 765) y el restante 50% distribuidas en los sitios de origen de Australia (BGSP 514), Brasil (BGSP 52) y Siria (BGSP 716) en proporciones iguales.

Estos porcentajes sugieren que las variables analizadas presentaron mayor peso para formar los grupos y no así el sitio de origen y el tipo de población.

Agrupamiento uno: BGSP 392, BGSP 507, BGSP 804, BGSP 715, BGSP 43, BGSP 735, BGSP 156 y BGSP 799;

Agrupamiento dos: BGSP 73, BGSP 805, BGSP 475, BGSP 67;

Agrupamiento tres: BGSP 716, BGSP 52, BGSP 765, BGSP 514, BGSP 463, SP 48114, BGSP 750, BGSP 803.

La figura 15 representa a los grupos formados por las entradas en el mapa en función de las componentes principales. Los grupos uno y dos se separan del grupo tres principalmente en el plano de la CP1 y entre ellos se separan por la CP2.

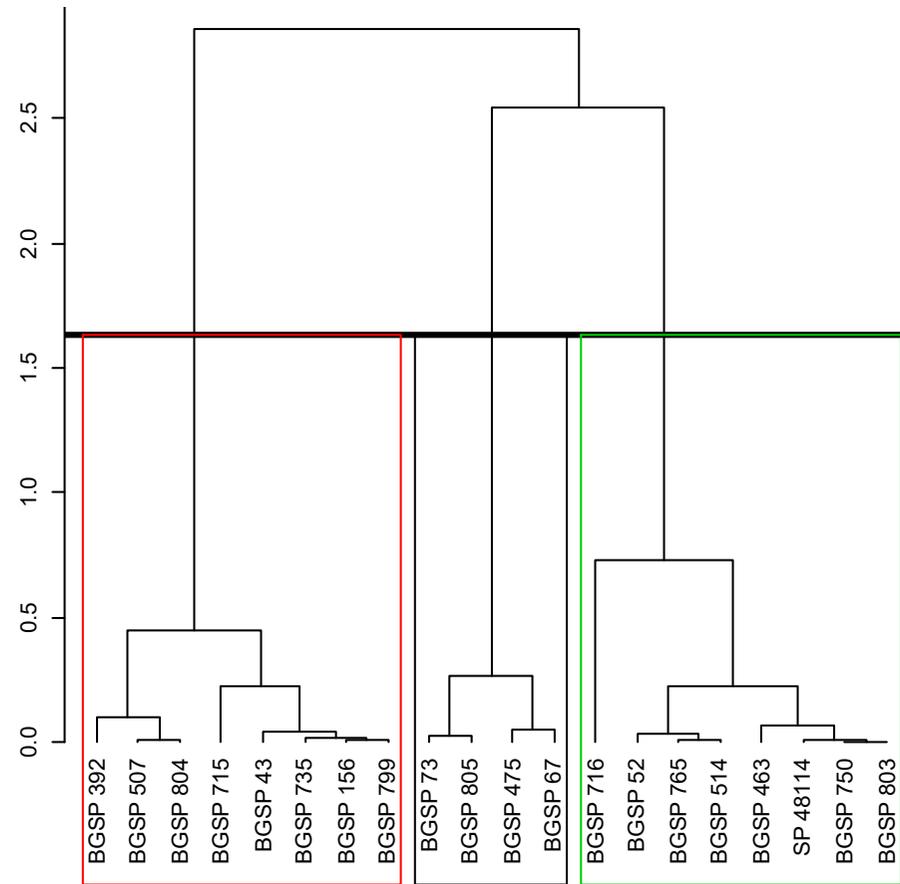


Figura 14: Árbol jerárquico dividiendo a las entradas en tres grupos por las CP1 y CP2 en condiciones de estrés hídrico

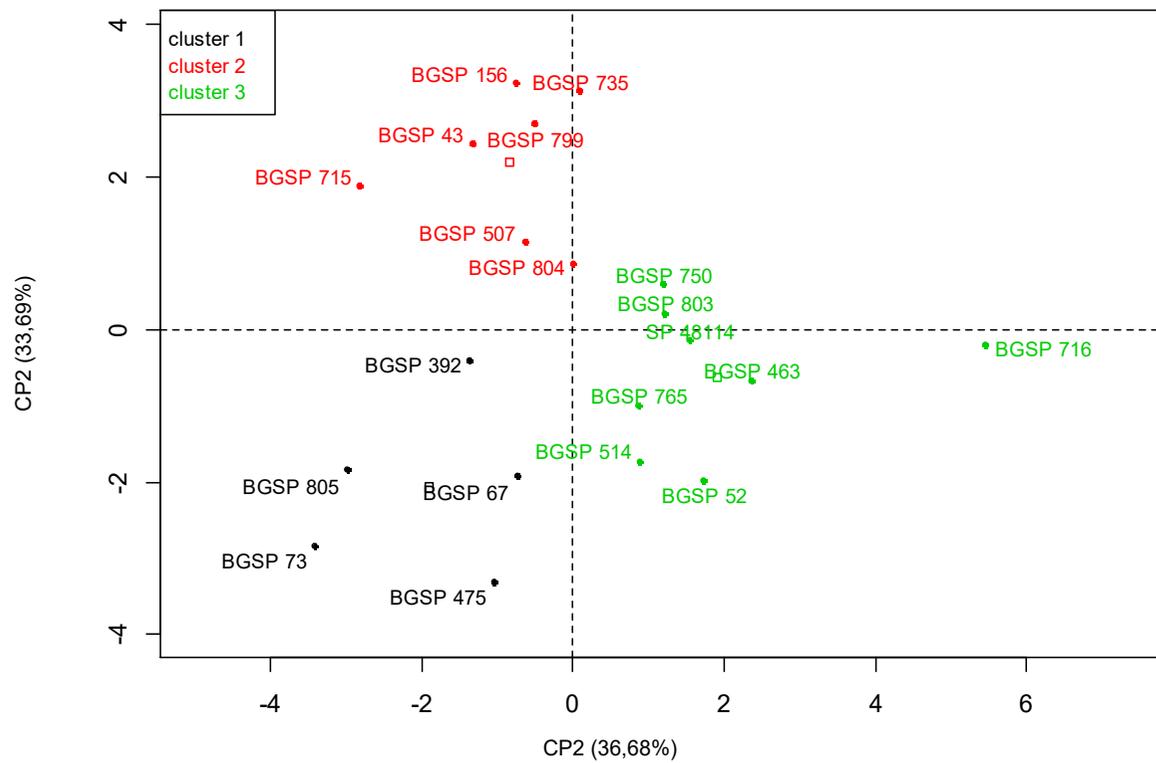


Figura 15: Representación de los grupos de entradas en el mapa en condiciones de estrés hídrico formados a partir de las CP1 y CP 2

Los resultados para las variables continuas se presentan en la tabla 73, En ella se describe el promedio para las variables cuantitativas que caracterizan cada agrupamiento (Media de la categoría), el promedio para la variable para el conjunto total de datos (Media general), el desvío estándar asociado y el p-valor correspondiente a la hipótesis de que “la media de la categoría es igual a la media general”. Si el p-valor es menor a 0,05 la media del agrupamiento es significativamente mayor o menor a la media general, según el signo del v.test.

Este análisis se realizó en base a todas las variables que presentaron diferencias significativas entre los tratamientos con y sin estrés. Para el cálculo se estableció que todas las variables fueran activas, menos el consumo de agua (L) que se consideró una variable suplementaria cuantitativa, es decir una variable que se considera “ilustrativa” ya que no tiene rol en el cálculo de la distancia entre individuos pero puede ilustrar la relación entre las características de interés y enriquece la información (Husson et al., 2010).

Las entradas en el agrupamiento uno se caracterizan por presentar Ba, AP, NRF, CAI, TPF y NN menores que la media general, las del agrupamiento dos mostraron CAI y TPF mayores a la media general, y AlgBr, Sem, %F y PREC menores a la media general y las del agrupamiento tres presentan %F, AlgBr, CAPL, Sem, Ba y AP mayores a la media general.

Los grupos también pueden describirse a través de las componentes principales, lo cual se realiza por medio de una descripción idéntica a la conducida para las variables continuas.

La tabla 74 muestra que las entradas que integran el agrupamiento uno tienen menores coordenadas en la CP1 y CP2, caracterizadas por las variables CAPL, AlgBr y Sem, y PREC, TPF y CAI presentando valores más bajos para estas variables que las entradas del agrupamiento dos que tienen coordenadas mayores en la CP2, caracterizadas por las variables CAI, TPF y PREC y las del agrupamiento tres tienen coordenadas mayores en la CP1 respecto de la media general.

Tabla 73. Descripción de los grupos a través de las variables continuas (mapeo, biomásas y rendimientos)

Variable continua	Grupo	v.test	Media en la categoría	Media general	D.E de la categoría	D.E. general	p-valor
PREC	1	2.09	92.68	75.30	10.35	18.06	0.03
Ba	1	-2.24	56.97	64.92	4.75	7.71	0.02
AP	1	-2,35	111,85	126,11	13,57	15,23	0,02
NRF	1	-2,68	11,35	13,18	0,93	1,72	0,009
CAI	1	-2,76	14,70	21,95	1,83	6,60	0,004
TPF	1	-3,08	18,85	28,20	2,17	7,62	0,003
NN	1	-3,05	15,12	17,62	0,45	1,78	0,002
CAI	2	3,17	27,84	21,95	21,95	6,60	0,001
TPF	2	2,99	34,62	28,20	28,20	7,62	0,002
CAPL	2	-1,96	3,71	4,38	4,38	1,21	0,04
Sem	2	-2,28	8,39	9,70	9,70	2,03	0,02
AlgBr	2	-2,38	14,05	16,27	16,27	3,32	0,01
%F	2	-2,75	20,50	23,72	23,72	4,16	0,005
PREC	2	-3,06	59,71	75,30	75,30	18,0	0,002
%F	3	3,22	27,50	23,72	2,94	4,16	0,001
AlgBr	3	3,21	19,27	16,27	2,54	3,32	0,001
CAPL	3	3,08	5,45	4,38	1,15	1,21	0,002
Sem	3	2,85	11,33	9,70	1,83	2,03	0,004
Ba	3	2,17	69,64	6,92	7,35	7,71	0,029
AP	3	1,99	134,65	126, 10	14,46	15,23	0,04

Como se describió para el experimento 1, los parangones son las entradas que están más cerca del centro del agrupamiento y los individuos específicos son los que están más alejados de los centros de los otros agrupamientos. En la tabla 75 se ve que las entradas BGSP 805 , BGSP 43 y BGSP 463 son las que mejor representan a los agrupamientos uno,

dos y tres respectivamente; por otra parte los que son específicos de cada agrupamiento y más alejados de los centros de los otros son BGSP 73, BGSP 156 y BGSP 716, en el mismo orden.

Tabla 74. Descripción de los grupos por las componentes principales

Componente principal	Grupo	v.test	Media en la categoría	Media general	D.E de la categoría	D.E.de la general	p-valor
1	1	-2.21	-2.02	-6,72 x10 ⁻¹⁶	1,17	2,00	0,002
2	1	-2.81	-2.48	-3,56 x10 ⁻¹⁶	0,61	1,92	0.004
2	2	3,44	1,86	-3,56 x10 ⁻¹⁶	1,18	1,92	<0,001
1	3	3,41	1,91	-6,72 x10 ⁻¹⁶	1,41	2,00	<0,001

Tabla 75. Descripción de las entradas por los individuos (entradas)

Grupo 1				
<u>Parangones</u>				
BGSP805	BGSP 475	BGSP 67	BGSP 73	
1,13	1,30	1,41	1,41	
<u>Individuos específicos</u>				
BGSP 73	BGSP 805	BGSP 475	BGSP 67	
5,33	4,24	3,98	2,95	
Grupo 2				
<u>Parangones</u>				
BGSP 43	BGSP 507	BGSP 799	BGSP 804	BGSP 156
0,69	0,77	0,91	1,37	1,37
<u>Individuos específicos</u>				
BGSP 156	BGSP 43	BGSP 715	BGSP735	BGSP 799
4,68	4,44	4,32	4,16	4,10
Grupo 3				
<u>Parangones</u>				
BGSP 463	SP48114	BGSP803	BGSP765	BGSP52
0,46	0,60	1,07	1,10	1,37
<u>Individuos específicos</u>				
BGSP 716	BGSP463	BGSP 52	BGSP765	SP48114
6,69	4,14	3,79	3,26	3,16

V DISCUSIÓN

El programa de mejoramiento genético de algodón de INTA comenzó en la década de 1980 y ha liberado variedades con una fuerte presencia en el mercado nacional de semilla, destacándose por la calidad y rendimientos en fibra. Con el propósito de generar información útil al programa, las actividades de caracterización y evaluación de las entradas conservadas en el Banco de Germoplasma estuvieron dirigidas principalmente hacia esos atributos. Sin embargo y a pesar de los esfuerzos, en los últimos años la ganancia genética promedio en producción de fibra ha mostrado una tendencia negativa (Gómez, 2007). Algunos autores (Helm, 2000; Meredith, 2000) argumentan que el algodón puede haber llegado a una meseta para caracteres productivos y de calidad de fibra, debido posiblemente a la base genética estrecha del germoplasma denominado *G. hirsutum* domesticado en los últimos 100 años. Así mismo, el estrés hídrico, salinidad y temperaturas extremas son los principales factores abióticos que limitan la productividad de los cultivos, lo que representa más de un 50% de reducción en los rendimientos de todo el mundo (Boyer, 1982). El estrés por sequía o déficit hídrico es un complejo fenómeno que afecta la fisiología, (Grimes y El-Zik, 1990) el crecimiento y la productividad en las plantas de algodón (Chu et al., 1995) y, particularmente, el cultivo del algodón es afectado su rendimiento hasta un 50% (Tarrago J., *com. pers.*, 2015).

De esta manera, los rendimientos de los cultivos se ven reducidos por la sequía. La creciente escasez de agua para riego sumado a los cambios climáticos en las tendencias mundiales, puede aumentar la gravedad del problema (Le Houérou, 1996).

La disponibilidad y calidad del agua afectan a los procesos de crecimiento y fisiológicos de todas las plantas, ya que el agua es el componente principal de las plantas en crecimiento activo, representando un 70-90% de materia fresca de la misma (Gardner y Gardner, 1983). De esta manera, el agua constituye el principal factor limitante del crecimiento, actuando como una fuerza selectiva de primer grado de evolución y distribución de las especies vegetales (Hanson y Hitz, 1982).

Los cultivos presentan características que permitirían eludir la sequía como ser un apropiado desarrollo fenológico. Sin embargo, las características que otorgarían tolerancia a la sequía se presentan en aquellos cultivos que pueden mantener un alto tenor de agua en los tejidos ya sea por reducción en la pérdida de agua, alta resistencia foliar y cuticular, reducción en la carga de radiación y baja área foliar y además mantener la absorción de agua por medio de raíces profundas con alta densidad. Por otro lado existen cultivares que

toleran bajos contenidos hídricos en los tejidos por mantenimiento del potencial de turgencia, ajuste osmótico y alta elasticidad de la pared celular (Evans, 1983; Kramer, 1983; Salisbury y Ross, 1985; Loomis y Connor, 1992). La regulación de los estomas o el ajuste estomático es un mecanismo para ajustar la pérdida de agua utilizado como indicador de estrés hídrico (Fernández y McCree, 1991; Fambrini et al., 1995; Franca et al., 2000), asimismo el contenido de agua relativo es un indicador de tolerancia a la desecación en cultivos como trigo y soja (Schonfeld et al., 1988; Carter, 1989). Por otro lado la altura de planta se reduce en etapas tempranas del cultivo como en trigo (Siddique et al. 1990), arroz (Sikuku et al. 2010) y algodón (Hearn, 1979; Constable, 1981; Turner et al, 1986), como así también el índice de área foliar (Jordan, 1970; McMichael y Hesketh, 1982; Turner et al., 1986; Gerik et al., 1996). Además, la disponibilidad de agua afecta la relación entre el crecimiento de la parte aérea y la subterránea. La raíz continúa su desarrollo mientras que la parte aérea dejaría de crecer por causa del estrés. Así, las plantas son capaces de continuar el desarrollo de sus raíces en búsqueda de agua en zonas más profundas del suelo (Potters et al., 2007; Shao et al., 2008). A partir de diversas investigaciones realizadas en algodón a campo e invernáculo, se sabe que el estrés por déficit de humedad en el suelo provoca menores rendimientos de fibra debido a la reducción en la producción de cápsulas, principalmente por presentar un menor número de flores, pero también por un mayor número de aborto en las estructuras fructíferas cuando el estrés se presenta durante el período de crecimiento reproductivo (Grimes y Yamada, 1982; Gerik et al., 1996; Pettigrew, 2004b).

En este contexto la búsqueda de nuevas fuentes de variación genética no exploradas en el banco activo de germoplasma, tal como la tolerancia al estrés hídrico utilizando parámetros fisiológicos como la conductancia estomática, temperatura foliar y contenido de agua relativo durante la etapa vegetativa (experimento 1) y también los principales parámetros del crecimiento (altura, área foliar y biomasa), rendimiento (algodón en bruto, fibra, semilla) y uso del agua durante todo el ciclo de la planta (experimento 2) fueron analizados.

La Conductancia estomática (C_e) es una variable que se utiliza para evaluar el estado hídrico de la planta a través del grado de apertura de los estomas ya que estos tienen la capacidad de abrirse y cerrarse regulando la conductancia de los gases y su intercambio. Por otra parte, es uno de los mecanismos de resistencia a sequía, debido a que son responsables de la mayor proporción de pérdida de agua en las plantas (Taiz y Zeiger, 2010). En condiciones de estrés hídrico, la transpiración estomática es controlada por la C_e

y la transpiración cuticular, la cual se ve afectada por los caracteres de la superficie de la hoja como el espesor de la capa de cera y la estructura morfológica (Richards et al., 1986). En el presente trabajo esta variable se mostró afectada por el estrés hídrico ($3,82 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) al compararla con el valor promedio del control ($125,37 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$). Los registros inferiores de Ce indicarían el cierre de los estomas en condiciones de estrés hídrico (Pagán Rubio, 2012). Similares respuestas encontraron Pilon, et al. (2012) cuando estudiaron el efecto del estrés hídrico sobre la termosensibilidad en el Fotosistema II en cuatro cultivares de algodón (Pima 32, Siokra L23, DP0912 y T1521) manifestando menor Ce cuando estuvieron sometidos a condiciones de sequía. Radin (1984) observó el mismo comportamiento al evaluar las respuestas de los estomas al estrés hídrico y al ácido abscísico (ABA) en plantas de algodón con deficiencias de fósforo. Lewitt (1980) considera que las plantas podrían evitar la sequía mediante el cierre estomático, sin embargo éste es uno de los componentes más importantes que limita la fotosíntesis en presencia de este estrés (Cronic y Briantais, 1991) provocando una disminución de los rendimientos por la menor disponibilidad de CO_2 (Chaves et al., 2003). En un estudio reciente Carmo-Silva et al., (2012), compararon el rendimiento fotosintético en condiciones de estrés entre diferentes cultivares de algodón tolerantes y sensibles a la sequía comprobándose que la tasa fotosintética y la Ce disminuyeron y las temperaturas de las hojas aumentaron bajo condiciones de humedad limitada. Por otro lado, Maroco et al. (1997) sostienen que el cierre de estomas es una respuesta a la disminución de la turgencia de la hoja y/o potencial de agua o a una atmósfera de baja humedad. En el presente ensayo cuando las plantas estuvieron sometidas a estrés hídrico, la menor Ce observada se debió a la disminución de turgencia en la hoja y no a baja humedad atmosférica debido a que el ensayo se realizó en cámara de cultivo en condiciones controladas de alta humedad relativa. También la menor Ce es producto del déficit de humedad en el suelo. Davies y Zhang (1991) señalan que el cierre de los estomas puede estar más vinculado a la humedad del suelo que a un estado hídrico de la hoja en sí, lo que sugiere que los estomas responden a las señales químicas (por ejemplo ABA) producido por deshidratación de raíces.

Las distintas entradas respondieron ante ambas condiciones de humedad mostrando diferencias estadísticas significativas ($F=2,89$; $p<0,0001$), e interacción significativa (Tratamiento*Entrada: $F=3,58$; $p<0,0001$). Esto indicaría que el comportamiento de la variable Ce en cada condición es diferente de acuerdo al genotipo. Así, la respuesta de Ce bajo condiciones de estrés hídrico fue similar entre las entradas, con valores mínimos y máximos de $2,32$ a $11,55 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, respectivamente (Anexo I). Sin embargo, en ausencia de estrés hídrico mostraron diferencias significativas entre ellas con mayor variación

(mínimo y máximo de 12,28 y 269,25 mmol m⁻²s⁻¹, respectivamente) (Anexo I). Una de las respuestas que se espera de los genotipos ante condiciones de déficit hídrico es la sensibilidad o tolerancia. Iqbal et al. (2010) describen como genotipos sensibles aquellos que presentan respuestas negativas ante condiciones de estrés. En función de este concepto las entradas caracterizadas presentaron sensibilidad para la variable Ce. Estadísticamente esto queda demostrado por la estructura de varianza en el tratamiento con estrés donde la respuesta de Ce se hace uniforme para todas las entradas caracterizadas. Sin embargo, el genotipo SP 48114 presentó la Ce más alta (11,55 mmol m⁻²s⁻¹) para condiciones de estrés hídrico. Según estudios previos de caracterización estomáticas realizados por Tarragó (*com. pers.*, 2015), esta entrada presenta un índice estomático medio (3500 estomas/cm²) lo que podría explicar su elevada Ce. Asimismo la temperatura foliar (T) se ve afectada por el estado hídrico de la planta (Meyer y Walker, 1981) y algunos estudios han demostrado que las mediciones de temperatura foliar y las temperaturas del dosel son buenos indicadores de la tolerancia de las plantas a la sequía y que es factible el uso de dichos datos para cuantificar el déficit hídrico de la planta (Ko y Piccinni, 2009). Lacape et al. (1998) propusieron la regulación de la temperatura del dosel como mecanismo de tolerancia en algodón. La T ha demostrado ser un indicador indirecto del estado hídrico de la planta (Ehrler et al., 1978). En el presente trabajo no hubo diferencias significativas para tratamientos ni interacción, sin embargo las diferencias entre entradas fueron significativas (F=12,87; p<0,0001).

