

II - Artigos de divulgação científica

1. Caracterización de genotipos de algodón por su tolerancia a estrés hídrico a través de variables asociadas al uso del agua



Spoljaric Monica Viviana - Técnica Forestal en la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE), Licenciada en Ciencias Naturales en la Universidad Nacional de Formosa (UNaF) y el de Magister en Genética Vegetal en la Universidad Nacional de Rosario (UNR). Ingresó a INTA el año 2007 en el Área de Investigación en Mejoramiento Genético - Banco de Germoplasma de Algodón y Forestales Nativas. En el convenio de Vinculación Tecnológica participa en el módulo de transformación Genética de algodón. Desde 2014 se desempeña como adscripta en la cátedra de Ingeniería Genética de la Facultad Nacional del Chaco Austral (UNCAUS). spoljaric.monica@inta.gob.ar

Tcach Mauricio Marcelo - Ingeniero Agrónomo en la UNNE de Corrientes (2006). Magister en Producción Vegetal en la Facultad de Ciencias Agraria (2012). Ingresó a INTA en el año 2007 en el Área de Investigación en Mejoramiento Genético de algodón. Prof. Adj. de Genética y Mejoramiento en la Universidad del Chaco Austral. Miembro del comité ejecutivo del ICRA, y del Comité Técnico del INASE. Director técnico del criadero A821 del INTA para la obtención de variedades de algodón. tcach.mauricio@inta.gob.ar



Rojas Julieta Mariana - Ingeniera Agrónoma en la UNNE y Magister en Ciencias Agrarias - Orientación Producción Sustentable (Universidad Nacional de Tucumán). En INTA (2006 -2008) como becaria en Sustentabilidad, y Paralelamente hasta 2008, se desempeñó como consultora en Saneamiento Hídrico Y Desarrollo Productivo De La Línea Tapenagá. Desde 2010 es Docente Adjunta en Fisiología Vegetal de la Carrera de Ingeniería Zootecnista de la Univ. de Chaco Austral (UNCAUS), Chaco, Argentina. Actualmente es investigadora de la Área de Recursos Naturales del de la EEA INTA Sáenz Peña (Chaco), en Manejo de Suelos. rojas.julieta@inta.gob.ar

Enrique Luis Cointry - Ingeniero Agrónomo por la UNR (1977), Magister en Mejoramiento Genético Vegetal (1991, UNR-INTA) y Doctor en Ciencias Agrarias (2001, UNR). Prof. Titular con Dedicación Exclusiva en la cátedra de Mejoramiento Vegetal y Producción de Semillas, FCA de la Universidad Nacional de Rosario. Es Academic Editor of International Journal of Plant & Soil Science. Es Director Académico de la Maestría en Genética Vegetal. Es autor de varias Creaciones Fitogenéticas: 4 clones de alcaucil, 5 híbridos de espárragos y de una variedad de alcaucil propagada en forma sexual. ecointry@unr.edu.ar



Resumen

Las respuestas de 20 entradas de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) a un suministro normal de agua y limitado se examinaron en invernadero a los 30, 70, 120 días después de la emergencia en el Estación Experimental Agropecuaria (EEA) del Instituto Nacional de Tecnología y Agropecuaria (INTA) de Sáenz Peña (Chaco, Argentina) durante 2014-2015. Las entradas mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) en el crecimiento en el primer (área foliar y altura de planta) y segundo estrés (área foliar). Los genotipos presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en las variables asociadas al uso del agua ante el estrés acumulado sin presentar diferencias en el consumo del agua. El grado de determinación genético fue bajo, debido a las condiciones contrastantes que enmascararon la variabilidad disponible. Se identificaron como entradas más tolerantes a BGSP716, BGSP52, BGSP765, BGSP750, BGSP463, BGSP803, BGSP514 y SP48114. Las mismas presentaron mayor porcentaje de frutos fijados, algodón en bruto (g/pl.), número de capullos, Semilla (g/pl.), Biomasa aérea (g/pl.) y altura de planta (cm).

Palabras claves: tolerancia al estrés, algodón, genotipos, uso del agua.

Introducción



Figure 1 - EEA – INTA – Sáenz Peña – Argentina.
Fotografía por Spoljaric Monica Viviana.