Como la T no fue afectada por el estrés hídrico, las diferencias halladas en este parámetro se deben a características propias de las entradas. No obstante, Pettigrew (2004a) encontró diferencias significativas en la temperatura del dosel cuando evaluó las consecuencias fisiológicas del estrés hídrico en algodón a campo con riego y sin riego sobre ocho genotipos en el Sudoeste de EEUU; en las plantas que crecieron en seco, las temperaturas registradas fueron mayores (35,20°C) y menores (30,7°C) en las que crecieron bajo riego.

Las entradas BGSP 715, BGSP 716, BGSP 67 y BGSP 750 presentaron las más altas temperaturas (Tabla 11), esto podría deberse al cierre de los estomas que causa un aumento de la temperatura y mejora el ahorro en el uso del agua o el aumento de la eficiencia de la transpiración tal como lo postulan Condon et al. (2004). Respuestas similares fueron expresadas en algodón por Carmo-Silva et al. (2012), Pettigrew (2004a) y Shahenshah elsoda (2010). Por el contrario, la entrada BGSP 43 denominada "Stoneville 508" exhibió menor valor de T, es decir que tuvo mayor capacidad de enfriamiento por

evaporación y por lo tanto mayor pérdida de agua (Radin et al. 1994). En estas entradas que mayor T presentaron se halló correlación positiva entre la T y Ce (datos no mostrados) únicamente en la situación con estrés. El análisis puntual de cada entrada de interés y su comportamiento será objeto de futuros trabajos para el cual los resultados obtenidos servirán de base. En el presente estudio la heredabilidad en sentido amplio de la Ce en condiciones de estrés hídrico fue baja, solamente el 3,50% de la variación fenotípica se debió a diferencias entre genotipos y 96,50% a efectos ambientales. Distinta fue la respuesta para condiciones sin estrés donde el 32% de la variación fenotípica observada se debió a la existencia de diferencias entre las entradas y el 68% atribuido a las variaciones del ambiente.

La herencia de la Ce fue estudiada en la variedad de algodón Pima por Percy et al. (1996) quienes demostraron que es un tipo de herencia compleja que incluye desde un simple modelo aditivo-dominante a un modelo donde se presentan interacción epistática digénica. Estos mismos autores reportaron estimaciones de heredabilidad en sentido amplio para Ce que variaron desde un valor de 0,16 hasta 0,44.

En poblaciones interespecíficas obtenidas por la cruce de *G. hirsutum* (americano) x *G. barbadense* (Pima o Tangüis), Ulloa et al. (2000) demostraron la presencia de efectos aditivos, como así también de dominancia para la Ce en estudios efectuados a través de QTLs. Los alelos de los marcadores dominantes de los padres de tipo algodón americano contribuyeron a valores medios más altos de Ce y esto sugirió, además, que los genes de algodón americano podrían contribuir al aumento de la Ce en líneas de Pima en programas de mejoramientos avanzados. Además, la Ce en el algodón está determinada genéticamente y se ha demostrado que se asocia con la resistencia al calor y los rendimientos más altos. En general, el estrés por calor reduce la conductancia estomática y la variabilidad genética disponible, como ya fue especificado anteriormente según lo establecido por Rahman (2005). Del mismo modo podría comportarse ante el déficit de agua debido a que no existe un mecanismo de resistencia al estrés abiótico unificado para la sequía a nivel de toda la planta o a nivel de gen individual (Blum, 2004).

Otro parámetro fisiológico utilizado como indicador de déficit hídrico fue el contenido de agua relativo (CAR). La disminución en esta variable en respuesta a la sequía ha sido observada en una amplia variedad de especies. Así lo han demostrado Nayyar y Gupta (2006) trabajando en trigo y maíz y Jamal et al. (2014) en algodón arbóreo. Investigaciones previas (Kaiser, 1987; Robinson et al., 1988; Cornic et al., 1989) han indicado que el estrés hídrico comienza a inducir restricciones a nivel de mesófilo, disminuyendo la fotosíntesis

cuando el CAR en tejido de la hoja alcanza entre el 50 y 70%. CAR es un parámetro que varía significativamente con la naturaleza y edad del material vegetal (González y González-Vilar, 2001) que exhibe valores mayores en las etapas iniciales de desarrollo de la hoja y disminuye a medida que la materia seca se acumula y la hoja madura (Ananthi et al., 2013), por lo tanto se midió el CAR en etapas tempranas del cultivo. Tal como en las investigaciones de Parida et al. (2008), esta variable fue utilizada en el presente trabajo para determinar la tolerancia y sensibilidad a sequía en genotipos de algodón (*G. hirsutum*) durante la inducción de estrés hídrico. Las plantas bajo estrés hídrico son medidas a través del potencial hídrico de la hoja y CAR (Divanai et al., 2010).

Divainai et al. (2010) trabajando con arroz reconocieron el uso del CAR como una variable que permite distinguir entre genotipos tolerantes y susceptibles. Los genotipos tolerantes mantienen en sus hojas altos CAR y actividad fotosintética con respecto a los genotipos sensibles (Ananthi et al., 2013). Uprite et al. (1997) notaron cambios en el CAR comparando condiciones de estrés y normales, presentándose una reducción significativa bajo estrés hídrico. Flower y Ludlow (1986) propusieron que el CAR en hoja es una medida alternativa para conocer el estatus hídrico de la planta, además de dar indicios sobre los procesos metabólicos en los tejidos y el estatus hídrico letal de las hojas.

Los resultados mostraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos. Los valores promedios alcanzados en condiciones de estrés fue de 44,32% (Tabla 16) y sin estrés hídrico de 81,79% (Tabla 16). Comportamiento similar encontraron Jamal et al. (2014) cuando estudiaron el efecto de estrés por sequía sobre el crecimiento y la fisiología en *G. arboreum* registrando diferencias significativas entre las plantas que crecieron sin estrés hídrico (70,23%) con respecto a las plantas sometidas a estrés hídrico (44,30%). A pesar de ser especies distintas (*G. arboreum* y *G. hirsutum*) se comportan de manera similar cuando se encuentran sometidas a déficit de humedad. Sin embargo, Parkhi et al. (2009) observaron diferencias significativas cuando compararon dos líneas transgénicas de algodón resistentes a estrés hídrico con algodón de tipo salvaje, presentando estas últimas reducciones en el CAR con respecto a las primeras.

Los presencia de diferencias significativas entre las entradas y para la interacción (Tratamiento*Entradas) muestran que los genotipos se comportaron de manera diferente para cada condición. De esta manera los valores de CAR medidos en las entradas en condiciones de buena disponibilidad de humedad en el suelo se registraron entre 68,46 y 90,20% y en condiciones de estrés hídrico variaron entre 30,90 y 52,81%. Los valores bajos de CAR en condiciones de estrés hídrico indican que los genotipos fueron más afectados

ante lo reportado por Ananthi et al. (2013) quienes encontraron CAR entre 61,45 y 64,89% en genotipos sensibles y entre 74,80 y 79,37% para genotipos tolerantes al estrés hídrico.

La entrada de origen australiano BGSP 514, denominada Siokra por las características de las hojas muy lobuladas, presentó un valor de CAR alto (52,65 %) y bajos valores de Ce ($2,32 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) en condiciones de estrés hídrico, respecto a los demás genotipos de hojas normales. Pettigrew et al. (1993) encontraron en experimentos con diferentes genotipos de algodón, que las plantas de hoja okra y súper okra tenían valores de Ce más bajos que las isolíneas de hojas normales a potenciales altos de agua y esto se atribuyó a la menor densidad de estomas presentes en la cara abaxial de los genotipos de hoja okra (Wellsy Meredith, 1986). Resultados similares fueron reportados por Karami et al. (1980) y Nepomuceno et al. (1998), quienes también informaron que los genotipos de algodón de hojas súper okra fueron capaces de mantener alta turgencia en las hojas a potenciales osmóticos más bajos en comparación con las plantas de hojas normales. También las plantas de tipo hoja okra y súper okra exhibieron mayores tasas fotosintéticas a potenciales hídricos bajos en comparación a las plantas de tipo hoja normales en experimentos de invernadero y de campo (Karami et al., 1980; Nepomuceno et al., 1998; Pettigrew, 2004a). Dentro del germoplasma de hoja okra, Siokra L23 fue utilizada por varias investigaciones demostrando características favorables para afrontar condiciones de déficit hídrico (Nepomuceno et al., 1998; Esha Poudel, 2011).

Para determinar la existencias de un comportamiento diferente entre las entradas para esta variable, se estimaron los valores de GDG encontrándose que los mismos fueron bajos en ambas condiciones de humedad, indicando que la variación de los fenotípicos en condiciones de estrés fue determinado por las variaciones del ambiente en un 91,90% y tan solo un 8,10% por las diferencias entre las entradas. Comportamiento similar fue hallado en condiciones óptimas de humedad. En trigo se ha logrado confirmar una relación directa entre el CAR y la tolerancia a la sequía (Schonfeld et al., 1988). Estos mismos autores encontraron un valor alto de heredabilidad para esta característica y la proponen como un criterio muy promisorio de selección de cultivares tolerantes a la sequía.

Con el fin de caracterizar las entradas de algodón para estas variables fisiológicas en conjunto se procedió a la realización de un Análisis multivariado de Componentes Principales (ACP). Las CP1 y CP2 expresaron un 57,11 y 33,35% respectivamente de la variación total. Las variables que definieron la CP1 fueron CAR y Ce, mientras que la CP2 quedó definida por la variable T (Tabla 19). El análisis de la varianza para la categoría

tratamiento permitió separar significativamente a los tratamientos. Las entradas en condiciones de estrés hídrico se distribuyeron más uniformemente que sin estrés (Figura 3). De esta manera el grupo sin estrés presentó mayores coordenadas con la CP1 que el grupo con estrés que tiene coordenadas menores al promedio. Varios autores reportaron este comportamiento de disminución en el contenido relativo de agua en respuesta a la sequía (Nayyar y Gupta, 2006; Jamal et al., 2014) y una menor conductancia estomática (Davies y Zhang, 1991). En condiciones de regadío Pettigrew (2004a) encontró que los potenciales hídricos foliares fueron más negativos (-2,36 MPa) en hojas de plantas de secano (sin riego aplicado) en comparación con las hojas de las plantas regadas (-1,74MPa).

Con el objetivo de visualizar cómo se distribuyeron las entradas en los tratamientos con estrés y a fin de encontrar aquellas que mostrasen tolerancia se efectuó el mismo tipo de análisis. Dos componentes principales explicaron el 83,28% de la variación total observada lo que sugiere que contienen variables que logran explicar la distribución de las entradas a partir del conjunto de variables.

Las variables que definieron la CP1 fueron CAR y Ce explicando el 53,59 % de la variación total y mostrando a su vez una correlacionaron positiva de $r = 0,83$ y $0,81$ respectivamente (Tabla 23). Quisenberry et al. (1982) también encontraron una correlación significativa entre el contenido relativo de agua, cierre de estomas y tasas de crecimiento promedio de los genotipos de algodón en condiciones de estrés hídrico a campo. Esta correlación demostró que la productividad a campo tiende a ser mayor en los genotipos que cierran sus estomas a valores más bajos de CAR. Además, los resultados de alguna forma sugieren que el comportamiento estomático, a lo largo del estrés, depende más del potencial hídrico y su relación con la tensión de agua en el suelo, que de otros factores del ambiente, corroborando los resultados de los trabajos de Sivukamar y Shaw (1978).

La temperatura definió a la CP2 explicando el 29,69% de la variabilidad total. Se han relacionado aumentos en la temperatura con la disminución de la turgencia y del potencial hídrico de la hoja (Oliveira, 1996). Según Armani et al. (1996) la Ce tiene una relación directa sobre el enfriamiento por transpiración y existe una fuerte relación entre la Ce y la T, por lo tanto ambos se ven afectados por muchos de los mismos factores ambientales y fisiológicos (Reynolds et al., 2012). En condiciones de buena disponibilidad de agua la regulación de la Ce mantiene un nivel óptimo de las concentraciones de CO₂ interno. Sin embargo el estrés hídrico en la vegetación provoca un cierre estomático y por lo tanto una reducción en la tasa de transpiración que se traduce en un incremento de la temperatura de la cubierta vegetal (Berni et al., 2009). La reducción del CAR es una pérdida de turgencia de

las células que conlleva al cierre de los estomas y la reducción de la tasa fotosintética (Lv et al., 2007; Kramer y Boyer, 1995). Asimismo el cierre de los estomas provoca una reducción en la turgencia de células guarda a través de la señalización del ABA. Esta es una respuesta fisiológica primaria que la planta de algodón provoca ante al estrés por sequía (Ackerson, 1980). Este esfuerzo de la planta para conservar el agua también conseguiría dar lugar a una mayor T (Carmo-Silva et al., 2012; Pettigrew, 2004a; Shahenshah y Isoda, 2010), viéndose disminuida la capacidad de enfriamiento de la hoja por evaporación (Radin et al., 1994). A partir de las CP, las entradas que se diferenciaron del conjunto y tuvieron mayor peso en la CP1 fueron SP 48114 y BGSP 43 (Figura 5 y Tabla 24) las que mostraron los valores más altos de CAR y Ce. Estos resultados indican que en condiciones de estrés hídrico mantienen los estomas abiertos a niveles altos de turgencia de las hojas. Del mismo modo, las entradas que se diferenciaron por la CP2 presentando menor temperatura fueron las BGSP 43 y BGSP52 coincidiendo con los resultados informados en el análisis univariado. La variedad de origen brasilero I.A.C RM4 (BGSP 52) presentó temperaturas inferiores a todo el conjunto de materiales. La BGSP 43 (Stonville 508) de origen americano mostró peso en ambas componentes con lo cual se puede inferir que tuvo altos valores de CAR, Ce y menor T, este comportamiento no favorecería el desarrollo del cultivo en condiciones de estrés hídrico debido a la pérdida de agua por transpiración al mantener los estomas abiertos. Sin embargo, en condiciones de regadío al mantener los estomas abiertos aumentaría la concentración de CO₂ intercelular, aumentando la fotosíntesis y en consecuencia los rendimientos.

Para conocer las diferencias entre grupo y similitudes dentro de grupo en las entradas de algodón se utilizó el método de agrupamiento empleado por Sokal y Sneath (1963), marcando el inicio de esta técnica, que poco a poco, ha ido extendiendo sus aplicaciones a todos los ámbitos científicos. Estas técnicas son conocidas hoy por método de agrupación jerárquica o partición en grupos (Husson et al. 2010). El método dividió a las entradas en 3 agrupamientos definidos por el CAR, Ce y T, en base a los valores que se obtienen en el ACP (Figura 6).

En el primer grupo la respuesta frente a condiciones de déficit de humedad fueron valores menores de la media general de CAR y menor valor de Ce; en cambio el segundo grupo presentó valores más altos que la media general de CAR y además mayor Ce; por último el tercer grupo se caracterizó por presentar las menores temperaturas. Estos resultados para algodón son similares a los informados para la acerola o cereza de Barbados (*Malpighia emarginata* D.C.), donde Nogueira (1997) propuso el potencial hídrico

foliar y la resistencia estomática como indicadores de resistencia a la sequía; estas variables también fueron consideradas buenas indicadoras para la selección de variedades de maní (Nogueira et al., 1998). Millar et al. (1971) enfatizaron que se ha dado preferencia a las determinaciones del potencial total del agua en la planta, porque ésta influía más directamente en los procesos metabólicos que cualquier otro parámetro de evaluación del déficit hídrico. Clark y Hiler (1973) constataron que el potencial del agua en la hoja resultaba ser mejor indicador del estado hídrico de la planta que la resistencia difusiva estomática o temperatura foliar. Sin embargo, Acevedo et al. (1998) relataron que las mediciones del potencial hídrico, aisladamente, no dan información suficiente sobre el impacto del estrés hídrico en los procesos fisiológicos mediados por el contenido de agua de los tejidos. Por el contrario, Ananthi et al. (2013) sostienen que los genotipos tolerantes mantienen en sus hojas un alto contenido de agua relativo y actividad fotosintética con respecto a los genotipos sensibles.

Investigaciones previas han indicado que el estrés hídrico comienza a inducir restricciones a nivel de mesófilo, disminuyendo la fotosíntesis cuando el CAR en tejido de la hoja alcanza entre el 50 y 70% (Kaiser, 1987; Robinson et al., 1988; Cornic et al., 1989). Así, Ananthi et al. (2013) reportaron valores entre 61,45 y 64,89% para genotipos sensibles y entre 74,80 y 79,37% para genotipos tolerantes. En función a este criterio se podría inferir que las entradas pertenecientes al grupo dos conformadas por BGSP 514, BGSP 67, BGSP 475, BGSP 803, BGSP 735, BGSP 507 y SP 48114 presentaron mejores características para afrontar el estrés hídrico. Dentro del grupo la BGSP 514 mantuvo las hojas con un CAR alto (52,65%) a una C_e más baja ($2,32 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Por el contrario la SP48114 mantuvo alto el CAR (52,32%) a C_e también alta ($11,15 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). No obstante, como se deberían integrar las respuestas de estas variables fisiológicas (Experimento 1) con las respuestas morfológicas, reproductivas y productivas evaluadas a través del Experimento 2, y las estimaciones de heredabilidad en sentido amplio, se considera acertado completar la discusión más adelante.

Cuando se analizó el Experimento 2 (Largo plazo- Múltiple tratamiento de sequía- Ciclo completo de la planta) se observaron cambios producto de los tres episodios de estrés hídrico inducidos sobre las variables morfológicas, asociadas al mapeo y productivas. De esta manera el área foliar fue medida en el primero y segundo episodio de estrés por ser un parámetro biométrico importante para la producción; las hojas son de importancia fundamental en las plantas ya que constituyen los generadores de energía y las unidades que funcionan como sensores del ambiente aéreo (Castillo et al., 2012). La cantidad de luz

fotosintética capturada depende directamente del área foliar y ésta afecta el crecimiento y la bio-productividad y, por lo tanto, también la agro-economía del cultivo. Además, la biometría de hojas constituye un indicador del estado nutricional o del estrés ambiental de la planta (Meziane y Shipley, 1999; Vile et al., 2005).

En términos generales, el desarrollo de un área foliar óptima es significativo para la fotosíntesis y el rendimiento en materia seca (Jaleel et al., 2009) aunque es importante remarcar que una mayor expansión en el área foliar sería beneficiosa cuando la fuente de agua está garantizada, como en un sistema irrigado de producción, pero podría ser poco deseable en sistemas con agua limitada, y ocasionar que el agua del suelo se agote antes de que la planta madure (Munn y Tester, 2008).

En el presente trabajo, el proceso de expansión foliar fue afectado tempranamente por el estrés hídrico en el primer episodio de estrés, es decir a los 30 DDS por un período de 10 días. Ambos tratamientos sin estrés y con estrés difirieron estadísticamente ($p < 0,05$). En promedio el AF en condiciones sin estrés fue 503,86 cm² en relación al AF del tratamiento con estrés (430,17 cm²) indicando una disminución en el crecimiento del 14,63% (73,69 cm²) cuando las plantas crecieron en condiciones de sequía. La disminución del área foliar en el tratamiento por déficit hídrico puede ser explicado tanto por la reducción del crecimiento de la hoja así como a la menor superficie de la misma (Farooq et al., 2009; Zhang et al., 2004; Wullschleger et al., 2005). Pettigrew (2004b) reportó en algodón que la disminución del área foliar se da acompañada de un incremento en el peso foliar específico (mg/cm²), fenómeno también observado por Wilson et al. (1987). Asimismo la reducción de crecimiento como la menor superficie de las láminas es sencilla de explicar si se considera que el crecimiento (aumento irreversible en volumen, tamaño o masa) implica procesos tales como la división y la ampliación de células, los que se ven afectados en condiciones de sequía debido a la menor actividad de las enzimas, pérdida de turgencia y a la disminución de suministro de energía (Kiani et al., 2007; Farooq et al., 2009; Taiz y Zeiger, 2010). Sin embargo la disminución del crecimiento de los órganos aéreos por menor división y expansión celular implica una menor superficie transpiratoria, con lo que las plantas consumen menos agua; lo que, en sí mismo, es un mecanismo indirecto de resistencia a sequía (Maseda y Fernández, 2006).

Observaciones similares fueron informadas por Mahmood et al. (2006) cuando caracterizaron ocho variedades de algodón (*G. hirsutum*) provenientes del Instituto central de investigación de algodón de Multan, Pakistán, para rasgos de crecimiento y productividad en condiciones bajo déficit de agua. Igualmente X (2012) observó disminuciones del área

foliar en un 43% cuando evaluó la tolerancia al estrés salino en etapas de germinación y crecimiento inicial, en siete genotipos de algodón (*G. hirsutum*) coleccionados por el banco de germoplasma del INTA. Esta reducción también fue observada por diferentes investigadores (Qadir y Shams, 1997; Akhtar et al., 2010), ya que los efectos adversos de la salinidad son observados generalmente en el crecimiento de las hojas (Qadir y Shams, 1997). Basal (2010) evaluó 15 genotipos de algodón en condiciones de salinidad (125 mM ClNa), obteniendo reducciones del 47% en el área foliar, con respecto al tratamiento control. En un estudio reciente, los efectos de una combinación de la sequía y la salinidad se compararon entre la cebada silvestre y cultivada (Ahmed et al., 2013), demostrando que el estrés combinado o por separado produce una disminución significativa en el crecimiento de plantas. Por otro lado, Paytas (2009) reportó disminuciones en el índice del área foliar en todos los tratamientos de estrés en relación al tratamiento de riego al evaluar el déficit hídrico en etapas tempranas de crecimiento y desarrollo en algodones de alta retención de frutos.

El comportamiento del AF en la presente caracterización presentó interacción Tratamiento* Entrada en el primer episodio de estrés. Esta interacción implica que el efecto del estrés fue diferente según la entrada. La mayor expansión de las hojas en condiciones de buena disponibilidad de agua (sin estrés) se observó en las entradas BGSP 765, BGSP 735 y BGSP 43. Por el contrario, la menor expansión fue observada en SP 48114, BGSP 716, BGSP 463, BGSP 804, BGSP 805, BGSP 750, BGSP 156, BGSP 73 y BGSP 803 no observando diferencias significativas en condiciones de estrés hídrico. La única entrada que no fue afectada por el tratamiento fue la BGSP 799, el cual es interesante dado que esta entrada es el cultivar moderno utilizado como variedad comercial Guazuncho 3 INTA, muy utilizado en la región en los últimos años. Aunque hay conocimiento empírico de que la variedad es afectada por el estrés, frente a otros cultivares tuvo un comportamiento diferencial, por lo cual sería importante estudiar en futuras mediciones su desempeño en situaciones de estrés hídrico. La reducción del área foliar también sería una consecuencia de la senescencia temprana (Nooden, 1988), lo cual determina en las hojas una abscisión en un corto plazo. Controversialmente, Krieg y Sung (1986) reportan que el estrés hídrico causa disminución del área foliar por el decrecimiento en la diferenciación de nuevas hojas (principalmente en ramas laterales), sin cambios significativos en el tamaño o la abscisión de las mismas.

En el segundo episodio de estrés hídrico al inicio de 70 DDS y por un período de 10 días, los tratamientos sin estrés presentaron un valor de área foliar (AF) de 182,84 \pm 1,65

mientras que en los tratamientos con estrés el valor fue inferior ($151,66 \pm 1,65$) siendo las diferencias entre estos valores estadísticamente significativas ($F = 302,87$; $p < 0,05$). El AF disminuyó en un 17,05% en relación al tratamiento sin estrés hídrico, es decir que el tratamiento con estrés hídrico presentó $31,18 \text{ cm}^2$ menos de AF en promedio. Las entradas exhibieron diferentes respuestas para los tratamientos sin y con estrés hídrico. Las entradas BGSP 514, BGSP 475 y BGSP 73 produjeron más expansión de las hojas en buenas condiciones de agua en relación a las demás entradas. Sin embargo en condiciones de estrés hídrico la expansión de sus hojas fue afectada significativamente. La entrada más afectada por el estrés hídrico fue BGSP 507 ($130,49 \text{ cm}^2$) pero no presentó diferencias significativas con las BGSP 716, BGSP 392, BGSP 73, BGSP 52 y BGSP 735. En condiciones de buena disponibilidad de agua el AF de la BGSP 507 fue de $195,17 \text{ cm}^2$, determinándose una disminución de $64,68 \text{ cm}^2$ de AF cuando fue sometida a estrés hídrico. Las entradas BGSP 765, BGSP 799, BGSP 804 y SP 48114 no presentaron diferencias significativas en el AF para ambas condiciones de humedad. Sin embargo el comportamiento de diferentes especies puede diferir, por ejemplo Wullschlegel et al. (2005) no encontraron diferencias significativas en el número total de hojas, área foliar total y la biomasa foliar total en condiciones de sequía entre dos especies de *Populus simpátricas*; pero sí el crecimiento de las hojas fue más sensible al estrés hídrico en el trigo que en maíz (Sacks et al., 1997); en *Vigna unguiculata* (Manivannan et al., 2007a) y girasol (Manivannan et al., 2007b y 2008).

En consecuencia, el mantenimiento del crecimiento en ambientes donde ocurre un déficit de agua se puede atribuir a la modificación de los rasgos de la hoja. La economía del agua parece ser alcanzado por un aumento de la retención de agua a través de una disminución del área total de la hoja y este rasgo se puede utilizar como un predictor para la selección de la tolerancia al déficit de humedad en las plantas (Mahmood et al., 2006). En relación a la altura de planta (AP) todas las entradas exhibieron respuesta diferente ante los distintos episodios de estrés hídrico. Esta variable fue afectada en el primer (30 DDS) y tercer (120 DDS) ciclo de estrés, no así a los 70 DDS (segundo ciclo).

En el primer episodio (30 DDS) las plantas que crecieron en condiciones de buena humedad del suelo tuvieron mayor altura ($83,33 \pm 1,53$), a diferencia de aquellas que estuvieron sometidas a estrés hídrico ($67,53 \pm 1,53$). El déficit hídrico en etapas tempranas del cultivo produjo una disminución de 18,93%, es decir 15,80 cm menos de altura. El significativo efecto del déficit de agua en el primer episodio de estrés puede explicarse considerando que en esta etapa (emergencia-primer pimpollo de la fase vegetativa) la planta

tiene como prioridad la elongación de entrenudos, razón por la cual la falta del recurso resulta en una marcada diferencia respecto del control (Paytas y Ploschuk, 2013). En este sentido, el comienzo temprano del período de sequía tendría un efecto más drástico sobre la AP (Mahmood et al., 2006). El estrés hídrico como factor limitante en la etapa inicial de crecimiento y establecimiento de las plantas afecta la elongación y expansión de células necesarias para el crecimiento (Anjum et al., 2003a; Bhatt y Srinivasa Rao, 2005; Kusaka et al., 2005; Shao et al., 2008). Reforzando esta expresión, Parolin (2001) describió el papel crítico del agua para las actividades meristemáticas demostrando que la disponibilidad de agua es crucial durante el período de la división celular y la elongación. Estos hallazgos son coincidentes a los encontrados por Chaves et al. (2003), quienes también describieron la importancia de la disponibilidad de agua durante el crecimiento vegetativo. Coincidiendo con lo expuesto, en el presente trabajo se observó que en estado de crecimiento juvenil o etapas tempranas los individuos fueron más susceptibles al déficit hídrico presentando menor AP, resultados similares a los encontrados por Mahmood et al. (2006) al evaluar ocho genotipos de algodón sometidos a cuatro ciclos de estrés diferentes. Por su parte, Mahmud et al. (2014) reportaron reducción de la altura en el cultivo de papa evaluando rendimiento de tubérculos y análisis del crecimiento bajo condición moderada y grave de sequía. Sin embargo Bohnert y Sheveleva (1998) indican que si las plantas en estados iniciales padecen un período de estrés que se incrementa gradualmente y perdura por lapso considerable, podrían ocurrir cambios en ciertas características que permitirían a las mismas aclimatarse y presentar un mejor comportamiento.

La interacción (Tratamiento*Entrada) presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) manifestando que las entradas se comportaron de manera diferente según el tratamiento, y en efecto, no siguieron un mismo patrón. Las entradas que presentaron mayor AP fueron las que crecieron en condiciones de buena disponibilidad de agua (sin estrés), representadas por BGSP 765, BGSP 67, BGSP 735, BGSP 750, BGSP 804, BGSP 805, SP 48114 BGSP 392, BGSP 514, BGSP 715, BGSP 803 y BGSP 507; el grupo de menor AP fue el de las que crecieron bajo condiciones estresantes y estuvo conformado por BGSP 73, BGSP 475, BGSP 43, BGSP 463, BGSP 799, BGSP 715, BGSP 805, BGSP 507 y BGSP 735. Pace et al. (1999) y Pettigrew (2004b) también mencionan que el efecto de la reducción en la altura por sequía es más aparente en las plantas estresadas con respecto a las plantas regadas.

El estrés inducido a los 70 DDS por un periodo de 10 días no generó diferencias significativas entre tratamientos. Este comportamiento pudo deberse a que el cultivo en este momento se encuentra en fin de floración efectiva, etapa en la que si bien el crecimiento

vegetativo y reproductivo es simultáneo, el 60% de los fotoasimilados se destinan a las cápsulas en crecimiento, viéndose el crecimiento vegetativo reducido, tanto en la elongación de los entrenudos como en la formación de nuevos nudos (Constabley Rawson 1980). Sin embargo, entradas e interacción (Tratamiento*Entrada) presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) manifestando un efecto de entradas. La mayor AP fue registrada para la entrada BGSP 765 en condiciones de estrés hídrico y la menor AP por BGSP 73 también en condiciones de estrés. Estos resultados coinciden con los registrados en el primer episodio de estrés (30 DDS) donde la entrada BGSP 765 presentó mayor AP y la menor BGSP 73, indicando que en la primera entrada presenta la capacidad de reanudación del crecimiento después de un estrés, no así en la segunda.

En el tercer episodio de estrés hídrico inducido al inicio de los 120 DDS por un periodo de tiempo de diez días la variable altura de planta fue afectada significativamente ($p < 0,05$) en la presente investigación. La altura final de la planta es determinada por la interacción del genotipo con el ambiente (Sun et al., 2015). Por otro lado, la planta del algodón al considerarse como una especie perenne, posee capacidad para reanudar el crecimiento después del estrés y por lo tanto puede producir nuevos puntos fructíferos. En el presente estudio se produjo un aumento del 17,30% en número de puntos fructíferos en el tratamiento con estrés. Es decir las plantas desarrollaron distintas estrategias para enfrentar el estrés, como reanudar el crecimiento y producir nuevos nudos sobre el tallo principal, diferenciar ramas fructíferas, promover fijación tardía de frutos sobre nuevas ramas fructíferas o incluso sobre las ramas vegetativas ya diferenciadas. La formación de nuevos sitios fructíferos o ramas reproductivas (número de nudos), serían variables afectadas por la disponibilidad hídrica en el periodo de pre-floración, es decir, durante el desarrollo de los pimpollos (Paytas et al., 2011a). El número de sitios fructíferos producido por la planta depende de la altura y el patrón de formación de las ramas; la cantidad de puntos y la capacidad de la planta para proveer fotoasimilados determinan la producción final de fibra (Paytas et al., 2011b).

La información presentada sobre las variables asociadas al mapeo permite efectuar algunas consideraciones agronómicas sobre el comportamiento de las entradas estudiadas frente al estrés. La misma posibilita hacer una división entre los materiales estudiados en dos categorías. La primera entre las entradas que no son y las que son afectadas por el estrés en el aspecto productivo: número final de frutos (capullos + cápsulas). La segunda división entre las entradas que no reanudan el crecimiento y las que si lo hacen después del estrés, aspecto que les daría mayor plasticidad o adaptación en ambiente limitantes o

irregulares en disponibilidad de agua o frente a otra adversidad. Es decir, el saldo de asimilados disponible para la producción de las cápsulas determina el momento de la madurez (Hearn, 1972; Hearn, 1994). De esta manera, el 50% de las entradas no alteraron el número de frutos (capullos + cápsulas) por efecto del estrés (Anexo VIII) (BG 514, BG 716, BGSP 765, BGSP 52, BGSP 803, BGSP 750, BGSP 715, BGSP 804, BGSP 735 y BGSP 43), y el 50% sí redujeron el número final de frutos (BGSP 799, BGSP 507, BGSP 73, BGSP 475, BGSP 463, BGSP 67, SP 48114, BGSP 805, BGSP 392 y BGSP 156). Entre las entradas que son capaces de mantener el nivel productivo frente al estrés se encuentra la BGSP 514 que tiene la particularidad de no reanudar el crecimiento después del estrés, fija tempranamente su carga, no presenta una fijación tardía, disminuye el porcentaje de fijación sin afectar el número de frutos (comparado al sin estresar) por lo que adelanta su maduración en 20%.

Por su parte BGSP 804, aún cuando no reanuda el crecimiento y su fijación temprana es afectada por el estrés, logra compensar el número de frutos por planta con una fructificación tardía, que se refleja en su menor precocidad o maduración más tardía (Anexo VIII). El 80% de las entradas (BGSP 716, BGSP 52, BGSP 750 BGSP 765, BGSP 803, BGSP 715, BGSP 735 y BGSP 43) que mantuvieron el nivel productivo por planta reanudaron el crecimiento después del estrés. Sin embargo, la floración temprana no fue afectada sólo en las tres primeras y de ellas BGSP 750 presentó fijación tardía. En las restantes la fijación temprana fue afectada y compensada por una fijación tardía, el porcentaje de fijación cayó, a excepción de BGSP 750 y BGSP 715 que presentaron fijación mejorada. Aun así, el 25% de las accesiones adelantó la maduración. De este grupo de accesiones BGSP 765 y BGSP 43 soportaron una severa caída de frutos (menor fijación), sin embargo BGSP 765 adelanto su maduración (precocidad), por lo contrario BGSP 73 presentó una disminución de la precocidad en más del 20% .Resumiendo, del análisis de los datos de mapeo se describe que el estrés afectó la productividad del 50% de las entradas estudiadas, expresada como número de frutos final, el 70% de esos materiales mostró incapacidad para reiniciar el crecimiento después del estrés, de ellos el 71% no presentó fijación tardía por lo que la maduración se adelantó alrededor del 20% en el 57% de ellos, y aquellos que fueron capaces de un fijación tardía retrasaron la maduración aún sin compensar el derrame ocasionado por el estrés. Con la reanudación del crecimiento el 30% de las entradas disminuyó significativamente la fijación (superior al 20%) y perdió precocidad (tardaron más del 20% respecto del sin estresar), sin lograr compensar el derrame provocado por el estrés. Morris (1964) demostró que las altas temperaturas acortan el periodo de desarrollo de la cápsula y en consecuencia el tiempo de maduración del algodón

(Yfoulis y Fasoulas, 1978), es decir acortan su ciclo provocando que las cápsulas maduren con anterioridad. En cuanto al tiempo de maduración del cultivo o precocidad y su relación con la biomasa, Ziskal et al. (1997) demostraron que las altas temperaturas podrían acelerar el desarrollo y reducir el tiempo durante el cual se gana carbono, lo cual se traduce a una menor biomasa total del cultivo de algodón, coincidiendo con los datos de este ensayo donde los períodos de estrés hídrico inducidos mostraron valores más altos de precocidad y menor biomasa.

El total de biomasa significa el total de asimilados de la planta (Chaves et al., 2002) y es un buen predictor para la evaluación de tolerancia a estrés. La acumulación de materia seca es significativamente afectada por el déficit hídrico y el efecto adverso aparece aún cuando los tratamientos con estrés incluyen riego aplicado al 70% de agua útil (Dagdelen et al., 2005). En algodón se asume como período de estrés hídrico cuando se alcanza el 50% de agua disponible en el suelo (Paytas et al., 2014). La biomasa total acumulada durante el ciclo del cultivo (140 DDS) en el presente estudio fue significativamente diferente ($F = 10,97$; $p < 0,05$) entre el tratamiento con estrés y sin estrés, sin efecto de entradas ni interacción. Los mayores valores de biomasa se registraron en el tratamiento sin estrés hídrico ($79,90 \pm 4,77$) en contraste al estresado ($70,89 \pm 4,77$). Estos resultados muestran que la biomasa acumulada fue afectada por los tres episodios de estrés hídrico inducidos. La menor producción de biomasa y la ausencia de efecto de genotipo indican por un lado la sensibilidad del carácter ante condiciones de déficit hídrico y por otro lado que las diferencias halladas son de causa puramente ambiental. Similares resultados fueron hallados por Moreshet et al. (1996) cuando evaluó un sistema de riego por goteo para *G. hirsutum* encontrando mayor biomasa seca total en el sistema irrigado en relación al de secano. Paytas (2009) reportó diferencias significativas en la acumulación de materia seca entre tres tratamientos (I) riego durante todo el crecimiento; (II) sin riego hasta pimpollado y (III) sin riego hasta floración. El autor evaluó el efecto del riego en pre-floración, producción de biomasa y partición en algodones Bt de alta retención, presentando mayor biomasa en el tratamiento de riego durante todo el crecimiento del cultivo y menores valores de biomasa en los tratamientos II y III. Paytas et al. (2014) encontraron mayor biomasa total en algodón bajo riego versus secano evaluando diferentes estrategias de riego y su efecto en los componentes de rendimiento; Prash y Sonnewald (2013) investigaron la respuesta de *Arabidopsis* frente a estrés múltiple (calor, sequía y virus) encontrando una reducción en la biomasa para todas las condiciones de estrés individuales, que fue aún mayor cuando se presentaron en forma conjunta.

Con respecto a la biomasa de raíces (g), Ball et al. (1994) y Prior et al. (1995) expresaron que contenidos inadecuados de humedad reducen la elongación de las raíces mientras que Plaut et al. (1996) encontraron una disminución de la densidad de las raíces a los 42 y 70 días después de la emergencia. En el presente estudio se determinó el peso seco de la biomasa de raíces (g) a los 140 DDS después de 3 episodios de estrés hídrico. La biomasa de raíces (g) no presentó diferencias significativas para tratamiento, entradas e interacción. Al no haber efecto de tratamiento ni de entradas no se lo podría usar como predictor de tolerancia-sensibilidad ante el estrés hídrico. Sin embargo, Lynch y Brown (2012) proponen, en base a la productividad y la capacidad de recuperación del algodón, evaluar la magnitud de la variación natural de los rasgos de la arquitectura de la raíz bajo déficit hídrico, rasgo que no fue evaluado en el presente estudio. Por su parte Jamal et al. (2014) evaluaron cambios en la morfología y fisiología por estrés hídrico sobre *G. arboreum* encontrando un marcado incremento en el peso de la biomasa de raíces en el tratamiento con estrés en contraste a la biomasa de raíces de las plantas del control. Debido al incremento drástico en el peso seco de las raíces en plantas que crecieron en condiciones estresantes podrían usarse como índice de tolerancia a estrés hídrico. Pace et al. (1999) hallaron menor peso de raíces en el tratamiento de sequía con respecto al tratamiento sin estrés cuando evaluaron cambios inducidos por sequía en brote y raíz del crecimiento de las plantas jóvenes (49 DDS) de algodón (*G. hirsutum*). Por ello y acorde con Malik y Wright (1997), Ball et al. (1994) y Mc Michael et al. (1999) el crecimiento de las raíces es menos sensible a la sequía, sin embargo en el presente trabajo no existieron diferencias significativas posiblemente porque el ensayo se realizó en macetas donde pudo haberse restringido el crecimiento en profundidad de las raíces. La biomasa aérea (g) fue afectada significativamente ($p < 0,05$) por la disponibilidad de agua, produciendo mayor biomasa área las plantas que crecieron en el tratamiento sin estrés hídrico ($74,47 \pm 2,41$) versus las plantas del tratamiento con estrés ($65,06 \pm 2,41$). Además del efecto de tratamiento, presentó diferencias estadísticas significativas ($F = 90,31$; $p < 0,05$) para entradas y para la interacción de las mismas con los tratamientos. La biomasa aérea (g) en comparación a la de raíces (g) presentó mayor acumulación bajo condiciones sin estrés y menor con estrés, mientras que la biomasa de raíces no se vio afectado por las condiciones hídricas. Estas manifestaciones contradicen el concepto de que la raíz continúa su desarrollo mientras que la parte aérea deja de crecer por causa del estrés debido que las plantas son capaces de continuar el desarrollo de sus raíces en búsqueda de agua en zonas más profundas del suelo (Potters et al., 2007; Shao et al., 2008). Los resultados de la interacción reflejan que

las entradas se comportan de manera diferente dependiendo de las condiciones de humedad (Anexo IX).