El estrés hídrico afecta el crecimiento y la productividad del cultivo de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) que disminuye su rendimiento hasta un 50% dependiendo de la duración e intensidad del estrés (BRUBAKER & WENDEL, 1994; BRUBAKER *et al.*, 1999; BOMAN & LEMON, 2006; EDMISTEN, CRAWFORD & BADES, 2007). Las cultivares modernas han perdido, en gran medida, la sensibilidad a las diferencias de temperatura y fotoperiodo (MAUNEY, 1966; LOW, HESKETH & MURAMOTO,

1969), pero no así la sensibilidad al régimen hídrico. Cuando la provisión de agua empieza a ser limitante la planta detiene su desarrollo morfológico centrándose en la maduración de las cápsulas ya establecidas (HEARN, 1994), siendo las etapas críticas el momento del establecimiento de las plantas, la pre-floración (CHAVES, MAROCO & PEREIRA, 2003) y la post-floración (MCWILLIAMS, 2003). Diferentes experiencias demuestran la existencia de variabilidad genética frente al estrés hídrico. Longaberger *et al.* (2006) evaluaron 23 genotipos en tres momentos del ciclo y concluyeron que la mayor variabilidad genética se da en el primer período del cultivo, mostrando los materiales tolerancia, susceptibilidad o estabilidad para el porcentaje de supervivencia frente al estrés. Por su parte, Mahmood *et al.* (2006) reportaron diferentes respuestas en crecimiento y en rasgos productivos para diversos regímenes de estrés hídrico, siendo la altura de planta un indicador del efecto en etapas tempranas del ciclo.

Asimismo, la expansión del área foliar se ve reducida ante el estrés (HEARN, 1979; CONSTABLE, 1981; TURNER *et al.*, 1986; GERIK *et al.*, 1996) alcanzando disminuciones de hasta 60% cuando la humedad del suelo se termina (CONSTABLE, 1981). Sin embargo, el crecimiento de la raíz parece menos afectado (MALIK & WRIGHT, 1997), salvo en condiciones de estrés hídrico severo (MCMICHAEL & QUISENBERRY, 1991).

Grimes & Yamada (1982), McMichael & Hesketh (1982), Turner *et al.*, (1986), Gerik *et al.*, (1996), y Tcach *et al.*, (2010) mostraron que el rendimiento disminuye cuando el estrés ocurre en plena floración y llenado de cápsulas siendo afectados tanto el tamaño como el peso individual de los capullos (PAYTAS *et al.*, 2012). Una estrategia para minimizar el impacto producido por el déficit hídrico consiste en el uso de cultivares agrónomicamente adaptadas a diversos episodios de estrés a lo largo del ciclo que pueden ser logradas mediante la hibridación entre materiales que manifiesten un adecuado comportamiento frente a las condiciones de estrés hídrico siendo este el paso fundamental en cualquier programa de mejoramiento. Para ello es necesario elegir adecuadamente los progenitores a hibridar ya que es el paso fundamental en cualquier programa de mejoramiento de especies autóгамas. Las poblaciones conservadas en el Banco Activo de Germoplasma (BAG) de 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.

Materiales y Métodos

El ensayo fue conducido bajo invernáculo en la EEA (Estación Experimental Agropecuaria) INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) Sáenz Peña, (Latitud Sur 26° 47' 27" y Longitud Oeste 60° 26' 29"; Altitud 90 msn), Chaco (Argentina) (Figura 1), durante dos años (2014-2015), utilizando el protocolo de Parkhi *et al.* (2009) el cual fue ajustado según requerimiento de la investigación.

Genotipos: Se utilizaron 20 entradas pertenecientes a la colección de algodón del Banco Base (Figura 2) perteneciente a la EEA INTA Sáenz Peña seleccionados por sitio de origen y tipo de cultivar (Tabla 1).

Tabla 1. Genotipos de algodón pertenecientes al BAG de EEA Sáenz Peña (2014-2015).