Asimismo, el efecto del estrés hídrico en el rendimiento depende de la sincronización y la severidad de la sequía. Krieg (1997) observó que el periodo de iniciación de pimpollos o pimpollado hasta la primera flor representa el periodo crítico de desarrollo en términos de abastecimiento de agua, afectando los componentes de rendimientos. En términos generales, la etapa de mayor requerimiento de recursos se encuentra centrada en su floración, decir en una ventana de tiempo comprendida entre 10 días antes de la apertura de la primera flor y 10 días después del fin de floración efectiva (45 días aproximadamente) (Paytas y Ploschuk, 2013). Por lo mencionado, el periodo crítico es el más sensible a la sequía y, en este momento, el estrés hídrico provoca el mayor decrecimiento del rendimiento. Asimismo el estrés hídrico previo a la floración reduce al número de puntos fructíferos, de la misma manera puede afectar el balance hormonal en pimpollos y cápsulas que puede contribuir a su caída/aborto (Guinn et al., 1990) y cuando el estrés se da en el periodo de floración tardía puede afectar al desarrollo de cápsulas prolongando su maduración (Mc. Willians, 2004). El rendimiento del algodón en bruto (g) en el presente estudio presentó diferencias significativas para tratamiento ($F = 19,9$; $p < 0,05$), no así el rendimiento en fibra (g), que no presentó diferencias para entradas. Los tres episodios de estrés hídrico afectaron negativamente a la producción de algodón en bruto, reflejada por los menores valores obtenidos ($16,27 \pm 1,28$) al final del ciclo (140 DDS) en contraste el tratamiento sin estrés ($21,32 \pm 1,28$). La disminución en el algodón en bruto en condiciones de estrés hídrico se debe a una menor tasa de crecimiento del cultivo, que se traduce a la reducción del tamaño de las hojas y en consecuencia a menor fotosíntesis (Krieg, 1997). Además el rendimiento del algodón es dependiente de la producción y retención de cápsulas y ambos pueden ser disminuidos por el estrés hídrico (Yazar et al., 2002). En consecuencia, el momento, la duración, y la gravedad de déficit hídrico durante todo el ciclo de vida de algodón determinan las pérdidas potenciales de rendimiento (Boman y Lemon, 2006; Edmisten et al., 2007; McWilliams, 2003). Esha Poudel (2011) informó una disminución en los rendimientos cuando evaluó el mecanismo de tolerancia a la sequía en cultivares de algodón para riego en zona de Texas, mostrando mayores rendimientos de algodón cuando los cultivares eran regados versus cultivares de secano. Guinn y Mauney (1984) revelaron que los déficits hídricos severos limitan el rendimiento del algodón al reducir el número de las cápsulas, en parte por la disminución de la floración y la retención de las cápsulas; sin embargo, la alta carga de las cápsulas también contribuyó en parte a la disminución de la retención de las mismas.

Además del número de cápsulas producido por área, el peso de la cápsula, la formación de semillas, las semillas y los índices de fibra, la longitud, uniformidad, madurez y la elongación de la fibra, son todos afectados negativamente por la sequía (Eaton y Ergle, 1952; Gerik et al., 1996; Grimes et al., 1969;. McMichael y Hesketh, 1982; Pettigrew, 2004b; Saranga et al., 1998; Wen et al., 2013). Observaciones similares fueron descripta por Paytas et al. (2014) quienes encontraron un 17% más de rendimientos en condiciones de regadío en relación a los rendimientos a los hallados en secano. Por otro lado, Silva et al. (2007) reportó disminuciones en el rendimiento de trigo (*Triticum aestivum* L.) cuando evaluaron 20 genotipos de similar fecha de floración, procedentes del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT, México), del Centro Internacional para Investigaciones Agrícolas en Zonas Áridas (ICARDA, Siria) y del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA, Chile), estudiando las relaciones hídricas y ajuste osmótico a través de tratamientos de riego y sin riego en invernáculo y a campo. Por su parte, Mahmud et al. (2014) indicaron menores rendimientos en papa cuando evaluaron el efecto de la sequía moderada y grave sobre el rendimiento de tubérculos y la respuesta del crecimiento de la papa.

Igualmente la producción de semillas (g) de algodón se vio afectada significativamente ($F = 27,71$; $p < 0,05$) por el tratamiento con estrés, siendo menor ($9,70 \pm 0,80$) que en el tratamiento sin estrés ($13,22 \pm 0,80$). La disminución en el rendimiento de semillas es primeramente debido a la reducción en el número de cápsulas (Pettegrew, 2004b), y la respuesta de las plantas de algodón bajo riego puede ser explicada a partir de un mayor número de cápsulas debido a la producción de mayor número de sitios fructíferos en relación a las plantas estresadas (Dabbert y Gore, 2014). Por otro lado las plantas que crecieron en condiciones de estrés hídrico tuvieron caída de los frutos aumentando la diferencia entre los puntos de fructificación y las cápsulas producidas. No hubo efecto de entradas ni de interacción, indicando que las diferencias en la producción de semillas (g) se debieron exclusivamente al tratamiento.

Cuando se analizó el consumo de agua (L) durante el ciclo del cultivo para los dos tratamientos se observaron diferencias significativas ($F = 46,69$; $p < 0,05$), no manifestándose dichas diferencias para las entradas y para la interacción de estas con los tratamientos. El mayor consumo de agua en promedio fue registrado en el tratamiento sin estrés hídrico ($95,36 \pm 4,26$) versus el tratamiento con estrés ($85,26 \pm 4,26$). Es decir las plantas que se desarrollaron en condiciones sin estrés hídrico consumieron un 10,60% más que las plantas que crecieron en condiciones de estrés. Las entradas en promedio

consumieron de manera similar dentro de cada tratamiento. En cuanto a la eficiencia uso agua (EUA) el algodón es clasificado como un cultivo sensible a la sequía y no es eficiente en el consumo del agua (Iqbal et al., 2010). La EUA en el presente trabajo no mostró diferencias significativas entre los tratamientos, entradas ni interacción. Medrano et al. (2007) indicaron que la EUA varía considerablemente entre las especies y entre genotipos dentro de las especies permitiendo un cierto margen de actuación a la hora de planificar una explotación agrícola con el ahorro de agua como uno de los criterios fundamentales. Las entradas de algodón (*G. hirsutum*) caracterizadas no mostraron diferencias en la EUA, indicando que todas usan el agua de manera similar en la producción de biomasa. En cambio, Roark y Quisenberry (1977); Quisenberry et al. (1981); Quisenberry et al. (1984) encontraron una variabilidad significativa entre las variedades exóticas de *G. hirsutum*, revelando posibles mejoras en las características de crecimiento ante estrés hídrico. Por otro lado, la EUA también varía entre los hábitos de crecimiento. Eaton y Belden (1929); Gustein (1969) informaron que los cultivares Acala de algodón tenían necesidades de agua más bajas que los cultivares de Pima. Quisenberry et al. (1976) y Quisenberry et al. (1991) informaron que los cultivares primitivos, que se caracterizan por patrones de crecimiento indeterminado, tenían valores superiores de EUA en comparación con los cultivares modernos de hábitos más determinado. Los mismos llegaron a la conclusión de que la EUA se correlaciona positivamente con el crecimiento indeterminado. No obstante, Chaves y Oliveira (2004) señalaron que la EUA es importante para entender el mecanismo de la tolerancia a la sequía, ya que diferentes genotipos pueden adaptarse a déficit hídrico de diferentes maneras. En el presente estudio, las entradas caracterizadas no presentaron variabilidad para la EUA imposibilitando la creación de variedades de mayor EUA que podría ser una solución para mejorar el uso del agua, tanto en la producción de cultivos de secano y de regadío. Resultados similares encontraron Luna-Flores et al. (2012) evaluando el efecto del estrés hídrico sobre el estado hídrico, crecimiento y la EUA en la productividad de plántulas de *Cordia dodecandra*, *Piscidia piscipula* L. y *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. bajo condiciones de invernadero.

Los resultados de heredabilidad en sentido amplio estimados en las variables que mostraron diferencias significativas para tratamiento en el análisis univariado fueron bajos.

La altura de planta (AP) en condiciones sin estrés presentó un valor menor de heredabilidad (0,16) comparado al con estrés (0,34). Los resultados manifiestan que el 34% de la variación fenotípica de la AP en condiciones de estrés se debió a diferencias entre los genotipos y el 66% a diferencias entre los ambiente. Asimismo Dhivya et al. (2014),

reportaron un 36,20% de la variación fenotípica debido al genotipo y la variación restante por las desviaciones ambientales (63,80%). Por otro lado, en análisis genético de algunos rasgos morfológicos y fisiológicos relacionados al estrés por sequía en algodón fueron reportados por Ahmad et al. (2008) cuando trabajaron en retrocruzamientos de germoplasma tolerantes/susceptibles seleccionados en diferentes estaciones de investigación de Pakistán. Los autores encontraron que AP en los diferentes cruces, respondía a efectos genéticos aditivos (0,91) de la herencia en condiciones de estrés hídrico. Singh (1980) informó que en *G. hirsutum* caracteres cuantitativos como AP se vieron afectados por la acción génica aditiva. En la presente investigación solo fueron evaluados para la heredabilidad en sentido amplio debido a que las entradas son materiales genéticos homocigóticos y toda la variación genética es de tipo aditivo ya que la variancia no aditiva (debido a la dominancia y a la epistasis) desaparece. La heredabilidad en sentido amplio estimado para el N° de nudos del tallo principal (NN) en condiciones sin estrés hídrico fue de 15% y con estrés 13%. Similares respuestas observaron Dhivya et al. (2014) en la longitud de entre nudos, considerando baja una heredabilidad del 23,50% en algodón.

Algunos autores consideran a los valores cercano a cero como nulo (Searle, 1971) en el presente estudio se asumió como heredabilidad baja. El N° de ramas fructíferas (NRF) o también llamadas simpodiales presentó una heredabilidad más baja en condiciones de estrés hídrico (3,70%) que en ambientes sin estrés (18%). Sin embargo, Ahmad et al. (2008) encontraron una heredabilidad del 40% cuando trabajaron en retrocruzamientos de germoplasma de algodón tolerantes/susceptibles seleccionados en Pakistán. Por su parte, la heredabilidad estimada en el total de puntos fructíferos de la planta (TPF) en condiciones de estrés hídrico fue de 14% y no se registraron valores en condiciones de buena disponibilidad de agua, indicando que la variación fenotípica total observada fue debida al ambiente.

El comportamiento de la heredabilidad para la variable porcentaje de frutos fijados del total de puntos diferenciados de la planta (%F) fue en sentido opuesto al presentado por la variable antes mencionada (TPF). La heredabilidad en condiciones de buena disponibilidad de agua en el suelo fue del 23% y en condiciones de estrés fue nula, indicando que la variación fenotípica observada para esta variable se debió al ambiente en condiciones estresantes.

En condiciones sin estrés la heredabilidad fue 0,035 para la variable N° de frutos caídos (CAI), en cambio en condiciones de estrés hídrico fue del 11%.

En relación al N° de capullos (CAPL) la heredabilidad en sentido amplio fue nulo en condiciones de buena disponibilidad de agua en el suelo, es decir el 100% de la variación del fenotipo estuvo determinado por el ambiente. Sin embargo, la heredabilidad estimada en condiciones de estrés fue del 16%, en consecuencia la variación del fenotipo fue producto de la variación genética en un orden del 16% y un 84% de las desviaciones ambientales.

Para la variable precocidad (PREC), en condiciones sin estrés la heredabilidad mostró valor nulo, es decir la variación observada fue determinada por las condiciones ambientales en que se desarrollaron las plantas. En cambio, en condiciones de estrés hídrico la heredabilidad fue del 32%, indicando que el 68% de la variación del fenotipo se debió al ambiente y 32% de la variación observada en los fenotipos fueron los genotipos presentes en las entradas caracterizadas. Para Biomasa total (Bt) y Biomasa aérea (Ba) no presentaron heredabilidad en ambas condiciones de humedad.

En condiciones de estrés hídrico la heredabilidad para algodón en bruto (AlgBr) fue del 5,30 %, es decir, que el 94,70% del fenotipo fue determinada por el ambiente, similar respuesta presentó la variable rendimiento en semilla (Sem), donde la heredabilidad fue de 7,40 %. Sin embargo, Khan et al. (2009) en determinaciones de variabilidad genética y heredabilidad en sentido amplio, reportaron altos valores para rendimientos de algodón en bruto ($H^2:0,98$) en ocho cultivares pertenecientes a la Universidad Agrícola de Peshawar, Pakistán.

Para poder lograr un análisis simultáneo de las variables asociadas al mapeo, biomasa total (g) y aérea (g), rendimiento de algodón en bruto (g), semilla (g) y consumo de agua (L), esta última como variable suplementaria, se efectuó como para las variables fisiológicas un ACP. Las variables utilizadas lograron separar en dos componentes (CP1 y CP2) a los tratamientos de manera significativa ($8,66 \times 10^{-14}$ y $0,022$ $p < 0,05$), lo cual significa que las variables consideradas en su cálculo pudieron separar el efecto del estrés en el conjunto de entradas, resultados que coinciden con el análisis univariado. La única entrada que se mostró diferente al conjunto en el tratamiento con estrés correspondió a la BGSP 716. Este es un cultivar obsoleto proveniente de Siria, pero su comportamiento en la situación de estrés la haría deseable como futuro material parental en obtención de variedades tolerantes. Los componentes deben ser interpretados independientemente unos de otros, ya que cada uno contiene una parte de la varianza que no está expresada en otra componente principal (Pla, 1986; López e Hidalgo, 1994). Las dos primeras componentes explicaron el 66,11% de la variabilidad total, definiéndose la CP1 por variables relacionadas al rendimiento y la CP2 por variables asociadas al crecimiento de las plantas, siendo

altamente significativas las diferencias ($p < 0,05$) en rendimientos del grupo que no sufrió estrés, el que presentó los mayores valores de rendimiento de semillas y algodón en bruto. Muchos autores reportaron efectos negativos del estrés hídrico en algodón sobre los distintos caracteres morfológicos, reproductivos y productivos. Boyer (1982) reportó que el rendimiento de la planta es afectado negativamente por el estrés hídrico desencadenando menores rendimientos de fibra. Cuando el estrés se presenta durante el período de crecimiento reproductivo se generan mayor número de abortos de estructuras fructíferas y en consecuencias menor número de cápsulas (Grimes y Yamada, 1982; McMichael y Hesketh, 1982; Turner et al., 1986; Gerik et al., 1996; Pettigrew, 2004b). Al mismo tiempo, la sequía en las plantas de algodón provoca un recorte (es decir, finaliza la etapa de crecimiento de las plantas antes de la apertura de las cápsulas) teniendo así un período de floración prematuro y acortado (Pettigrew, 2004b) en comparación a las plantas de algodón bajo riego. El comportamiento de las entradas para estos parámetros en condiciones de riego (sin estrés) presentó correlación entre variables de rendimiento y reproductivas, es decir en condiciones de buena disponibilidad de agua los rendimientos de AlgBr ($r=0,79$) y Sem ($r=0,80$) son mayores, sin embargo la correlación fue negativa ($r=-0,74$) con CAI. Las variables que determinaron la CP2 fueron principalmente las variables NN y NRF, la primera relacionada con el crecimiento vegetativo y la segunda con el reproductivo. Esta correlación positiva describe el comportamiento asociado de las variables donde aumentos en NN ($r=0,87$) significarían también aumento en NRF ($r=0,89$).

Las variables más asociadas al uso del agua utilizada en el presente análisis como variable suplementaria (C.tL) fueron las variables de crecimiento y rendimiento, biomasa aérea ($r=0,62$), capullos ($r=0,68$), algodón en bruto ($r=0,79$) y semillas ($r=0,80$). Esta asociación también puede evidenciarse por la mayor correlación significativa de C.tL. ($0,54$) de forma positiva en la CP1, con menor asociación con la CP2 ($r=0,27$). Para producir alimentos en la agricultura se supone un gasto de 50 y 80 % de agua del suelo y esta cantidad de producción de alimentos está directamente relacionada con la disponibilidad de agua existente (Medrano et al., 2007), razón por la cual la variable consumo del agua se correlaciono fuertemente con las variables de crecimiento como altura de planta y rendimiento. Por otra parte, el mayor consumo de agua fue dado en condiciones sin estrés hídrico y prioritariamente el agua consumida fue utilizada en la acumulación de materia seca, carpelos, algodón en bruto y semillas.

Una vez realizado el ACP para ambos tratamientos y verificado por medio del análisis conjunto de las variables el efecto del estrés, se analizó solamente el tratamiento

con estrés hídrico con el objeto de determinar cuáles de las entradas sobresalieron en esta condición, y por lo tanto, mostraron tolerancia. La variabilidad total explicada por las CP1 y CP2 fue de 70,07%. Las variables que más se correlacionaron con la CP1 fueron el rendimiento de algodón en bruto ($r=0,89$) seguida del rendimiento de la semilla ($r=0,84$) y el número de capullos ($r=0,84$), variables más asociadas al aspecto productivo del cultivo. La relación entre las mismas sugiere que a mayor número de capullos cosechados, mayor es el rendimiento del algodón en bruto y en efecto de semillas. La CP2 estuvo correlacionada principalmente con el número de frutos caídos ($r=0,95$) y el total de puntos fructíferos ($r=0,95$) en forma positiva y la precocidad en forma negativa ($r=-0,76$), variables más asociadas al comportamiento agronómico. Las entradas más correlacionadas con la CP2 produjeron mayor cantidad de TPF y esto produjo mayor CAI en plantas menos precoces, y viceversa, es decir las entradas más precoces presentaron menor TPF y menor CAI. Las entradas con mayor correlación en la CP1 fueron la BGSP 716 y BGSP 73, la primera obtuvo mayor valor de correlación positiva, en cambio BGSP 73 se correlacionó de manera negativa (Tabla 72), indicando que presentó los valores más bajos en los rendimientos (cápsulas, algodón en bruto y semillas). Ésta última exhibió también correlación negativa con la CP2 con respecto a las características reproductivas, en condiciones de estrés hídrico fue más precoz y el estrés en floración temprana afectó el TPF, es decir hubo menos puntos fructíferos por caída siendo en consecuencia menos productiva. Esto fue debido a que no reanudó su crecimiento y no pudo compensar las pérdidas, de la misma forma la entrada BGSP 475 se mostró muy precoz. Las entradas BGSP 735 y BGSP 156, presentaron los valores más altos de CAI y TPF.

Las relaciones del agua en las plantas son complejas; Hearn (1969) encontró que el peso seco final de la planta tuvo relación lineal con el uso del agua, mientras que el número de nudos del tallo principal presentó relación curvilínea con el agua disponible. Las variables más asociadas al uso del agua en la presente investigación fueron AP y Ba, variables más relacionadas al crecimiento, las mismas presentaron mayor correlación con la CP1 indicando tener relación directa con las variables productivas (Figura 12).

El dendrograma, obtenido a partir de las dos componentes separó en tres agrupamientos a las entradas. Es importante aclarar que el análisis de agrupamientos se aplica sobre una matriz de distancias y no sobre una de similitud (Hidalgo, 2003), es decir las entradas dentro de cada grupo presentan rasgos similares y entre grupos rasgos diferentes. Así los agrupamientos uno y dos se separan del agrupamiento tres principalmente en el plano de la CP1 y entre ellos se separan por la CP2. De esta manera

las entradas que se encuentran en el primer grupo presentaron valores inferiores a la media general en Ba, AP, NRF, CAI, TPF, NN, CAPL, AlgBr y Sem y superiores en PREC, además presentaron coordenadas negativas con CP1 y CP2. Muchos autores (Radin et al., 1992; Plaut et al., 1996; Cook y Elzik, 1993) afirman que el desarrollo de cápsulas, particularmente al final de la floración efectiva presenta mayor sensibilidad al déficit hídrico. La floración efectiva se presenta aproximadamente a los 90 DDS (Paytas y Ploschuk, 2013). Los menores valores de número de capullos, algodón en bruto y semillas, podrían explicarse por el efecto negativo producido en el segundo episodio de estrés (80 DDS) y los menores resultados obtenidos en NRF, CAI, TPF y NN podrían explicarse por el primer episodio de estrés (40 DDS) durante la etapa vegetativa. Estos resultados confirmarían lo reportado por Rijks (1967) que indica que la oferta limitada de agua antes de la floración aumentó el número frutos retenidos, pero redujo el número de nudos, ramas fructíferas, y puntos de fructificación. Por último, la mayor precocidad (92,68) con respecto al valor promedio general (75,30) podría ser explicado a través del hábito de crecimiento del algodón (determinado e indeterminado). Los cultivares con crecimiento determinado (precoces) fructifican fuertemente al inicio de su período reproductivo, después de lo cual las yemas terminales entran en dormancia, el crecimiento de las ramas fructíferas declina, la producción de flores disminuye y la mayoría de las flores que se producen en las últimas semanas de floración son derramadas por la planta. En cambio, los cultivares de crecimiento indeterminado continúan floreciendo y, en general, no retienen los frutos suficientes para detener su crecimiento vegetativo (Quisenberry y Roarck, 1976). Las entradas que conforman el grupo uno (BGSP 73, BGSP 805, BGSP 475 y BGSP 67) en el análisis univariado como en el multivariado mostraron ser las más precoces o de "ciclo corto". Este concepto involucra el acortamiento de los días de duración del cultivo y la disminución en la cantidad de insumos dedicados a la producción en tanto se mantienen o incrementan los rendimientos (Johnson et al., 1974).

El grupo uno presentó características menos favorables para afrontar los distintos ciclos de estrés, estas entradas fueron afectadas en floración temprana (40 DDS) y floración tardía (80DDS), definieron tempranamente su ciclo y no pudieron compensar las pérdidas

Los parangones son las entradas que están más cerca del centro del agrupamiento, es decir el valor medio. La BGSP 805 se encuentra en centro del grupo, seguida por BGSP 475, BGSP 67 y BGSP 73. En cambio las entradas más alejadas de los centros de los otros agrupamientos (individuos específicos) fueron BGSP 73 seguida por BGSP 805, BGSP 475

y BGSP 67. En resumen, BGSP 805 y BGSP 73 son las que mayor peso presentaron dentro del grupo 1.