Accesión	Segunda denominación	Tipo de cultivar*	Sitio de origen
BGSP 43	Stoneville 508	Cv. obsoleto	E.E.U.U.
BGSP 52	I.A.C RM4	Cv. obsoleto	Brasil
BGSP 67	HAR L-142-9	Cv. obsoleto	Costa de Marfil
BGSP 73	Bouake HAR G 181-5-H-748	Cv. obsoleto	Costa de Marfil

BGSP 156	Linea de Texas Agric. Exp. Station	Línea obsoleta	E.E.U.U.
BGSP 392	INTA SP Toba II	Cv. obsoleto	Argentina
BGSP 463	Payaste 145	Cv. obsoleto	E.E.U.U.
BGSP 475	Podrá INTA	Cv. obsoleto	Argentina
BGSP 507	Gua zuncho 2 INTA	Cv. obsoleto	Argentina
BGSP 514	Seora	Cv. obsoleto	Australia
BGSP 715	(917) B557	Cv. obsoleto	Pakistán
BGSP 716	(1120) ALEPO 93	Cv. obsoleto	Siria
BGSP 735	(63) B 59-1684	Cv. obsoleto	ex U.R.S.S
BGSP 750	ZM-01082	Cv. moderno	China
BGSP 765	ZM-01632	Cv. Local	China
BGSP 799	Guazuncho 3 INTA	Cv. moderno	Argentina
BGSP 803	SP 6635	Linea elite	Argentina
BGSP 804	SP 4172	Linea elite	Argentina
BGSP 805	8461	Linea elite	Argentina
SP 48114	SP 48114	Cv. moderno	Argentina

**Tipo de cultivar: Cultivar obsoleto o en desuso y moderno: hace referencia a la sustitución en el uso por el productor. Línea: se refiere al material desarrollado por los mejoradores que son conservados en los BAG por su valor real o potencial. Local: son cultivares primitivas, tradicionales o criollas y que son producto de una selección por parte de los agricultores con gran adaptación a condiciones abióticas y bióticas.*

Diseño y tratamientos. Se diseñó un experimento bifactorial (Factor A y B). Factor A, correspondió a los 2 tratamientos principales: Sin estrés hídrico (control) y con estrés (suspensión de la oferta de agua cuando las macetas presentaban 50% de capacidad de campo (CC) al inicio de tres momentos del ciclo: 30, 70 y 120 días después de la emergencia (dde) por un periodo de 10 días. Luego de los episodios de estrés hídrico se mantuvieron las macetas entre 90 y 100% de CC. Factor B, correspondiente a los genotipos (20 entradas) de diferentes orígenes y tipo de cultivar. Se utilizaron tres repeticiones por genotipo y tratamiento que se dispusieron en



Figura 2. Banco Base de EEA – INTA - Sáenz Peña – Argentina. Fotografía por Spoljaric Monica Viviana.

el invernáculo completamente al azar. Cada repetición consistió en una maceta de 30 litros (L) de capacidad, conformando un total de 120 macetas. El contenido de humedad del suelo para los tratamientos se determinó por la metodología propuesta por Ennahli (2003) calculando el contenido de agua necesario para llevar el suelo a CC. Las macetas fueron cargadas con 20 kg de suelo seco (Haplustol típico). Luego se regaron llevándose a un peso de 25.58 kg (CC). La experiencia se realizó durante los años 2014 y 2015.

Preparación de las macetas, siembra y condiciones de cultivo. Una vez lograda la CC se sembraron 10 semillas por maceta, las cuales fueron regadas cada tres días hasta la germinación. Se realizó un raleo en las macetas dejando dos plantas las cuales crecieron en condiciones semi-controladas de temperatura (28-35°C) y humedad relativa (50-70%). Para reducir la pérdida del agua por evaporación se cubrió el suelo con una capa de 10 cm de Perlita agrícola (PERLOME®) y por drenaje, se cerró el orificio de salida de agua de la maceta. Se regaron las macetas cada dos días hasta los 30 dde, momento en el cual se suspendió el riego para lograr condiciones de estrés en 60 macetas. En el tratamiento control se mantuvo el contenido de humedad óptimo. Previo al inicio del estrés, se equipararon los pesos de las macetas mediante riego para que de esta manera lleguen todas a un mismo contenido de humedad en la misma cantidad de días. Se consideró el inicio del estrés cuando las macetas presentaron el peso correspondiente al 50% de CC. A los 10 días de suspendido el riego se midieron las variables, pesaron todas las macetas, y se regaron a CC. Este mismo procedimiento se realizó al inicio de los 70 y 120 dde.