Sin embargo, las entradas que se ubicaron en el grupo dos (BGSP 715, BGSP 43, BGSP 156, BGSP 799, BGSP 735, BGSP 507 y BGS P 804) presentaron valores mayores de CAI y TPF y valores menores a la media general de CAPL, AlgBr, Sem, %F y PREC. Los mayores valores de las variables reproductivas (TPF y CAI) de las plantas se debieron a los déficits de agua que limitan el rendimiento al reducir el número de cápsulas, en parte por la disminución de la floración y la retención de las cápsulas; sin embargo, alta carga de la cápsula también contribuye a la disminuir la retención (Guinn y Mauney, 1984).

Por otro lado, la menor cantidad de frutos fijados le permitió seguir floreciendo, sin embargo las nuevas flores no pudieron ser retenidas debido a que fueron afectadas por el segundo episodio de estrés no compensando el derrame y en consecuencia tuvieron menores rendimientos en número de capullos, algodón en bruto y semillas.

El valor medio (paragones) fue representado por BGSP 43, seguido por BGSP 507, BGSP 799, BGSP 804 y BGSP 156. La entrada que más rasgos característicos del grupo presenta es BGSP 156 seguida por BGSP 43, BGSP 715, BGSP 735 y BGSP 799. Es decir BGSP 156 fue la que más distancia presentó con las entradas del grupo 1 y 3.

Al contrario, las entradas que pertenecen al grupo tres (BGSP 765, BGSP 514, BGSP 52, BGSP 750, BGSP 803, SP48114, BGSP 463 y BGSP 716) presentaron mayores valores que la media general de %F, AlgBr, CAPL, Sem, Ba y AP revelando mayores coordenadas con la CP1. Los mayores valores alcanzados pueden ser explicados por la mayor asociación encontrada entre consumo de agua y las variables de crecimiento (AP y Ba). De esta forma, el desarrollo morfológico y la acumulación de biomasa son importantes contribuyentes a los rendimientos y madurez (Hearn, 1969; Hearn, 1979; Guinn, 1982; Hearn y Constable, 1984). La etapa de maduración del algodón (90-140DDS) es significativa ya que en la misma se produce el llenado de los últimos frutos, apertura de cápsulas, maduración de la fibra y las semillas y senescencia de las hojas (Paytas y Ploschuk, 2013). Asimismo los mayores valores de biomasa indican una madurez del cultivo (estados avanzados del ciclo del cultivo) y en consecuencia mayor potencial de productividad. De esta manera el mayor porcentaje de fijación (%F) es un indicador de que fue más tolerante a los episodios de estrés en floración temprana y tardía, logrando mayores valores de los componentes del rendimiento. Es decir, presentaron mayor compensación que pueden ser explicadas por la cuarta respuesta definida por Sadras (1995) quien indica que la capacidad

de compensación es una respuesta activa y dependiente del tiempo, la pérdida de órganos reproductivos prolonga la producción de flores, manteniendo la tasa de floración tardía y número de sitios fructíferos.

La entrada que más cerca del centro del agrupamiento se encuentra es BGSP 463 seguida por SP 48114, BGSP 803, BGSP 765 y BGSP 52. La entrada que presentó mayor rasgo del grupo fue BGSP 716 seguida por BGSP 463, BGSP 52, BGSP 765 Y SP 48114. La entrada BGSP 716 es la más diferente con respecto a las entradas pertenecientes a los grupos 1 y 2.

En el experimento 1 o de corto plazo, el grupo 2 presentó mejores atributos fisiológicos para afrontar el estrés, el mismo estuvo determinado por mantener alto contenido de agua en la hoja a conductancia estomática alta. Las entradas que pertenecen al grupo son: BGSP 765, BGSP 463, BGSP 735, BGSP 804, BGSP 803, BGSP 67, BGSP 514, BGSP 475, BGSP 507, SP48114. Con respecto al experimento 2 o largo plazo, el grupo 3 presentó las mejores características en variables asociadas al uso del agua. Las entradas quedan detalladas a continuación: BGSP 765, BGSP 514, BGSP 52, BGSP 750, BGSP 803, SP48114, BGSP 463 y BGSP 716. En síntesis, las entradas BGSP 765, BGSP 463, BGSP 803, BGSP 514 y SP 48114 son las que presentaron mejores atributos fisiológicos y variables asociadas al uso del agua para ambos experimentos. Si bien, la existencia de diferencias genéticas para las variables asociadas al uso del agua mediante la estimación del grado de determinación genética (GDG) o heredabilidad en sentido amplio fue baja, se pudo identificar variedades con mayor tolerancia al estrés hídrico por medio del análisis multivariado.

VI CONCLUSIÓN

1. Los resultados obtenidos proveen la primera caracterización de 20 entradas pertenecientes al Banco de Germoplasma de Algodón, localizado en EEA INTA Sáenz Peña (Chaco, Argentina) por la tolerancia al estrés hídrico en dos períodos fenológicos utilizando variables asociadas al uso del agua. El conocimiento generado, es un primer paso en la contribución para la obtención de líneas o variedades adaptadas al estrés hídrico.

2. Las diferencias genéticas entre las entradas (GDG), para las variables asociadas al uso del agua, fueron bajas debido a la presencia de interacciones (Tratamiento*Entrada) y a un fuerte efecto ambiental causado por las contrastantes condiciones de estrés hídrico, que enmascararon la variancia genética.

3. Al evaluar el efecto del estrés hídrico sobre caracteres fisiológicos y morfo-productivos se comprobó que el 50% de las entradas no fueron afectados por el estrés y que el 80% de estas reanudaron su crecimiento después de los episodios de estrés hídrico inducidos.

4. Se identificaron entradas con mayor tolerancia al estrés hídrico por medio de análisis de componentes principales y por análisis de agrupamiento en los dos experimentos. Esta identificación se refuerza aún más debido a que los genotipos (BGSP 765, BGSP 463, BGSP 803, BGSP 514 y SP 48114) provienen de los dos mejores grupos tanto por sus atributos fisiológicos como variables agronómicas caracterizadas.

En respuesta a la hipótesis de investigación planteada podemos concluir que los genotipos representativos coleccionados y conservados en el banco de germoplasma del INTA difieren en su tolerancia al estrés hídrico.

Como perspectiva a futuro a partir de estos resultados, se pretende evaluar las entradas que presentaron mejores atributos al estrés hídrico a campo en distintos ambientes para mejorar las estimaciones de las relaciones genéticas.

VII BIBLIOGRAFÍA

Abbas G., Khan T., Khan A. and Khan A. (2011). Discrimination of Salt Tolerant and Susceptible Cotton Genotypes at Seedling Stage using Selection Index. *International Journal of Agriculture & Biology*, 13 (3): 339-345.

Acevedo E., Silva H. y Silva P. (1998). Tendencias actuales de la investigación en la resistencia al estrés hídrico de las plantas cultivadas. *Boletín Técnico Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile*. 49:1-29.

Ackerson R. C. (1980). Stomatal response of cotton to water stress and abscisic acid as affected by water stress history *Plant Physiol*. 65:455-459.

Ahmad W., Khan N. U., Khalil M. R., Parveen A., Aimen U., Saeed M., Samiullah and Shah S. A. (2008). Genetic variability and correlation analysis in upland cotton. *Sarhad J. Agric.*, 24: 573- 580.

Ahmed I., Dai H., Zheng W., Cao F., Zhang G., Sun D. and Wu F. (2013). Genotypic differences in physiological characteristics in the tolerance to drought and salinity combined stress between Tibetan wild and cultivated barley. *Plant Physiol and Biochem*. 63: 49–60.

Ahsan M. Z., Majidano M. S., Bhutto H., Soomro A. W. Panhwar F. H., Channa A. R. and Sial K. B. (2015). Genetic Variability, Coefficient of Variance, Heritability and Genetic Advance of Some *Gossypium hirsutum* L. Accessions *Journal of Agricultural Science*; Vol. 7: No. 2: 1-5.

Akhtar K. P., Haider S., Khan M. K. R., Ahmad M., Sarwar N., Murtaza M. A, Aslam M. (2010). Evaluation of *Gossypium* species for resistance to leaf curl Burewala virus. *Ann Appl Biol*. 157: 135-147.

Allen R. G., Pereira L. S., Raes D., Smith M. (1998) .Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome.1-15.

Amir S., Farooq J., Bibi A., Khan S. H., Saleem M. F. (2012). Genetic studies of earliness in *Gossypium hirsutum* L. IJAVM S, 6 (3):189-207.

Ananthi K., Vijayaraghavan H., Karuppaiya M. and Anand T. (2013). Drought-induced Changes in Chlorophyll Stability Index, Relative Water Content and Yield of Cotton Genotypes. Insight Botany, 3: 1-5

Anjum F., Yaseen M., Rasul E., Wahid A. and Anjum S. (2003). Water stress in barley (*Hordeum vulgare* L.). I. Effect on morphological characters. Pakistan J. Agric. Sci. 40: 43-44.

Armani I., Fhischer R. and Reynolds M. (1996). Evaluation of canopy temperature as a screening tool heat tolerance in spring wheat. Journal of Agronomy and Crop Science 176: 119-129.

Arturi M. J. (1984). El Algodón. Mejoramiento Genético y Técnicas de su cultivo 1º ed. Editorial Hemisferio Sur S.A. 31-39.

Ayalon Y. (1983). Irrigation of cotton. In: Finkel, H. J. CRC Handbook of irrigation technology. CRC Press. Boca Raton, FL.,105-117.

Ball R. A., Oosterhuis D. M., and Maromoustakos A. (1994). Growth dynamics of the cotton plant during water-deficit stress Agron.J.86: 788-795.

Basal H. (2010). Response of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) genotypes to salt stress. Pakistan Journal of Botany 42: 505-511.

Basal H., Bebeli P., Smith C. W., and Thaxton P. (2003). Root growth parameters of converted race stocks of upland cotton and two BC2F2 populations. Crop Sci.43:1983-1988.

Basavaraddi N. (2007). Genetic Diversity Studies in *Gossypium hirsutum* L. Cotton for Yield Contributing Characters, Fibre Traits and in vitro Regeneration. Tesis Master, Departament of Genetics and Plant Breeding, University of Agricultural Sciences, Dharwad, 125 p.

Belich Y., Pioli R. y Pratta G. (2014). Heredabilidad en sentido amplio y estricto para la resistencia a *Fusarium verticillioides* en maíz. XLIII Congreso Argentino de Genética - IV Reunión Regional SAG-Sur. Bariloche. En: BAG Journal of basic and applied genetics versión On-line ISSN 1852-6233.

Berni J., Zarco-Tejada P., Sepulcre-Cantó G., Fereres E. y Villalobos F. (2009). Estimación de conductancia estomática y detección de estrés hídrico en vegetación mediante imágenes térmicas de alta resolución espacial obtenidas con un vehículo aéreo no tripulado (UAV). XIII Congreso de la Asociación Española de Teledetección. Cataluña. 25-28.

Bernardo R. (2002). Breeding for Quantitative Traits in Plants. First Ed. Stemma Press, Woodbury, MN. 369 p.

Bhatt R. and Srinivasa Rao N. (2005). Influence of pod load response of okra to water stress. Indian J. Plant Physiol. 10: 54-59.

Black C. C. and Osmond B. (2003). Crassulacean acid metabolism photosynthesis: "working the night shift". Photosynth. Res. 76: 329-341.

Blum A. (2004). The physiological foundation of crop breeding for stress environments. En: Proc. World Rice Research Conf., Tsukuba, Japan. Manila. The Philippines: International Rice Research Institute; 456-458.

Bohnert H. J. and Sheveleva E. (1998). Plant stress adaptation-making metabolism move. Current Opinion Pl. Biol. 1: 267-74.

Boman R. and Lemon R. (2006). Drought management strategies related to production, management, and marketing of cotton in Texas. En: Texas A&M AgriLife Extension Service. Texas A&M Univ., College Station, 1-4 p.

Bourland F. M., Benson R. E., Vories E. D., Tugwell N. P. and Danforth D. M. (2000). Measuring Maturity of Cotton Using Nodes above White Flower. Journal of Cotton Science 5:1-8.

Boyer J. (1982). Plant productivity and environment. Science 218: 443-448.

Bramardi S. J. (2002). Análisis multivariado. Su aplicación en la caracterización de recursos genéticos. Facultad de Ciencias Agrarias, Univ. Conahue, Estación Exp. INTA, Argentina, 60 p.

Brubaker C. L. and Wendel J. F. (1994). Reevaluating the origin of domesticated cotton (*Gossypium hirsutum*; *Malvaceae*) using nuclear restriction fragment length polymorphisms (RFLPs). *American Journal of Botany* 81: 1309-1326.

Brubaker C. L., Bourland, F. M. and Wendel. J. F. (1999). The origin and domestication of cotton, 3-31 p. In: C.W. Smith and J.T. Cothren (ed.) *Cotton. Origin, history, technology, and production*. John Wiley & Sons, New York.

Burke E. J. (2006). Modeling the recent evolution of global drought and projections for the twenty-first century with the Hadley center climate model. *Journal of Hydrometeorology* 7: 113-1125.

Campbell B. T., Saha S., Percy R., Frelichowski J., Jenkins J. N, Park W., Mayee C. D., Gotmare V., Dessauw D., Giband M., Du X., Jia Y., Constable G., Dillon S., Abdurakhmonov I. Y., Abdurakarimov A., Rizaeva S. M., Abdullaev A., Barroso P. A. V., Pádua J. G., Hoffmann L. V., and Podolnaya L. (2010). Status of the Global Cotton Germplasm Resources. *Crop Science*, Vol. 50:1161-1179.

Carmo-Silva A., Gore M., Andrade-Sanchez P., French A., Hunsaker D. and Salvucci M. (2012). Decreased CO₂ availability and inactivation of Rubisco limit photosynthesis in cotton plants under heat and drought stress in the field. *Environmental and Experimental Botany* 83: 1–11.

Carter T. (1989). Breeding for drought tolerance in Soybean: Where do we stand? In: *World Research Conference IV. Asociacion Argentina de la Soja*, Buenos Aires Argentina.

Castillo O., Zaragoza E., Alvarado C., Barrera M. and Dasgupta-Schubert N. (2012). Foliar area measurement by a new technique that utilizes the conservative nature of fresh leaf surface density. *Quantitative Biology*. arXiv:1212.5761[q-bio.QM]: 1-25.

Chase S., Glen R. and Thompson T. (2013). Water Use Efficiency and Irrigation response of cotton cultivars on subsurface drip in west Texas. *Agronomy and Soils. The Journal of Cotton Science*. 17:1-9.

Chaves M. M., Pereira J. S., Maroco J., Rodriguez M. L., Ricardo C. P. P., Osorio M. L., Carvalho I., Faria T., and Pinheiro (2002). How plants cope with water stress in the field. Photosynthesis and growth. *Ann. Bot.*, 89: 907-16.

Chaves M. M., Maroco P.P. and Pereira J. S. (2003). Understanding plant responses to drought-from genes to the whole plant. *Funct. Pl. Biol.*, 30: 239-64.

Chaves M. M. and Oliveira M. M. (2004). Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. *J. Exp. Bot.* 55: 365-384.

Chu C. C., Henneberry T. J., Akey D. H, Naranjo S. E., Perkins H. H, Prabhaker N. and Mackey B. E. (1995). Silverleaf whitefly: Development of an action threshold for chemical control on cotton. 873-874. In: Herber D.J. and Richter D.A. (ed.) *Proc. Beltwide Cotton Conf.*, San Antonio, TX. 4-7 Jan. 1995. Natl. Cotton Council Am., Memphis, TN.

Clark R. N. and Hiler E. A. (1973). Plant measurements as indicators of crop water deficits. *Crop Science* 13: 466-469.

Colom M. and Vazzana C. (2003). Photosynthesis and PSII functionality of drought-resistant and drought-sensitive weeping lovegrass plants. *Environ. Exp. Bot.* 49: 135-144.

Condon A. G., Richards R. A., Rebetzke G. J. y Farquhar G. D. (2004). Breeding for high water-use efficiency. *Journal of Experimental Botany* 55: 2447-2460.

Constable G. A. (1981). Carbon fixation and distribution in cotton. PhD dissertation, Australian National University, Canberra.

Constable G. A. and Rowson H. M. (1980). Effect of leaf position, expansion and age on photosynthesis, transpiration and water-use efficiency of cotton. *Australian Journal of Plant Physiology* 7:89-100.

Constable G. A. (1991). Mapping the production and survival of fruit on field-grown cotton. *Agronomy Journal* 83: 374-378.

Constable G. A. and Shaw A. J. (1998). Temperature requirements for cotton, Division of Plant Industries, New South Wales Department of Agriculture and Fisheries.

Cook C. G. and Elzik K.M. (1993). Fruiting and lint yield of cotton cultivars under irrigated and nonirrigated conditions. *Field Crops Research* 33: 411-421.

Cornic G., Le Gouallec J., Briantais J. and Hodges M. (1989). Effect of dehydration and high light on photosynthesis of two C₃ plants (*Phaseolus vulgaris* L. and *Elatipstema repens* (Lour) Hall f.). *Planta* 177: 84-90.

Cornic G. and Briantais J.M. (1991). Portioning of photosynthetic electron flow between CO₂ and O₂ reduction in a C₃ leaf (*Phaseolus Vulgaris* L.) at different CO₂ concentrations and during drought stress. *Planta* 183:178-184.

CRDC (2005). Taking responsibility for our future. The Australian cotton industry action response to the second Australian cotton industry environmental audit 2003, Australian Government.

Dabbert T. and Gore M. (2014). Challenges and perspectives on improving heat and drought stress resilience in cotton. *The Journal of Cotton Science* 18: 393-409.

Dagdelen N., Yilmaz E., Sezgin F. and Gurbuz T. (2005). Water-yield relation and water use efficiency of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and second crop corn (*Zea mays* L.) in western Turkey. *Agricultural Water Management*. 82 (2006) 63-85.

Davies W. and Zhang J. (1991). Root signals and regulation of growth and development of plants in drying soil. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 42: 55-76.

De Melo Faria A. M. y Campos I. (2012). Custos ecológicos: dilemas dacotonicultura em Mato Grosso *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica* Vol. 19: 42-53.

Deivanai S., Devi S. and Rengeswari S. (2010). Physiochemical traits as potential indicators for determining drought tolerance during active tillering stage in rice (*Oryza sativa* L.). *Pertanika J. Trop. Agric. Sci.* 33: 61-70.

Delssin E. 2015. Pronóstico de estabilidad en la producción mundial de algodón. INTA. [http://inta.gob.ar/documentos/pronostico-de-estabilidad-en-la-produccion-mundial-de-
algodon](http://inta.gob.ar/documentos/pronostico-de-estabilidad-en-la-produccion-mundial-de-algodon)

Dhivya P., Amalabalu R., Pushpa R. and Kavithamani D. (2014). Variability, heritability and genetic advance in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *African Journal of Plant Science.* 8 (1): 1-5.

Di Rienzo J. A., Casanoves F., Balzarini M. G., González L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat version 2014. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

Di Rienzo J., Macchiavelli R. and Casanoves F. (2010). Modelos Mixtos en InfoStat-Manual de Usuario.[en línea]. Disponible en URL: <http://www.infostat.com.ar>

Eaton F. M. and Belden G. O. (1929). Leaf temperatures of cotton and their relation to transpiration, varietal differences, and yields. *USDA Tech. Bull.*91: 40.

Eaton F.M. and Ergle D.R. (1952). Fiber properties and carbohydrate and nitrogen levels of cotton plants as influenced by moisture supply and fruitfulness. *Plant Physiol.* 27: 542-562.

Edwards G. A., Endrizzi K. E. and Stein R. (1974). Genome DNA content and chromosome organization in *Gossypium*. *Cromosoma*, 47: 309-326.

Edmisten K., Crawford J. and Bader M. (2007). Drought management for cotton production. En: North Carolina Cooperative Extension. Paper AG-519-5. North Carolina State Univ, Realeigh, NC., 1-9 p.

Ehrler W., Idso S., Jackson R. and Reginato R. (1978). Wheat canopy temperature: relation to plant water potential. *Agronomy Journal* 70:251-56.

Esha Poudel R. B. S. (2011). Mechanism of Drought Tolerance in Cotton- Response of Cotton cultivars to Irrigation in the Texas High Plains. Thesis: In Soil Science. 86 p.

Evans L. T. (1983). Fisiología de los cultivos. Ed. Hemisferio Sur, 423 p.

Fambrini M. P., Vernieri M. L., Toncelli V. D., Rossi and Pugliesi C. (1995). Characterization of a wilted sunflower (*Helianthus annuus* L.) mutant. III. Phenotypic interaction in reciprocal grafts from wilted mutant and wild-type plants. J. Exp. Bot., 46: 525-530.

Falconer D. S. and Mackay T.F.C (1989). Introduction to Quantitative Genetics. Longmans, London, 383 p.

FAO. (Food, Agriculture Organization of the United Nations) (2004). FAO production yearbook. Rome: FAO. www.fao.org

FAO (2009). International treaty on plant genetic resources for food and agriculture. FAO, Rome. www.fao.org

Farooq M., Basra S., Wahid A., Ahmad N. and Saleem B. (2009). Improving the drought tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) by exogenous application of salicylic acid. J. Agron. Crop Sci. 195: 237-246.