Variables evaluadas: *Primer ciclo de estrés (30 dds):* Altura de planta (AP, cm): se midió con regla graduada en cm desde la base del suelo. Área foliar (AF, cm²): se utilizó un equipo Licor 3000. *Segundo ciclo de estrés (70 dds):* AP (cm) y AF (cm²). *Tercer ciclo de estrés (120 dds):* Consumo de agua (L): se determinó para cada tratamiento los incrementos de agua a partir de la diferencia de pesos de las macetas realizadas cada cinco días. **Mapeo:** se registró en el último ciclo de estrés las siguientes variables: altura de planta (AP), número de ramas vegetativas (RV), n° de nudos del tallo principal (NN), n° de ramas fructíferas (NRF), longitud media de los entrenudos del tallo principal (LME), n° de nudo del tallo principal en que se inserta la primer rama fructífera (NPRF), n° total de puntos fructíferos (TPF), porcentaje de frutos fijados (%F), n° frutos caídos (CAI), n° de capullos (CAPL), y precocidad (PREC%). Biomasa total, aérea y de raíces (g/pl.): finalizado el mapeo, se separó las biomásas colocando en sobres de papel que fueron secados en estufa a 70°C durante cinco días y pesados. Rendimiento de algodón en bruto, semilla y fibra (g/pl.): se cosecharon los capullos y se pesaron, luego con micro-desmotadora se separaron y se pesaron la fibra y semillas.

Análisis estadístico: Se efectuó un análisis de variancia para los efectos fijos utilizando modelos generales lineales y mixtos mediante InfoStat/P (DI RIENZO *et al.*, 2014) a través de su interfaz con el programa R (2011). Se consideraron a los tratamientos y a los genotipos como efectos

fijos y a las repeticiones como efecto aleatorio. Se evaluó además la interacción entre los efectos fijos. Para la comparación de los valores promedios se utilizó la prueba LSD de Fisher al 5% ($p < 0.05$). El Grado de Determinación Genética (GDG) se calculó por medio de un análisis de la varianza en las variables que presentaron diferencias en el tratamiento principal. Se utilizaron los componentes de la varianza para utilizar el modelo propuesto por Mariotti (1986) y la fórmula de Falconer (1981), siendo:

$$GDG = \frac{Vg}{Vf}$$

Vg: varianza genética

Vf: varianza fenotípica

Para el análisis multivariado se utilizó el programa R versión 3.0.1 (R, 2011). Se estandarizaron los datos y se construyó una matriz de correlaciones lineales, luego se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) por medio del paquete FactoMineR, que posibilita realizar elipses de confianza para las medias de grupo según el tratamiento principal y conocer los p-valores ($p < 0.05$) de la correlación entre grupos. Una vez verificado si las variables podían separar significativamente a los tratamientos, se procedió a realizar nuevamente ACP solo con los datos del tratamiento con déficit hídrico. Con estos resultados se confeccionaron biplots en base a las dos primeras componentes principales (CP) y luego se realizó un análisis de conglomerados para profundizar en los agrupamientos.

Resultados y Discusión:

Primer ciclo de estrés (30 dds): La AP presentó diferencias significativas para tratamiento ($F=200,56$; $p < 0,0001$), genotipo ($F=6,43$; $p < 0,0001$) e interacción (T*G) ($F=1,75$; $p < 0,0372$). El tratamiento de estrés hídrico produjo en promedio una reducción del 19% en AP en relación al tratamiento control mostrando los genotipos un comportamiento diferencial (Tabla 2). Similares observaciones fueron reportado por Pace *et al.* (1999) al evaluar cambios inducidos por la sequia en dos genotipos (Stonville 506 y Tamacot HQ95), mostrando una reducción del 28,31% en condiciones de estrés hídrico versus al control. Por su parte el AF presentó una disminución del 18% (Tabla 2). Resultados similares fueron informados por Mahmood *et al.* (2006) al caracterizar ocho variedades de algodón para rasgos de crecimiento y productividad en dos y cuatro ciclos de estrés. Chaves, Maroco & Pereira (2003) describieron el papel crítico del agua para las actividades meristemáticas siendo necesaria durante la división y elongación celular, es decir durante la etapa de crecimiento vegetativo.

Segundo ciclo de estrés (70 dds): Cuando el estrés se produjo en este período los valores promedios para AP no se vieron significativamente afectados ($F=0,09$; $p < 0,7703$) comparados con el tratamiento control. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Bohnert & Sheveleva (1998) quien reportó la presencia de efectos negativos del estrés hídrico sólo cuando las plantas

son afectadas en su período inicial de crecimiento y no en los ciclos de estrés posteriores. Sin embargo al manifestarse diferencias entre los genotipos ($F=6,40$; $p<0,0001$) e interacción ($T*G$) ($F=1,80$; $p<0,0306$) pone en evidencia que existen algunos genotipos con comportamiento diferencial. El AF presentó una reducción significativa del 17% producto del tratamiento por estrés hídrico (Tabla 2). Siendo significativo el efecto del genotipo ($F=6,37$; $p<0,0001$) e interacción ($T*G$) ($F=4,55$; $p<0,0001$). Debe tenerse en cuenta que una disminución del área total de la hoja permite una mejor economía del agua en la planta, siendo un rasgo predictivo en la selección de tolerancia frente al estrés hídrico (MAHMOOD *et al.*, 2006).

Tercer ciclo de estrés (120 dds): En la Tabla 2 se resume los valores medios de las variables del mapeo, consumo de agua, materia seca y rendimientos. Menor Ct (L) fue observado en el tratamiento con estrés (-11,51%) en comparación al control, sin presentar diferencias estadísticamente significativas para las cultivares y para la interacción entre la cultivar y el tratamiento. Esto implica que los genotipos presentan una misma eficiencia en el Ct (L) independientemente la condición de humedad del suelo en que crecieron. El tratamiento con estrés hídrico disminuyó significativamente ($p > 0,05$) la AP (-4,4%), NN (-5,8%), el NRF (-7,3%), el CAPL (-23,8%), el %F (-21,8%) y la PREC (-11,6%). Por otro lado, el estrés aumentó significativamente el TPF (17,3%) y el CAI (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 que no presentó este crecimiento compensatorio. Asimismo no mostraron diferencias significativas el RV, la LME y el NPRF. Estas diferencias se atribuyeron a características propias de cada entrada. La Ba (g/pl.) fue afectada significativamente ($p < 0,05$) por la disponibilidad de agua, produciendo una reducción del 12,7% en comparación a las plantas control. Comportamiento similar presentó la variable Bt (g/pl.) con una reducción del 11,3%. Por su parte la Br (g/pl.) no presentó modificaciones en sus valores promedios. Malik & Wright (1997) postularon que el crecimiento de la raíz está menos afectado por la sequía que el crecimiento de brotes ya que la raíz continúa su desarrollo en búsqueda de agua en zonas más profundas del suelo (POTTERS *et al.*, 2007; HONG-BO *et al.*, 2008). El rendimiento de AlgBr (g/pl.) y de Sem (g/pl.), el estrés disminuyó significativamente (23,7% y 26,6%, respectivamente), sin afectar de manera significativa la producción de Fi (g/pl.). La disminución del rendimiento de algodón en bruto puede ser explicado por una menor tasa de crecimiento en el área foliar y en consecuencia a una menor fotosíntesis (KRIEG, 1997). Además el rendimiento del algodón es dependiente de la producción y retención de cápsulas y ambos son afectados por el estrés hídrico (YAZAR, SEZEN & SESVEREN, 2002). Rai (2011) observó una disminución en los rendimientos al evaluar el mecanismo de tolerancia a la sequía en cultivares de algodón para riego en Texas (USA), mostrando mayores rendimientos de algodón cuando los cultivares eran regados versus cultivares de secano.

Tabla 2. Comparación de Medias para los Tratamientos en los períodos de estrés iniciado a los 30, 70 y 120 días después de la emergencia por 10 días (Test de LSD Fisher-Alfa=0,05). EEA INTA Sáenz Peña (2014-2015).