Fehr W. R. (1991). Principles of cultivar development. Vol. 1, Theory and technique. (Macmillan Publishing Company: London), 115 p.

Fernandez C. J. and McCree K. J. (1991). Visualizing differences in plant water dynamics with a simulation model. Crop Sci. 31: 399-404.

Fischer R. A., Rees D., Sayre D. K., Lu Z. M., Condon A. G. and Saavedra A. L. (1998). Wheat yield progress associated with higher stomatal conductance and photosynthetic rate and cooler canopies. Crop Sci. 38: 1467-1475.

Flower D. and Ludlow M. (1986). Contribution of osmotic adjustment to the dehydration tolerance of water-stressed pigeon pea (*Cajanus cajan* (L.) millsp.) leaves. Plant Cell Environ. 9: 33-40.

Franca M. G. C., Thi A.T. P., Pimental C., Rossiello R.O. P., Fodil Y.Z. and Laffary D. (2000). Differences in growth and water relations among *Phaseolus vulgaris* cultivars in response to induced drought stress. *Environ. Exp. Bot.*, 43: 227-237.

Fryxell P. (1992). A Revised Taxonomic Interpretation of *Gossypium* L. (Malvaceae). *Rheedea*, 2 (1): 108-165.

Gabriel J., Ancasi G., Angulo A., Magne J., La Torre J. and Mamani P. (2012). Genetically-induced drought resistance in potato hybrids (*Solanum tuberosum* L.). *Latin American Journal of Potato*. 17 (1): 97-124.

Gardner W. R. and Gardner H. R. (1983). Principles of water management under drought conditions. *Agric. Water Manage.* 7:143-155.

Gerik T. J., FaverK. L., Thaxton P. M. and ElZik K.M. (1996). Late season water stress in cotton.1. Plant growth, water use, and yield. *Crop Sci.* 36: 914-921.

Gómez N. (2015). El algodón en Santiago del estero edición mensual-septiembre. *Revista para el sector algodonero* N° 9. www.minagri.gob.ar

Gómez G. (2007). Estimación de la diversidad genética mediante marcadores Microsatélites en entradas de Algodón (*Gossypium hirsutum* L.) del Banco de germoplasma del INTA. [Tesis Magister] Universidad Nacional de Rosario, Argentina, 80 p.

González L. and González-Vilar M. (2001). Determination of Relative Water Content. En: MJ Reigosa Roger (ed.) *Handbook of Plant Ecophysiology Techniques*. Springer Netherlands, 207-212.

Grimes D. W. Dickens W. L. and Anderson W. D. (1969). Functions for cotton (*Gossypium hirsutum* L.) production from irrigation and nitrogen fertilization variables. II. Yield components and quality characteristics. *Agron. J.* 61:773-776.

Grimes D. W. and Yamada H. (1982). Relation of cotton growth and yield to minimum leaf water potential. *Crop Sci.* 22: 134-139.

Grimes D. W. and El-Zik K. M. (1990). Cotton. In: Irrigation of Agricultural Crops. (Eds.): B.A. Stewart and D.R. Nielsen, Agronomy series no. 30. ASA-CSSA-SSSA, Madison, Wisconsin. 741-773.

Guinn G. (1982). Abscisic acid and abscission of young cotton bolls in relation to water availability and boll load. *Crop Science* 22: 580-583.

Guinn G. and Mauney J. (1984). Fruiting of cotton II. Effects of plant moisture status and active boll load on boll retention. *Agron. J.* 76: 94–98.

Guinn G., Dunlap J. R. and Brummett D. I. (1990). Influence of water deficits on the abscisic acid and indole-3-acetic acid contents of cotton flower buds and flowers. *Plant Physiol.* 93:1117-1120.

Gutstein Y. (1969). Relationship between row spacing, depth of root penetration and water use efficiency and the reproductive yield of dryland cotton. *Qual. Plant Water. Veg.* 17:347-366.

Haigler C. H. (2010). In: Me D., Stewart J., Oosterhuis D., Heilmann J. and Mauney J. (2005). Physiological and anatomical factors determining fiber structure and utility. Springer. 33-47 p.

Hallauer A. R. and Miranda, J. B. (1981). Quantitative genetics in maize breeding, Iowa State Univ., Ames, Iowa, EE.UU. 323-326 p.

Hanson A. D. and Hitz W. D. (1982). Metabolic responses of mesophytes to plant water deficits. *Ann. Rev. PlantPhysiol.* 33: 163-203.

Hearn A. B. (1969). The growth and performance of cotton in a desert environment III. Crop performance. *J. Agric. Sci., Camb.* 73: 87-97.

Hearn A. B. (1972). Cotton spacing experiments in Uganda. *J. Agric. Sci.* 78: 13-25.

Hearn A. B. (1979). Water relationships in cotton. *Outlook in Agriculture.* 10: 159-166.

Hearn A. B. and Room P. M. (1979). Analysis of crop development for cotton pest-management. *Protection Ecology* 1: 265-277.

Hearn A. B. and Constable G. A. (1984). Irrigation for crops in a sub-humid environment: Evaluation of irrigation strategies for cotton. *Irrigation Science* 5: 75-94.

Hearn A. B. (1994). The principles of cotton water relations and their application in management. 66-92 p. In: Constable G.A., and N.W. Forrester (eds.), *Challenging the Future*. Proc. World Cotton Conf. Brisbane, Australia.

Helm A. B. (2000). Yield study report. In: Dugger P. and Richter D. (ed.). Proc. Beltwide Cotton Prod Conf., San Antonio, TX. 4-9 p. Natl. Cotton Council Am., Memphis, TN.

Hidalgo R. (2003). Variabilidad Genética y Caracterización de Especies Vegetales. En Franco, T. L. e Hidalgo, R. (ed.). *Análisis Estadístico de Datos de Caracterización Morfológica de Recursos Fitogenéticos*. Boletín técnico no. 8, Instituto Internacional de Recursos fitogenéticos (IPGRI), Cali, Colombia, 89 p.

Husson F., Josse J. and Pages J. (2010). Principal component methods – hierarchical clustering - partitional clustering: why would we need to choose for visualizing data?. Technical Report – Agrocampus. www.agrocampus-ouest.fr/math/

ICAC. (2009). International Cotton Advisory Committee Technical report world situation of cotton. Washington DC, Estados Unidos de América.

Iqbal K., Azhar F. M., Khan I. A. and Ullah E. (2010). Assessment of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) germplasm under water stress condition. *Int. J. Agric. Biol.*, 12: 251-255.

Iqbal M., Naeem M., Aziz U., Afzal J. and Khan M. A. (2014). An overview of cotton leaf curl virus disease, persistent challenge for cotton production. *Bulg. J. Agric. Sci.*, 20: 405-415

Jaleel C., Manicannan P., Wahid A., Farooq M., Somasundaram R. and Panneerselvam R. (2009) Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *Int. J. Agric. Biol.* 11: 100-105.

Jamal A., Shahid M., Aftab B., Rashid B., Sarwar M., Mohamed B., Hassan S. and Husnain T. (2014). Water stress mediated changes in morphology and physiology of *Gossypium arboreum* (var FDH-786) *Journal of Plant Sciences* 2 (5): 179-186.

Johnson R., Curley R., George A., Mccutcheon O., Walhhod V., Brooks C. and Young P. (1974). Yield potential of short season cotton in narrow rows. *California Agric.* 28 (11): 6-8.

Jordan W. (1970). Growth of cotton seedlings in relation to maximum daily plant-water potential. *Agron. J.* 62: 699-701.

Khan N. U., Hassan G., Marwat K. B., Farhatullah, Batool S., Makhdoom K., Khan I., Khan I. A and Ahmad W. (2009). Genetic variability and heritability in upland cotton. *Pak. J. Bot.*, 41 (4): 1695-1705.

Kaiser W. (1987). Effect of water stress on photosynthesis capacity. *Physiol. Plant.* 71: 142-149.

Kaiser P. J. and Boyer J. S. (1995). *Water relations of plants and soils.* Academic Press, San Diego.

Kaloyereas S. (1958). A new method of determining drought resistance. *Plant Physiol.* 33: 232-233.

Karami E., Krieg D. R., and Quisenberry J. E. (1980). Water relations and carbon-14 assimilation of cotton with different leaf morphology. *Crop Sci.* 20: 421-426.

Kaur R. and Singh O. (1992). Response of growth stages of cotton varieties to moisture stress. *Indian J. Plant Physiol.* 35: 182-185.

Keino J. K., Beyrouthy C. A., Oosterhuis D. M. and Gbur E. E. (1995). Relationship between roots and shoots of irrigated and non-irrigated field-grown cotton. *Proc. Arkansas Cotton Research Meeting and Summaries of Research. Univ. Arkansas Agri. Exp. Sta., Special Report* 172:105-110.

Kerby T. A., Bourland F. M., and Hake K. D. (2010). Physiological rationales in plant monitoring and mapping. Capitulo. 27: In Physiology of Cotton. Ed. James McD. Stewart, Derrick M. Oosterhuis, Lames J. Heitholt, Jack R. Mauney, 304-317 p.

Kiani S., Talia P., Maury P., Gricu P., Heinz R., Perrault A. Nishinakamasu V., Hopp E., Gentzbittel L., Paniego N., Sarrafi A. (2007). Generic analysis of plant water status and osmotic adjustment in recombinant inbred of sunflower under two water treatments. Plant Sci., 172: 773-787.

Ko J. and G. Piccinni. (2009). Corn yield responses under crop evapotranspiration-based irrigation management. Agric. Water Manage, 96:799-808.

Kramer P.J. (1983). Water deficits and plant growth. In: Kramer P.J. (ed.). Water Relations of Plants. Academic Press, New York, 342-389 p.

Kramer, J. K. and Boyer, J. S. (1995). Water Relations of Plants and Soils. Academic Press, California, 495 p.

Krieg D. and Sung F. (1986). Source-sink relationships as affected by water stress. In: Mauney J. R. and Stewart J. M. (eds.) Cotton Physiology. The Cotton Foundation, Memphis, Tenn, 73-78 p.

Krieg D. R. (1997). Genetic and environmental factors affecting productivity of cotton. Proc. Beltwide Cotton Prod. Res. Conf, 1347 p.

Kusaka M., Ohta M. and Fujimura T. (2005). Contribution of inorganic components to osmotic adjustment and leaf folding for drought tolerance in pearl millet. Physiol. Plant. 125: 474-489.

Lacape M. J, Wery J. and Annerosa D.J. M. (1998). Relationship between plant and soil water status in five field-growing cotton (*Gossypium hirsutum* L.) cultivars. Field Crops Research, 57:29-48.

Larramendy J. C. and Pellegrino L. A. (2005). El algodón ¿una oportunidad perdida?. Eds Al Margen, Bs.As. ISBN 987-1125-61-5, 212 p.

Le Houerou H. N. (1996). Climate changes, drought and desertification. *J. Arid. Environ.* 34:133-185.

Ledesma L. L., Barbona S. A., Melgratti de Inalbon M. R., Sayago J. M., Margosa L. A., Rodriguez, F. J., Enriquez O. y de Fantin L. M. (1973). Introducción al conocimiento de los suelos del Chaco. Convenio INTA MAG del Chaco, 158 p.

Lewitt J. (1980). Responses of plants to environmental stress. Vol. II. Water, Radiation, Salt and Others. Academic Press, New York, 395-434 p.

Longenberger P. S., Smith C. W, Thaxton P. S., McMichael B. L. (2006). Development of a screening method for drought tolerance in cotton seedlings. *Crop Sci.*, 46:2104-2110.

Loomis R. S. and Connor D. J. (1992). *Crop Ecology*. Ed. Cambridge University Press, 538 p.

López J. A. e Hidalgo, M. D. (1994). Análisis de componentes principales y análisis factorial. En: Ato, M. y López, J. J. (eds.). *Fundamentos de estadística con Systat*. Addison Wesley Iberoamericana, 457-503 p.

Low A., Hesketh J. D. and Muramoto H. (1969). Some environmental effects on the varietal node number of the first fruiting branch. *Cot. Grow. Rev.* 46:181-188.

Luna-Flores W., Estrada-Medina H., Jiménez-Osornio J. y Pinzón-López J. (2012). Efecto del estrés hídrico sobre el crecimiento y eficiencia del uso del agua en plántulas de tres especies arbóreas caducifolias. *Terra Latinoamericana*. 30 (4):343-353.

Lüttge U. (2004). Ecophysiology of crassulacean acid metabolism. *Ann. Bot.* 93: 629-652.

Lv S., Yang A., Zhang K., Wang L. and Zhang J. (2007). Increase of glycinebetaine synthesis improves drought tolerance in cotton. *Mol. Breed.* 20:233-248.

Lynch J. and Brown K. (2012). New roots for agriculture: exploiting the root phenome. *Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. B.* 367:1598-1604.

Mahmood S., Irfan M., Raheel F. and Hussain A. (2006). Characterization of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) varieties for growth and productivity traits under water deficit conditions. *Int. J. Agric. Biol.*, 8: 796-800.

Mahmud A. A., Hossain A., Mamun A., Shamimuzzaman, Habib E., Rahaman S., Khan S. A., Bazzaz M. (2014). Plant Canopy, Tuber Yield and Growth Analysis of Potato under Moderate and Severe Drought Condition. *Journal of Plant Sciences*. Vol. 2, No. 5: 201-208.

Malik T. A. and Wright D. (1997). Use of net photosynthesis and water-use-efficiency in breeding wheat for drought resistance. *Pak. J. Bot.*, 29 (2): 337-346.

Manivannan P., Jaleel C., Kishorekumar A., Sankar B., Somasundaram R., Sridharan R. and Panneerselvam R. (2007a). Changes in antioxidant metabolism of *Vigna unguiculata* (L.)Walp.by propiconazole under water deficit stress. *Colloids Surf. B: Biointerfaces* 57: 69-74.

Manivannan P., Jaleel C., Sankar B., Kishorekumar A., Somasundaram R., Alagu Lakshmanan G.and Panneerselvam R. (2007b). Growth, biochemical modifications and proline metabolism in *Helianthus annuus* L. as induced by drought stress. *Colloids Surf. B: Biointerfaces* 59: 141-149.

Manivannan P., Jaleel C., Somasundaram R. and Panneerselvam R. (2008). Osmoregulation and antioxidant metabolism in drought stressed *Helianthus annuus* under triadimefon drenching. *Comp. Rend. Biol.* 331: 418-425.

Mariotti J. A. (1986). *Fundamentos de genética biometría. Aplicaciones al mejoramiento genético vegetal*, 152 p.

Maroco J. P., Pereira J. S. and Chaves M . M. (1997). Stomatal responses to leaf-to-air vapor pressure deficit in Sahelian species. *Aust. J. Plant Physiol.* 24:381-387.

Maseda P. and Fernández R. (2006). Stay wet or else: three ways in which plants can adjust hydraulically to their environment. *J. Experimental Botany* 57 (15): 3963-3977.

Mauney J. R. (1966). Floral initiation of upland cotton *Gossypium hirsutum* L. in response to temperatura. J. Expet. Bot. 17: 453-459.

McMichael B. L. (1990). Root-shoot relationships in cotton. 232-251 p. In: J.E. Box and L.C. Hammond (Eds.). Rhizosphere Dynamics. Westview Press: Boulder, Colo.

McMichael B. L. and Hesketh J. D. (1982). Field investigations of the response of cotton to water deficits. Field Crops Res. 5: 319-333.

McMichael B. L. and Quisenberry J. E. (1991). Genetic variation for root-shoot relationships among cotton germplasm. Environ. Exp. Bot. 31: 461-470.

McMichael B. L., Oosterhuis D. M., Zack J. C and C. A. Beyrouthy. (1999). Growth and development of root system, in J.M. Stewart, D.M. Oosterhuis, and J. Heitholt (eds.), Cotton Physiology. Book II. National Cotton Council, Memphis, TN.

McWilliams D. (2003). Drought strategies for cotton. En: New Mexico State University Cooperative Extension Service. Circular 582. College of Agriculture and Home Economics, New Mexico State Univ., Las Cruces, NM., 5 p.

McWilliams D. (2004). Drought Strategies for Cotton. Cooperative Extension Service Circular 582 College of Agriculture and Home Economics.

Medrano H., Bota J., Cifre J., Flexas J., Ribas-Carbó M. y Gulías J. (2007). Eficiencia en el uso del agua por las plantas. Grupo de Biología de las plantas en condiciones del Mediterráneo. Departamento de Biología Universidad de les Illes Balears- IMEDEA Investigaciones. Geográficas, nº 43: 63-84.

Meyer W. and Walker S. (1981). Leaflet orientation in water-stressed soybeans. Agronomy Journal, 73:1071-4.

Meredith W. (2000). Cotton yield progress – Why has it reached a plateau? Better Crops 84: 6-9.

Meziane D. and Shipley B. (1999). Interacting determinants of specific leaf area in 22 herbaceous species: effects of irradiance and nutrient availability. *Plant, Cell and Environment* 22: 447-459.

Milthorpe F. L. y Moorby J. (1982). *Introducción a la fisiología de los cultivos*. (Ed.) Hemisferio Sur, 259 p.

Millar A. A., Gardner W. R., Goltz S. M. (1971). Internal water status and water transport in seed onion plants. *Agronomy Journal* 63: 779-784.

Möller M., Alchanatis V., Meron M., Tsipris J., Naor A., Ostrovsky V., Sprintsin M., Choen S. (2007). Use of thermal and visible imagery for estimating crop water status of irrigated grapevine. *J Exp. Bot.* 827-838.

Mondino M. y Peterlin O. (2006). Algodón. Cultivos industriales. (Ed.) Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Cap. 3-3: 359-365.

Moreshet S., Fuchs M., Cohen Y., Cohen Y. y Langensiepe M. (1996). Water transport characteristics of cotton as affected by drip irrigation layout. *Agron. J.* 88: 717-722.

Moreno-Fonseca L. P. (2009). A review: Plant responses to water deficit stress. Departamento de Agronomía, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 17 p.

Morris D. (1964). Variation in the boll maturation period of cotton. *Emp. Cott. Gr. Rev.* 44: 2-22.

Muhammad Z. A., Muhammad S. M., Hidayatullah B., Abdul Wahab S., Faiz H. R, Abdul Razzaque C. and Karim B. S. (2015). Genetic variability, coefficient of variance, heritability and genetic advance of some *Gossypium hirsutum* L. accessions. *African Journal of Plant Science* 8 (1): 1-5.

Munns R. and Tester M. (2008). Mechanisms of Salinity Tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59: 651- 81.

Nayyar H. and Gupta D. (2006). Differential sensitivity of C₃ and C₄ plants to water deficit stress: association with oxidative stress and antioxidants. *Environ. Exp. Bot.* 58: 106-113.

Nepomuceno A. L., Oosterhuis D. M. and Stewart J. M. (1998). Physiological responses of cotton leaves and roots to water deficit induced by polyethylene glycol. *Env. Exp. Bot.* 40: 29-41.

Niles G. A. and Feaster C. V. (1984). "Breeding". In: Kohel R. J. and Lewis, C. F. (1984). Cotton, eds. Cotton Agronomy Series No. 2. Madison, WI: American Society of Agronomy: 202-231.

Nilsen E. T. and Orcutt D. M. (1996). Physiology of plants under stress.. Vol 1: Abiotic factors. John Wiley and Sons, New York, NY., 704 p.

Nobel P. S. (1983). Biophysical plant physiology and ecology. W.H. Freeman and Co., San Francisco /New York, 608 p.

Nogueira R. J. M. C (1997). Expressões fisiológicas da aceroleira (*Malpighia emarginata* D.C.) em condições adversas. [Tese Doutorado], UFSCar, São Carlos, SP. 207 p.

Nogueira R. J. M. C., Santos R. C., Bezerra Neto E., Santos V. F. (1998). Comportamento fisiológico de duas cultivares de amendoim submetidas a diferentes regimes hídricos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 33 (12): 1963-1969.

Nooden L. (1988) .The phenomena of senescence and aging. En: Nooden LD y Leopald AC, (eds.) Senescence and Aging in plants. San Diego: Academic Press; 1-50 p.

Novick G. (2004). Manual técnico de algodón –primera etapa del cultivo. Genetica Mandiyú. Bayer CropScience, 32 p.

Oliveira M. (1996). Comportamento fisiológico de plantas jovens de acerola, carambola, pitanga, cupuaçu, graviola, pupunha e biribá en función de la disponibilidad de água. Mestrado, UFLA, Lavras, MG., 67 p.

Oosterhuis D., Bourland F., Tugwell N. and Cochran M. (1996). Terminology and concepts related to the COTMAN crop monitoring system. University of Arkansas Agricultural Experiment Station Special Report 174, 20 p.

Pace P., Cralle H., El-Halawany S., Cothren J. and Senseman S. (1999). Drought-induced changes in shoot and root growth of young cotton plants. *The Journal of Cotton Science* 3: 183-187.

Pagán Rubio E. (2012). Uso de indicadores del estado hídrico de la planta para la optimización del riego en cultivos leñosos. [Tesis Doctoral Departamento de Producción Vegetal] Universidad Politécnica de Cartagena.

Parida A., Dagaonkar V., Phalak M. and Aurangabadkar I. (2008). Differential responses of the enzymes involved in proline biosynthesis and degradation in drought tolerant and sensitive cotton genotypes during drought stress and recovery. *Acta Physiol. Plant.* 30: 619-627.

Parolin P. (2001). Morphological and physiological adjustments to water logging and drought in seedlings of Amazonian flood plain trees. *Oecologia* 128: 326–335.

Parkhi V., Kumar V., Sunilkumar G., Campbell L. M., Rathore K. S. (2009). Expression of apoplastically secreted tobacco osmotin in cotton confers drought tolerance. *Springer Science* 23: 625–639.

Paytas M. (2009). Early water stress on growth, development and yield of high retention cotton. [PhD thesis]. The University of Queensland, Australia.

Paytas M. (2010). Improving cotton yield under water limiting conditions in Argentina. En: ICAC Recorder International Cotton Advisory Committee. Vol XXVIII No. 2. Washington OC, Estados Unidos, 577 p.

Paytas M. y Ploschuk E. (2013). Algodón. Capítulo 3.3. En: cultivos industriales/De la Fuente E., Gil A., kantolil-1ª ed. Buenos Aires: Editorial Facultad de Agronomía, 414-445 p.

Paytas M., Yeates S. and Fukai S. (2011a). Impact in different levels the water availability at pre-lowering in high retention at cotton. In: Indian Society for Cotton Improvement. WCRC-5. India, 309 p.

Paytas M., Mieres L., Reganot A. y Gregoret O. (2011b). Algodón en surcos estrechos: ¿podemos aumentar el rendimiento mediante la mejora en la oferta de asimilados? Revista de Ciencia y Tecnología de los Cultivos Industriales N°2. INTA. Argentina.

Paytas M., Mieres L., Agretti S., Dyke F. y Gregoret O. (2012). Algodón riego y fertilización en condiciones subtropicales. Publicación anual APPA 2011-12. N°12.

Paytas M., Mieres L., Longhi T., Agretti S., Deyke F. y Gregoret O. (2014). Evaluación de diferentes estrategias de de riego y su efecto en los componentes de rendimiento de algodón. Publicación anual APPA 2013-14. N°14: 30-33.

Percival A., Wendel J. and Stewart J. (1999). Taxonomy and germplasm resources. In: Smith C. W. and Cothren J. T. (eds.) Cotton: Origin, history, technology, and production. John Wiley & Sons, New York. 33-64.

Percy R. G., Lu Z., Radin J. W., Turcotte E. L. and Zeiger E. (1996). Inheritance of stomatal conductance in cotton (*Gossypium barbadense* L.). *Physiol. Plant.* 96: 389-394

Pérez Pelea L., Sigarroa González A., Rodríguez Medina N. N., Bandera Fernández E., Valdés-Infante Herrero J. (2013). Estimación de la heredabilidad en sentido ancho a caracteres de importancia agrícola evaluados en una población de guayabo (*Psidium guajava* L.). *Cultivos Tropicales*, vol. 34, no. 1: 66-73.

Perumal N. K., Hebbar K. B and Kairon M. S. (2000). Abiotic Stresses in Cotton - A Physiological approach, *Boletines Técnicos* N° 2.

Pettigrew W. T., Heitholt J. J. and Vaughn K.C. (1993). Gas exchange differences and comparative anatomy among cotton leaf-type isolines. *Crop Sci.* 33:1295-1299.

Pettigrew W. (2004a) .Physiological consequences of moisture deficit stress in cotton. *Crop Sci.* 44:1265-1272.

Pettigrew W. (2004b). Moisture deficit effects on cotton lint yield, yield components, and boll distribution. *Agron. J.* 96: 377–383.

Pilon C., Oosterhuis D. and Loka D. (2012). Effect of Water-Deficit Stress on Photosystem II Thermosensitivity in Cotton. En: DM Oosterhuis (ed.) *Summaries of Arkansas Cotton Research*. Arkansas Agricultural Experiment Station, University of Arkansas System - Division of Agriculture. Arkansas, 31-35 p.

Pla L. E. (1986). *Análisis multivariado: Método de componentes principales*. Secretaría de la Organización de Estados Americanos (OEA). Washington, D.C. 94 p.

Plaut Z., Carmi A. and Grava A. (1996). Cotton root and shoot response to subsurface drip irrigation and partial wetting of the upper soil profile. *Irrig. Sci.* 16 (3): 107-113.

Poehlman J. M. y Allen D. S. (2003). *Mejoramiento genético de las cosechas*. Editorial Limusa, S.A. 511 p.

Poisson J. (2002). *Breve Historia de la Producción de Algodón en la Argentina*. SAGPyA, INTA.

Potters G., Pasternak T. P., Guisez Y., Palme K. J. and Jansen M. A. K. (2007). Stress-induced morphogenic responses: growing out of trouble? *Trends Plant Sci.* 12(3), 99-105.

Prasch C. and Sonnewald U. (2013). Simultaneous application of heat, drought, and virus to *Arabidopsis* plants reveals significant shifts in signaling networks. *Plant Physiology* 162: 1849–1866.

Preetha S. and Raveendran T. S. (2007). Genetic variability and association analysis in three different morphological groups of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Asian J. Plant Sci.*, 6: 122-12.

Prior S., Rogers H., Runion G., Kimball B., Mauney J., Lewin K., Nagy J. and Hendry G. (1995). Free-air carbon dioxide enrichment of cotton: root morphological characteristics. *J. Environ. Qual.* 24 (4): 678-683.

Qadir, M. and Shams M. (1997). Some agronomic and physiological aspects of salt tolerance in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science* 179: 101-106.

Quisenberry J. and Roark B. (1976). Influence of indeterminate growth habit on yield and irrigation water use efficiency in upland cotton. *Crop Sci.* 16: 762-765.

Quisenberry J., Jordan W., Roark B. and Fryrear D. (1981). Exotic cottons as genetic sources for drought resistance. *Crop Sci.* 21: 889-895.

Quisenberry J., Roark B. and McMichael B. (1982). Use of transpiration decline curves to identify drought-tolerant cotton germplasm. *Crop Sci.* 22: 918-922.

Quisenberry J. E., Cartwright G., McMichael B. L. (1984). Genetic relationship between turgor maintenance and growth in cotton germplasm. *Crop Sci* 24: 479-482.

Quisenberry J. E. , Wendt C., Berlin J. and McMichael B. L. (1985). Potential for using leaf turgidity to select drought tolerance in cotton. *Crop Sci.* 25: 294-299.

Quisenberry J. E., and McMichael B. L. (1991). Genetic variation among cotton germplasm for water-use efficiency. *Environ. Exp. Bot.* 31: 453-460.

Radin J. W. (1984). stomatal responses to water stress and to abscisic acid in phosphorus-deficient cotton plants. *Plant Physiol.* 76 (2): 392-394.

R, Development Core Team (2011) R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Available at <<http://www.R-project.org/>> Assessed in April 2011.

Radin J. W., Reaves, L. L., Mauney, J. R. and French, O. F., (1992). Yield enhancement in cotton by frequent irrigations during fruiting. *Agron. J.*, 84: 551-557.

Radin J. W., Lu Z., Percy R. G., Zeiger E. (1994). Genetic variability for stomatal conductance in Pima cotton and its relation to improvements of heat adaptation. *Proceedings of the National Academy of Science, USA.* 91: 7217-7221.

Rahman H. (2005). Genetic analysis of stomatal conductance in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) under contrasting temperature regimes. *The Journal of Agricultural Science* 143 (2-3): 161-168.

Reynolds M., Pask A., Mullan D. y Chavez Dulanto P. (2012). *Fitomejoramiento Fisiológico I: Enfoque interdisciplinarios para mejorar la adaptación del cultivo*. México, D.F., CIMMYT, 174 p.

RIAN (2011). *Chaco – Formosa: Informe Agropecuario por departamentos*, 6 p.

Richards R., Rawson H. and Jhonson D. (1986). Glaucousness in wheat: Its development and affect on water-use efficiency, gas exchange and photosynthetic tissue temperatures. *Austral. J. Plant Physiol.* 13: 465-473.

Rijks D. A. (1967). Water use by irrigated cotton in Sudan I: Reflection of short-wave radiation. *Journal of Applied Ecology*, London, V.4, pp.561-568.

Roark B. and. Quisenberry J. E. (1977). Evaluation of cotton germplasm for drought resistance. p. 49-50. In *Proc. Beltwide Cotton Prod. Conf.. Natl. Cotton Coun. Memphis, TN, USA*.

Robinson J. (1988). Does O₂ production occur within chloroplasts in vivo? *Physiol. Plant.* 72: 666-680.

Rofman A. (1999). Economías regionales. Modernización productiva y exclusión social en las economías regionales. *Revista Realidad económica* N° 162. Buenos Aires, IADE.

Royo O. (1998). Catálogo 1998, Colección de Algodón, Banco de Germoplasma EEA Sáenz Peña, Informaciones Técnicas, Áreas de Genética y Protección Vegetal, Serie: Genética N° 1, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Centro Regional Chaco-Formosa, Estación Experimental Agropecuaria, Pres. Roque Sáenz Peña, 127 p.

Sacks M., Silk W. and Burman P. (1997). Effect of water stress on cortical cell division rates within the apical meristem of primary roots of maize. *Plant Physiol.* 114: 519–527.

Sadras V. (1995). Compensatory growth in cotton after loss of reproductive-organs. *Field Crops Research* 40: 1-18.

Said E. (2003). Component limitations to photosynthesis of cotton under drought stress. [Thesis Master of Science] Faculty of The University of Georgia. Athens, Georgia, 72 p.

Salisbury F. and Ross C. (1985). *Plant Physiology*. 3th Ed. Wadsworth. California, USA, 540 p.

Saranga Y., Sass N., Tal Y. and Yucha R. (1998). Drought conditions induce mote formation in interspecific cotton hybrids. *Field Crop Res.* 55:225-234.

Schonfeld M., Johnson R., and Carver B. (1988). Water relations in winter wheat as drought resistance indicators. *Crop Sci* 28: 526–553.

Schulze E. D. (1986). Whole-plant responses to drought. *Aust. J. Plant Physiol.* 13:127-141

Searle S. (1971). *Linear models*. John Willey and Sons. New York. 560 p.

Shahenshah and Isoda A. (2010). Effects of water stress on leaf temperature and chlorophyll fluorescence parameters in cotton and peanut, *Plant Prod. Sci.* (3): 269-278.

Shao H., Chu L., Shao M., Abdul Jaleel C. and Hong-Mei M. (2008). Higher plant antioxidants and redox signaling under environmental stresses. *Comp. Rend. Biol.* 331: 433-441.

Siddique K., Tennant D., Perry M. and Belford R. (1990). Water use and water use efficiency of old and modern wheat cultivars in a Mediterranean type environment. *Aust. J. Agric. Res.* 41: 431-447.

Sikuku P., Netond G., Onyango J. and Musyimi D. (2010). Effects of water deficit on physiology and morphology of three varieties of nerica rainfed rice (*Oryza sativa* L.). *ARP Journal of Agricultural and Biological Science.* 5: 23-29.

Silva-Robledo H., Ortiz-Lizana M. and acevedo-Hinojosa E. (2007). Relaciones hídricas y ajuste osmótico en trigo. *Agrociencia* 41 (1): 23-34.

Sinclair T. and Ludlow M. (1985). Who taught plants thermodynamics? The unfulfilled potential of plant water potential. *Australian Journal of Plant Physiology* 12: 213-227.

Sinclair T. R., Allen Jr L. H. (1982). Carbon dioxide and water vapour exchange of leaves on field-grown citrus trees. *J. Exp. Bot.* 33:1166-1175.

Singh, M. (1980) Genetic of some quantitative characters in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Indian J. Agric. Sci.*, 50: 106–7 (Pl. Br. Abst., 51: 10716; 1981).

Sivukumar M. and Shaw R. (1978). Relative evaluation of water stress indicators of soybeans. *Agron. J.* 70: 619-623.

Slavik, B. (1974). *Methods of studying Plant-Water Relations*. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg-New York, and Academia, Prague. 449 p.

Sokal R. and Sneath P. (1963). *Principles of Numerical Taxonomy*. WH Freeman & Co. 359 p.

Sun Y., Niu G., Zhang J. and Del Valle P. (2015). Growth Responses of an Interspecific Cotton Breeding Line and Its Parents to Controlled Drought Using an Automated Irrigation System. *Journal of Cotton Science* 19: 290–297.

Taiz L. and Zeiger E. (2010). Stress physiology. En: *Plant Physiology*. Vol 2. Sinauer Associates, Sunderland, 1265 p.

Tcach M., Ibaló. S., Bonacic. I., Ojeda. D. y Montenegro A. (2010). Selección de Líneas de algodón para sistemas de alta densidad de plantas. *Memoria Técnica INTA*, 5 p.

Turner N., Hearn A., Begg J. and Constable G. (1986). Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) Physiological and morphological responses to water deficits and their relationship to yield. Field Crops Res. 14: 153-170.

Ulloa M., Cantrell R. G., Percy R. G, Zeiger E. and Lu Z. (2000). QTL Analysis of Stomatal Conductance and Relationship to Lint Yield in an Interspecific Cotton. Journal of Cotton Science 4:10-18

Upreti K., Murthi G. and Bhatt R. (1997). Response of French bean cultivars to water deficits: Changes in endogenous hormones, proline and chlorophyll. Biol. Plant. 40: 381-388.

USDA. (2012). World cotton production. Technical report. Estados Unidos de América. www.pecad.fas.usda.gov

Vile D., Garnier E., Shipley B., Laurent G., Navas M., Roumet C., Lavorel S., Díaz S., Hodgson J., Lloret F., Midgley G., Porter H., Rutherford M., Wilson P. and Wright I. (2005). Specific leaf area and dry matter content estimate thickness in laminar leaves. Annals of Botany 96: 1129-1136.

Waddle B. (1984). Crop Growing Practices. En: RJ Kohel y CF Lewis (eds.) Cotton. American Society of Agronomy, Madison, USA. 234-263 p.

Wakelyn P. J. and Chaudhry M. R. (2010). Cotton: Technology for the 21st Century. International Cotton Advisory Committee, 227-250 p.

Wells R. and Meredith Jr W. R. (1986). Okra leaf normal leaf yield interactions. II. Analysis of vegetative and reproductive growth. Crop Sci 26: 219-228.

Wen Y., Rowland D. L., Piccinni G., Cothren J. T, Leskovar D. I., Kemanian A. R. and Woodard J. D. (2013). Lint yield, lint quality, and economic returns of cotton production under traditional and regulated deficit irrigation schemes in Southwest Texas. J.Cotton Sci. 17:10-22.

Wendel J., Brubaker C. and Seelanan T. (2010). The Origin and evolution *Gossypium*. En: Stewart M. C. D., Oosterhuis J. D., Heilhort J. and Mauney J. (eds.). Physiology in Cotton. Springer. 1-18 p.

Wilson R., Burke J. and Quisenberry J. (1987). Plant morphological and biochemical responses to field water deficits. II. Responses of leaf glycerolipid composition in cotton. *Plant Physiol.* 84: 251-254.

Wullschlegel S. D., Yin T. M., DiFazio S. P., Tschaplinski T. J., Gunter L. E., Davis M. F. and Tuskan G. A. (2005). Phenotypic variation in growth and biomass distribution for two advanced-generation pedigrees of hybrid poplar. *Canadian J. For. Res.*, 35: 1779-1789.

X P. E. (2012). Evaluación de la tolerancia al estrés salino en etapas de germinación y crecimiento inicial, en siete genotipos de algodón *Gossypium hirsutum* L., coleccionados por el banco de germoplasma del INTA. (Tesis grado) Licenciatura en Genética. Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales (UNM), 60 p.

Yazar A., Sezen S. M. and Sesveren S. (2002). LEPA and trickle irrigation of cotton in the Southeast Anatolia Project (GAP) area in Turkey. *Agric. Water Manage.* 54 (3): 189-203.

Yfoulis A. and Fasoulas A. (1978). Role of minimum and maximum environmental temperature on maturation period of the cotton boll. *Agron. J.* 70: 421-425.

Zeevaart J. A. D. and Creelmen R. A. (1988). Metabolism and physiology of abscisic acid. *Annu Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 38: 439-473.

Zhang M., Duan L., Zhai Z., Li J, Tian X., Wang B., He Z. and Li, Z. (2004). Effects of plant growth regulators on water deficit-induced yield loss in soybean. *Proceedings of the 4th International Crop Science Congress, Brisbane, Australia.*

Ziskal L. H., Namuco O., Mayo T., Quilling J. (1997). Growth and yield response of field grown tropical ricito increasing carbon dioxide and air temperature. *Agronomy Journal*, Vol. 89: 45-53.

VIII ANEXOS

VIII.1 Anexo I. Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento*Entrada en la variable conductancia estomáca- Test LSD Fisher (Alfa=0,05)

Tratamiento	Entrada	Medias		E.E
Sin estrés	BGSP 799	269,25	A*	35,99
Sin estrés	BGSP 507	253,32	A	35,99
Sin estrés	BGSP 803	228,45	AB	35,99
Sin estrés	BGSP 805	192,80	ABC	35,99
Sin estrés	BGSP 765	179,75	ABCD	35,99
Sin estrés	BGSP 156	142,92	BCDE	35,99
Sin estrés	BGSP 804	135,17	BCDE	35,99
Sin estrés	BGSP 392	128,35	CDE	35,99
Sin estrés	BGSP 716	115,60	CDE	35,99
Sin estrés	BGSP 463	107,83	CDEF	35,99
Sin estrés	BGSP 514	99,55	CDEF	35,99
Sin estrés	SP 48114	97,48	CDEF	35,99
Sin estrés	BGSP 735	97,15	CDEF	35,99
Sin estrés	BGSP 475	91,52	DEF	35,99
Sin estrés	BGSP 43	87,22	DEF	35,99
Sin estrés	BGSP 52	85,87	DEF	35,99
Sin estrés	BGSP 715	67,23	EFG	35,99
Sin estrés	BGSP 73	61,63	EFG	35,99
Sin estrés	BGSP 67	53,98	EFG	35,99
Sin estrés	BGSP 750	12,28	G	35,99
Con estrés	SP 48114	11,55	G	3,61
Con estrés	BGSP 507	7,05	G	3,61
Con estrés	BGSP 43	6,30	G	3,61
Con estrés	BGSP 475	4,88	G	3,61
Con estrés	BGSP 735	4,30	G	3,61
Con estrés	BGSP 765	3,68	G	3,61
Con estrés	BGSP 463	3,53	G	3,61
Con estrés	BGSP 803	3,28	G	3,61
Con estrés	BGSP 392	3,10	G	3,61
Con estrés	BGSP 67	3,08	G	3,61
Con estrés	BGSP 156	2,95	G	3,61
Con estrés	BGSP 716	2,82	G	3,61
Con estrés	BGSP 805	2,73	G	3,61
Con estrés	BGSP 750	2,60	G	3,61
Con estrés	BGSP 715	2,55	G	3,61
Con estrés	BGSP 73	2,50	G	3,61
Con estrés	BGSP 804	2,50	G	3,61
Con estrés	BGSP 799	2,38	G	3,61
Con estrés	BGSP 514	2,32	G	3,61
Con estrés	BGSP 52	2,32	G	3,61

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

VIII.2 Anexo II. Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento*Entrada en la variable contenido de agua relativo- Test LSD Fisher (Alfa=0.05)

Tratamiento	Entrada	Medias		E.E
Sin estrés	BGSP 52	90,20	A*	5,16
Sin estrés	BGSP 799	88,07	AB	5,16
Sin estrés	BGSP 507	85,44	AB	5,16
Sin estrés	SP 48114	84,59	AB	5,16
Sin estrés	BGSP 392	84,35	AB	5,16
Sin estrés	BGSP 67	84,17	AB	5,16
Sin estrés	BGSP 514	83,37	AB	5,16
Sin estrés	BGSP 803	83,21	AB	5,16
Sin estrés	BGSP 156	83,17	AB	5,16
Sin estrés	BGSP 805	82,75	AB	5,16
Sin estrés	BGSP 750	81,65	AB	5,16
Sin estrés	BGSP 735	81,08	AB	5,16
Sin estrés	BGSP 475	80,77	AB	5,16
Sin estrés	BGSP 73	80,58	AB	5,16
Sin estrés	BGSP 804	80,53	AB	5,16
Sin estrés	BGSP 716	79,20	BC	5,16
Sin estrés	BGSP 765	78,83	BC	5,16
Sin estrés	BGSP 463	78,13	BC	5,16
Sin estrés	BGSP 43	77,35	BC	5,16
Sin estrés	BGSP 715	68,46	C	5,16
Con estrés	BGSP 43	52,81	D	5,16
Con estrés	BGSP 514	52,65	D	5,16
Con estrés	SP 48114	52,32	D	5,16
Con estrés	BGSP 67	51,58	DE	5,16
Con estrés	BGSP 475	50,94	DEFG	5,16
Con estrés	BGSP 803	50,00	DEFG	5,16
Con estrés	BGSP 507	48,50	DEFG	5,16
Con estrés	BGSP 804	48,19	DEFG	5,16
Con estrés	BGSP 735	46,96	DEFG	5,16
Con estrés	BGSP 463	43,86	DEFGH	5,16
Con estrés	BGSP 715	43,28	DEFGH	5,16
Con estrés	BGSP 799	41,46	EFGHI	5,16
Con estrés	BGSP 156	41,05	EFGHI	5,16
Con estrés	BGSP 765	40,98	FGHI	5,16
Con estrés	BGSP 716	40,76	FGHI	5,16
Con estrés	BGSP 73	40,57	FGHI	5,16
Con estrés	BGSP 392	38,34	GHI	5,16
Con estrés	BGSP 52	37,80	GHI	5,16
Con estrés	BGSP 750	33,41	HI	5,16
Con estrés	BGSP 805	30,90	I	5,16