Variabes	Sin estrés	Con estrés
<i>Primer ciclo de estrés (30 dde)</i>		
Altura de Planta (AP, cm)	83,33±0,97 A *	67,53±1,13 B
Área foliar (AF, cm ²)	503,86±8,95 A	430,17±10,08 B
<i>Segundo ciclo de estrés (70 dde)</i>		
Altura de Planta (AP, cm)	120±0,02 A	121±0,02 A
Área foliar (AF, cm ²)	182,84±2,02 A	151,66±1,63 B
<i>Tercer ciclo de estrés (120 dde)</i>		
Consumo de agua total (Ct, L)	95,36±4,21 A	85,26 ±4,21 B
Altura de planta (AP, cm)	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 (CAI)	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
Biomasa seca total (Bt, g/pl.)	79,90 ± 4,77 A	70,89 ± 4,77 B
Biomasa aérea seca (Ba, g/pl.)	74,47 ± 2,41 A	65,06 ± 2,41 B
Biomasa seca de raíces (Br, g/pl.)	5,55 ± 0,34 A	5,43 ± 0,34 A
Algodón en bruto (AlgBr, g/pl.)	21,32 ± 1,28 A	16,27 ± 1,28 B
Semilla (Sem, g/pl.)	13,22 ± 0,80 A	9,70 ± 0,80 B

Fibra de algodón (Fi, g/pl.)

 $9,47 \pm 1,38$ A

 $8,59 \pm 1,38$ A

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

Grado de Determinación Genética (GDG): Las variables NRF, AlgBr y Sem (en condiciones de estrés) y CAI (sin estrés) presentaron valores bajos GDG (Tabla 3) según el criterio propuesto por Ramírez & Egaña (2003). En el presente estudio, la AP y PREC presentaron un GDG medio en condiciones de estrés. Similares resultados (GDG=0.36) obtuvieron Dhivya *et al.* (2014) en estudios de variabilidad, heredabilidad y avance genético en 54 genotipos de *G. hirsutum*. Las variables TPF, CAPL, PREC, Bt, Ba, AlgBr y Sem en condiciones de buena disponibilidad de agua la expresión del fenotipo se correspondió únicamente al ambiente, y en condiciones de estrés en las variables %F, Bt y Ba. De esta manera, estimaciones bajas va acompañado de un bajo avance genético para la selección de tolerancias a estrés hídrico (SOOMRO *et al.*, 2010).

Tabla 3. Varianzas genéticas (σ^2_G), fenotípicas (σ^2_F) y Grado de Determinación Genética (GDG) en el tratamiento principal para variables de mapeo, biomazas y rendimientos EEA INTA Sáenz Peña (2014-2015).

VARIABLES	TRATAMIENTO	σ^2_G	σ^2_F	GDG
Altura de Planta (AP)	Sin estrés	54,70	293,66	0,19
	Con estrés	160,16	496,69	0,34
N° de nudos del tallo principal (NN)	Sin estrés	1,70	10,93	0,15
	Con estrés	1,25	9,71	0,13
N° de ramas fructíferas (NRF)	Sin estrés	2,18	11,95	0,18
	Con estrés	0,40	10,81	0,037
Total de puntos fructíferos de la planta (TPF)	Sin estrés	0	88,59	0
	Con estrés	24,90	170,35	0,14
Porcentaje de frutos fijados del total de puntos diferenciados en la planta (%F)	Sin estrés	15,97	66,62	0,23
	Con estrés	0	73,33	0
N° frutos caídos (CAI)	Sin estrés	2,00	57,46	0,035
	Con estrés	17,24	161,92	0,11
N° de capullos (CAPL)	Sin estrés	0	4,65	0
	Con estrés	0,68	4,11	0,16
Precocidad (PREC)	Sin estrés	0	398,57	0
	Con estrés	227,53	691,74	0,32

Biomasa seca total (Bt)	Sin estrés	0	124,30	0
	Con estrés	0	192,70	0
Biomasa aérea seca (Ba)	Sin estrés	0	111	0
	Con estrés	0	391,04	0
Algodón en bruto (AlgBr)	Sin estrés	0	71,89	0
	Con estrés	2,14	40,04	0,053
Semilla (Sem)	Sin estrés	0	25,89	0
	Con estrés	1,07	14,29	0,074

Análisis de Componentes Principales en tratamientos con y sin estrés. Las variables en conjunto lograron separar en dos componentes a los tratamientos de manera significativa ($p < 0,05$) (Tabla 4). El tratamiento sin estrés presentó coordenadas positivas con la Componente 1 (CP1) y Componentes 2 (CP2). El tratamiento con estrés presentó coordenadas negativas con ambas componentes (CP1 y CP2) indicando que el estrés causó una disminución en las variables en forma conjunta.