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

VIII.3 Anexo III. Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento*Entrada en la variable altura de planta en el primer episodio de estrés - Test LSD Fisher (Alfa=0,05)

Tratamiento	Entrada	Medias		E.E
Sin estrés	BGSP 765	93,00	A*	3,76
Sin estrés	BGSP 67	93,00	A	3,76
Sin estrés	BGSP 735	91,76	A	3,76
Sin estrés	BGSP 750	91,25	A	3,76
Sin estrés	BGSP 804	90,75	A	3,76
Sin estrés	BGSP 805	89,00	AB	3,76
Sin estrés	SP 48114	87,25	ABC	3,76
Sin estrés	BGSP 392	87,25	ABC	3,76
Sin estrés	BGSP 514	86,00	ABC	3,76
Sin estrés	BGSP 715	85,50	ABC	3,76
Sin estrés	BGSP 803	84,50	ABCD	3,76
Sin estrés	BGSP 507	84,50	ABCD	3,76
Sin estrés	BGSP 43	80,00	BCDE	3,76
Con estrés	BGSP 765	79,50	BCDEF	3,76
Sin estrés	BGSP 716	79,50	BCDEF	3,76
Con estrés	SP 48114	79,50	BCDEF	3,76
Sin estrés	BGSP 156	79,25	BCDEF	3,76
Sin estrés	BGSP 475	77,50	CDEFG	3,76
Sin estrés	BGSP 463	74,75	DEFGH	3,76
Con estrés	BGSP 803	74,25	EFGHI	3,76
Sin estrés	BGSP 799	73,75	EFGHIJK	3,76
Con estrés	BGSP 804	73,25	EFGHIJ	3,76
Con estrés	BGS 750	72,00	EFGHIJK	3,76
Con estrés	BGSP 716	71,50	EFGHIJK	3,76
Con estrés	BGSP 156	71,25	EFGHIJKL	3,76
Sin estrés	BGSP 52	70,00	FGHIJKL	3,76
Con estrés	BGSP 67	70,00	FGHIJKL	3,76
Con estrés	BGSP 52	68,75	GHIJKL	3,76
Sin estrés	BGSP 73	68,00	GHIJKL	3,76
Con estrés	BGSP 514	68,00	GHIJKL	3,76
Con estrés	BGSP 392	67,00	HIJKLM	3,76
Con estrés	BGSP 735	66,25	HIJKLMN	3,76
Con estrés	BGSP 507	64,50	IJKLMN	3,76
Con estrés	BGSP 805	64,25	JKLMN	3,76
Con estrés	BGSP 715	63,25	KLMN	3,76
Con estrés	BGSP 799	62,25	KLMN	3,76
Con estrés	BGSP 463	61,00	LMN	3,76
Con estrés	BGSP 43	60,50	LMN	3,76
Con estrés	BGSP 475	57,50	MN	3,76
Con estrés	BGSP 73	55,75	N	3,76

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

VIII.4 Anexo IV. Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento*Entrada en la variable área foliar en el primer episodio de estrés hídrico- Test LSD Fisher (Alfa=0,05)

Tratamiento	Entrada	Medias		E.E
Sin estrés	BGSP 765	666,19	A*	32,19
Sin estrés	BGSP 735	614,60	AB	32,19
Sin estrés	BGSP 43	592,03	ABC	32,19
Con estrés	BGSP 43	573,89	BCD	32,19
Sin estrés	BGSP 67	572,44	BCD	32,19
Sin estrés	BGSP 73	535,49	BCDE	32,19
Sin estrés	BGSP 750	526,93	BCDEF	32,19
Sin estrés	SP 48114	522,14	CDEFG	32,19
Sin estrés	BGSP 475	521,39	CDEFG	32,19
Sin estrés	BGSP 805	520,10	CDEFGH	32,19
Con estrés	BGSP 765	511,39	CDEFGHI	32,19
Sin estrés	BGSP 716	510,68	CDEFGHI	32,19
Sin estrés	BGSP 52	498,33	DEFGHIJ	32,19
Sin estrés	BGSP 507	489,49	DEFGHIJK	32,19
Con estrés	BGSP 475	489,38	DEFGHIJK	32,19
Sin estrés	BGSP 392	482,40	EFGHIJKL	32,19
Sin estrés	BGSP 514	481,12	EFGHIJKL	32,19
Con estrés	BGSP 514	480,35	EFGHIJKL	32,19
Con estrés	BGSP 735	477,41	EFGHIJKL	32,19
Con estrés	BGSP 392	456,25	EFGHIJKLM	32,19
Con estrés	BGSP 52	455,11	EFGHIJKLM	32,19
Sin estrés	BGSP 156	444,40	FGHIJKLM	32,19
Con estrés	BGSP 507	439,37	FGHIJKLM	32,19
Con estrés	BGSP 67	438,57	FGHIJKLM	32,19
Sin estrés	BGSP 804	435,63	GHIJKLM	32,19
Con estrés	BGSP 715	431,21	HIJKLMN	32,19
Sin estrés	BGSP 803	430,50	IJKLMN	32,19
Sin estrés	BGSP 463	428,09	IJKLMN	32,19
Sin estrés	BGSP 715	423,46	IJKLMN	32,19
Con estrés	BGSP 803	412,24	JKLMNO	32,19
Con estrés	BGSP 73	412,22	JKLMNO	32,19
Con estrés	BGSP 156	410,77	JKLMNO	32,19
Con estrés	BGSP 750	409,83	JKLMNO	32,19
Con estrés	BGSP 804	403,74	KLMNO	32,19
Con estrés	BGSP 805	402,41	KLMNO	32,19
Con estrés	BGSP 463	398,20	LMNO	32,19
Sin estrés	BGSP 799	381,79	MNO	32,19
Con estrés	BGSP 799	343,04	NO	32,19
Con estrés	BGSP 716	333,77	O	32,19
Con estrés	SP 48114	324,23	O	32,19

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

VIII.5 Anexo V. Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento*Entrada en la variable altura de planta en el segundo episodio de estrés hídrico –Test LSD Fisher (Alfa=0,05)

Tratamiento	Entrada	Media		E.E
Con estrés	BGSP 765	148,00	A*	0,07
Con estrés	BGSP 803	140,00	AB	0,07
Sin estrés	BGSP 765	139,00	ABC	0,07
Con estrés	BGSP 514	136,00	ABCD	0,07
Sin estrés	BGSP 750	136,00	ABCDE	0,07
Sin estrés	BGSP 804	134,00	ABCDE	0,07
Con estrés	BGSP 750	133,00	ABCDEF	0,07
Sin estrés	BGSP 43	133,00	ABCDEF	0,07
Sin estrés	BGSP 67	131,00	ABCDEFG	0,07
Con estrés	SP 48114	130,00	ABCDEFGH	0,07
Sin estrés	SP 48114	130,00	ABCDEFGH	0,07
Con estrés	BGSP 804	129,00	ABCDEFGHI	0,07
Sin estrés	BGSP 735	129,00	BCDEFGHI	0,07
Con estrés	BGSP 735	128,00	BCDEFGHIJ	0,07
Sin estrés	BGSP 805	127,00	BCDEFGHIJK	0,07
Sin estrés	BGSP 716	126,00	BCDEFGHIJK	0,07
Con estrés	BGSP 67	123,00	BCDEFGHIJKL	0,07
Con estrés	BGSP 156	123,00	BCDEFGHIJKL	0,07
Con estrés	BGSP 715	122,00	BCDEFGHIJKL	0,07
Con estrés	BGSP 52	122,00	BCDEFGHIJKL	0,07
Sin estrés	BGSP 514	121,00	CDEFGHIJKL	0,07
Con estrés	BGSP 716	121,00	CDEFGHIJKL	0,07
Con estrés	BGSP 392	118,00	DEFGHIJKLM	0,07
Sin estrés	BGSP 803	118,00	DEFGHIJKLM	0,07
Sin estrés	BGSP 507	118,00	EFGHIJKLM	0,07
Sin estrés	BGSP 392	117,00	EFGHIJKLMN	0,07
Con estrés	BGSP 43	116,00	FGHIJKLMNO	0,07
Sin estrés	BGSP 156	113,00	GHIJKLMNO	0,07
Sin estrés	BGSP 475	113,00	GHIJKLMNO	0,07
Sin estrés	BGSP 715	112,00	HIJKLMNO	0,07
Con estrés	BGSP 475	111,00	IJKLMNO	0,07
Con estrés	BGSP 799	111,00	IJKLMNO	0,07
Con estrés	BGSP 507	110,00	JKLMNO	0,07
Sin estrés	BGSP 799	109,00	KLMNO	0,07
Con estrés	BGSP 463	107,00	LMNO	0,07
Sin estrés	BGSP 52	100,00	MNOP	0,07
Sin estrés	BGSP 73	99,00	NOP	0,07
Sin estrés	BGSP 463	98,00	OP	0,07
Con estrés	BGSP 805	97,00	OP	0,07
Con estrés	BGSP 73	88,00	P	0,07

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

VIII.6 Anexo VI. Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento*Entrada en la variable área foliar en el segundo episodio de estrés hídrico –TestLSD Fisher (Alfa=0,05)

Tratamiento	Entrada	Media		E.E
Sin estrés	BGSP 514	215,50	A*	5,76
Sin estrés	BGSP 475	215,05	A	5,76
Sin estrés	BGSP 73	202,21	AB	5,76
Sin estrés	BGSP 507	195,17	BC	5,76
Sin estrés	BGSP 156	193,09	BCD	5,76
Sin estrés	BGSP 750	191,62	BCD	5,76
Sin estrés	BGSP 67	188,23	BCDE	5,76
Sin estrés	BGSP 715	184,98	CDEF	5,76
Sin estrés	BGSP 805	184,76	CDEF	5,76
Sin estrés	BGSP 765	180,11	CDEFG	5,76
Sin estrés	BGSP 43	179,62	CDEFG	5,76
Sin estrés	BGSP 803	179,03	DEFG	5,76
Sin estrés	BGSP 799	173,14	EFGH	5,76
Sin estrés	BGSP 52	172,85	EFGH	5,76
Sin estrés	BGSP 463	169,95	FGH	5,76
Con estrés	BGSP 750	168,67	GHI	5,76
Sin estrés	BGSP 716	168,50	GHI	5,76
Sin estrés	BGSP 392	167,58	GHIJ	5,76
Sin estrés	SP 48114	167,55	GHIJK	5,76
Con estrés	BGSP 514	167,43	GHIJK	5,76
Sin estrés	BGSP 735	165,88	GHIJKL	5,76
Con estrés	BGSP 765	165,18	GHIJKL	5,76
Con estrés	BGSP 803	163,18	HIJKLM	5,76
Con estrés	BGSP 156	162,37	HIJKLM	5,76
Sin estrés	BGSP 804	161,98	HIJKLMN	5,76
Con estrés	BGSP 799	157,60	HIJKLMN	5,76
Con estrés	SP 48114	157,50	HIJKLMN	5,76
Con estrés	BGSP 804	153,95	IJKLMN	5,76
Con estrés	BGSP 715	153,00	IJKLMN	5,76
Con estrés	BGSP 805	150,07	JKLMN	5,76
Con estrés	BGSP 43	149,96	KLMN	5,76
Con estrés	BGSP 475	149,56	KLMN	5,76
Con estrés	BGSP 463	147,21	LMN	5,76
Con estrés	BGSP 67	146,91	LMN	5,76
Con estrés	BGSP 716	144,25	MNO	5,76
Con estrés	BGSP 392	142,77	MNO	5,76
Con estrés	BGSP 73	141,74	MNO	5,76
Con estrés	BGSP 52	141,08	NO	5,76
Con estrés	BGSP 735	140,33	NO	5,76
Con estrés	BGSP 507	130,49	O	5,76

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

VIII.7 Anexo VII. Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento*Entrada en la variable precocidad después de los tres episodios de estrés hídrico-Test LSD Fisher (Alfa=0,05)

Tratamiento	Entrada	Media		E.E
Con estrés	BGSP 475	100,00	A *	10,38
Sin estrés	BGSP 765	100,00	A	10,38
Con estrés	BGSP 73	100,00	A	10,38
Con estrés	BGSP 716	97,00	AB	10,38
Con estrés	BGSP 67	95,75	AB	10,38
Sin estrés	BGSP 475	95,50	AB	10,38
Con estrés	BGSP 52	95,00	AB	10,38
Sin estrés	BGSP 750	95,00	AB	10,38
Sin estrés	SP 48114	94,50	AB	10,38
Sin estrés	BGSP 735	93,75	AB	10,38
Sin estrés	BGSP 805	92,25	ABC	10,38
Sin estrés	BGSP 43	91,75	ABCD	10,38
Sin estrés	BGSP 52	90,75	ABCD	10,38
Sin estrés	BGSP 804	90,75	ABCD	10,38
Sin estrés	BGSP 392	87,50	ABCD	10,38
Sin estrés	BGSP 716	87,50	ABCD	10,38
Sin estrés	BGSP 67	85,50	ABCDE	10,38
Sin estrés	BGSP 73	85,00	ABCDE	10,38
Con estrés	BGSP 463	82,75	ABCDEF	10,38
Con estrés	BGSP 514	82,25	ABCDEF	10,38
Con estrés	BGSP 799	81,75	ABCDEF	10,38
Con estrés	BGSP 765	81,00	ABCDEF	10,38
Sin estrés	BGSP 803	79,00	ABCDEFG	10,38
Con estrés	BGSP 750	78,75	ABCDEFG	10,38
Con estrés	BGSP 507	78,00	ABCDEFG	10,38
Con estrés	SP 48114	77,50	ABCDEFG	10,38
Sin estrés	BGSP 715	77,50	ABCDEFG	10,38
Sin estrés	BGSP 463	76,00	ABCDEFG	10,38
Sin estrés	BGSP 156	75,75	ABCDEFG	10,38
Con estrés	BGSP 805	75,00	ABCDEFG	10,38
Sin estrés	BGSP 514	73,00	ABCDEFGH	10,38
Con estrés	BGSP 804	72,50	ABCDEFGH	10,38
Sin estrés	BGSP 799	69,75	BCDEFGH	10,38
Sin estrés	BGSP 507	63,50	CDEFGHI	10,38
Con estrés	BGSP 803	63,25	DEFGHI	10,38
Con estrés	BGSP 392	56,75	EFGHI	10,38
Con estrés	BGSP 715	55,25	FGHI	10,38
Con estrés	BGSP 735	50,25	GHI	10,38
Con estrés	BGSP 156	45,75	HI	10,38
Con estrés	BGSP 43	37,50	I	10,38

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

VIII.8 Anexo VIII. Resumen del comportamiento de las variables de mapeo después de los tres episodios de estrés hídrico

Con comp	ATF	Sin rean. crec	Con rean. crec	EAFT	Pres. FT	% F	PREC
BGSP 514	no	x		no	no	<20%	>20%
BGSP 804	no	x		si	si	<20%	<20%
BGSP 716	no		x	no	no	<20%	>20%
BGSP 52	no		x	no	no	<20%	>20%
BGSP 750	no		x	no	si	>20%	<20%
BGSP 765	no		x	si	si	<(20%)	>20%
BGSP 803	no		x	si	si	<20%	<20%
BGSP 715	no		x	si	si	>20%	<20%
BGSP 735	no		x	si	si	<20%	<(20%)
BGSP 43	no		x	si	si	<(20%)	<(20%)
Sin comp							
BGSP 805	si	x		si	si	<20%	<20%
BGSP 507	si	x		no	no	<(20%)	>20%
BGSP 463	si	x		no	no	<(20%)	>20%
BGSP 73	si	x		si	no	<(20%)	>20%
BGSP 475	si	x		si	no	<20%	>20%
BGSP 67	si	x		si	no	<20%	<20%
BGSP 156	si	x		si	si	<(20%)	<(20%)
BGSP 799	si		x	no	no	<(20%)	>20%
BGSP 392	si		x	si	si	<(20%)	<(20%)
SP 48114	si		x	si	si	<20%	<20%

Con comp: Con compensación; **Sin comp:** Sin compensación; **ATF:** afectó el total de frutos; **Sin rean crec:** sin reanudación de crecimiento; **Con rean crec:** con reanudación de crecimiento; **EAFT:** Estrés afectó la floración temprana; **PresFT:** presencia de fijación tardía; **%F:** porcentaje de fijación; **PREC:** precocidad (maduración)

VIII.9 Anexo IX. Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento*Entrada según biomasa aérea después de los tres episodios de estrés hídrico-Test LSD Fisher (Alfa=0,05)

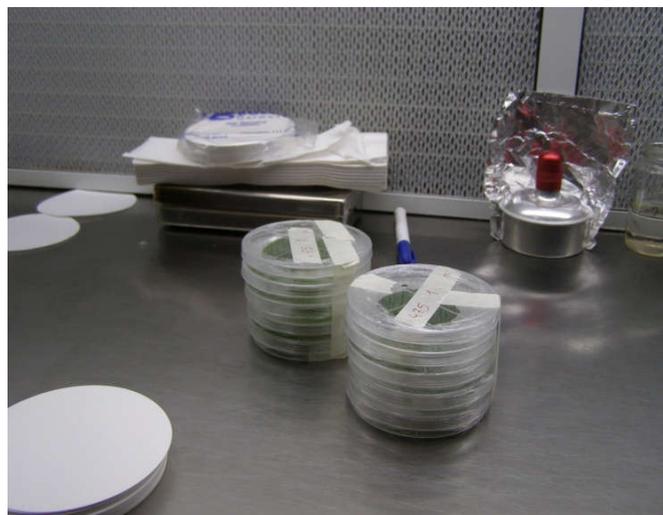
Tratamiento	Entrada	Media		E.E
Con estrés	BGSP 52	88,69	A *	17,73
Sin estrés	BGSP 463	87,73	A	15,11
Sin estrés	BGSP 805	84,50	A	5,29
Sin estrés	BGSP 804	82,13	A	3,89
Sin estrés	BGSP 765	82,05	A	8,90
Sin estrés	BGSP 507	80,93	A	6,53
Sin estrés	SP 48114	78,93	A	12,27
Sin estrés	BGSP 43	77,33	A	5,09
Sin estrés	BGSP 67	76,75	AB	14,54
Sin estrés	BGSP 475	76,35	AB	11,9
Sin estrés	BGSP 156	76,13	AB	6,18
Sin estrés	BGSP 52	74,2	AB	17,72
Sin estrés	BGSP 750	74,13	AB	10,98
Sin estrés	BGSP 392	73,05	AB	2,99
Con estrés	BGSP 765	72,44	AB	8,91
Con estrés	BGSP 156	71,7	AB	6,18
Sin estrés	BGSP 715	71,23	AB	6,69
Con estrés	BGSP 392	71,03	AB	2,99
Con estrés	BGSP 716	70,73	AB	3,11
Sin estrés	BGSP 799	70,43	AB	1,66
Con estrés	BGSP 804	70,23	AB	3,89
Sin estrés	BGSP 803	69,68	AB	2,07
Sin estrés	BGSP 735	69,33	AB	3,03
Con estrés	BGSP 803	68,95	AB	2,07
Con estrés	SP 48114	67,1	AB	12,27
Con estrés	BGSP 463	65,98	AB	15,11
Con estrés	BGSP 514	64,93	AB	6,14
Sin estrés	BGSP 514	62,38	AB	6,14
Con estrés	BGSP 67	62,33	AB	14,54
Con estrés	BGSP 735	62,33	AB	3,03
Sin estrés	BGSP 716	62,03	AB	3,11
Con estrés	BGSP 750	61,05	AB	10,98
Con estrés	BGSP 715	61,03	AB	6,69
Con estrés	BGSP 805	60,83	AB	5,29
Sin estrés	BGSP 73	60,23	AB	6,10
Con estrés	BGSP 43	59,45	AB	5,09
Con estrés	BGSP 507	59,38	AB	6,53
Con estrés	BGSP 799	58,38	AB	1,66
Con estrés	BGSP 475	53,9	AB	11,90
Con estrés	BGSP 73	50,85	B	6,10

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

VIII.10 Anexo X. Representación fotográfica del Experimento 1



Fotografía 1: Vista de cámara de cultivo de las plántulas de algodón



Fotografía 2: Vista de placas de petris conteniendo a las hojas de algodón en agua para su hidratación por 24 horas para el cálculo de CAR

VIII.11 Anexo XI. Representación fotográfica del Experimento 2



Fotografía 3: Vista de las macetas sembradas y rotuladas con su correspondiente número de entrada, tratamiento y repetición.



Fotografía 4: Vista de las macetas en invernáculo en el estado de plántulas de algodón en el primer raleo



Fotografía 4: Vista en invernáculo de las plantas de algodón en etapa de crecimiento vegetativo



Fotografía 5: Vista del efecto del estrés hídrico sobre la altura de planta al finalizar el estrés a los 40 DDS