Tabla 4. Prueba de significación de la correlación de la variable categórica Tratamiento con los CPs (Student's test) EEA INTA Sáenz Peña (2014-2015).

	Componente principal 1		Componente principal 2	
	R ²	p-valor	R ²	p-valor
Tratamiento	0,45	8,66 e-14	0,07	0,022
	Estimado	p-valor	Estimado	p-valor
Sin estrés (control)	2,19	3,93 e-13	0,76	0,01
Con estrés	-2,19	3,93 e-13	-0,76	0,01

Análisis de Componentes Principales y Análisis de grupos en tratamiento con estrés: Las variables de AlgBr, Sem y CAPL presentaron correlación positiva con la CP1. Asimismo, la AP y Ba presentaron mayor asociación al Ct (L) y correlación con la CP1 mostrando una relación directa con el rendimiento en AlgBr, Sem y CAPL (datos no mostrados). La CP2 estuvo correlacionada principalmente con el CAI y TPF en forma positiva y PREC en forma negativa. La correlación con la CP2 indicaría mayor cantidad de TPF y CAI en genotipos menos precoces (Tabla 5).

Tabla 5. Correlación de las variables de mapeo, biomاسas y rendimientos con cada componente principal (auto vectores). EEA INTA Sáenz Peña (2014-2015).

Variabes	Componente principal 1	Componente principal 2
Biomasa aérea seca (Ba)	0,54	0,02
Altura de Planta (AP)	0,51	0,30
Nº de nudos del tallo principal (NN)	0,72	0,56
Nº de ramas fructíferas (NRF)	0,54	0,72
Nº de capullos (CAPL)	0,84	-0,15
Nº frutos caídos (CAI)	- 0,002	0,95
Total de puntos fructíferos de la planta (TPF)	0,09	0,95
Porcentaje de frutos fijados del total de puntos diferenciados en la planta %F	0,55	0,39
Precocidad (PREC)	0,27	-0,76
Semilla (Sem)	0,84	-0,31
Algodón en bruto (AlgBr)	0,89	-0,27

Los genotipos del grupo uno (cluster 1) presentaron coordenadas negativas con CP1 y CP2, es decir, valores inferiores de Ba, AP, NRF, CAI, TPF, NN, CAPL, AlgBr y Sem y superiores en PREC (Figura 3). La limitada oferta de agua antes de floración redujo el NN, NRF, y TPF (RIJKS, 1967). Mayor PREC involucra la disminución de los días de duración del cultivo y la cantidad de insumos dedicados a la producción en tanto se mantienen o incrementan los rendimientos (JOHNSON *et al.*, 1974). Entonces, el grupo uno fue afectado en floración temprana (30 dde) y tardía (70 dde). Definió temprano su ciclo y no pudo compensar las pérdidas y en consecuencias presento rendimientos inferiores. Los genotipos del grupo dos (Cluster 2) presentaron valores mayores de CAI y TPF y valores menores de CAPL, AlgBr, Sem, %F y PREC. 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 (70 dde) no compensando el derrame y en consecuencia tuvieron menores rendimientos en AlgBr, Sem y CAPL. El grupo tres (Cluster 3) presento mayores coordenadas con la CP1, es decir mayor %F, AlgBr, CAPL, Sem, Ba y AP (Figura 1). El mayor %F en los genotipos sugiere tolerancia a los diferentes episodios de estrés inducidos y capacidad de compensación representado 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 (SADRAS, 1995). La asociación de la AP y Ba con el consumo del agua (Ct, L), indicaría una acumulación mayor de biomasa contribuyendo a los rendimientos y madurez del cultivo (HEARN, 1969; HEARN, 1979; GUINN, 1982; HEARN & CONSTABLE, 1984). Además, Jamal *et al.*, 2014 sugieren a la biomasa como mejor parámetro para selección de genotipos tolerantes al estrés hídrico. Sin embargo, en base a los resultados obtenidos en la

presente investigación, la selección de genotipos tolerantes a estrés hídrico se puede realizar a partir de un conjunto de variables que están correlacionadas (%F, AlgBr, CAPL, Sem, Ba y AP).

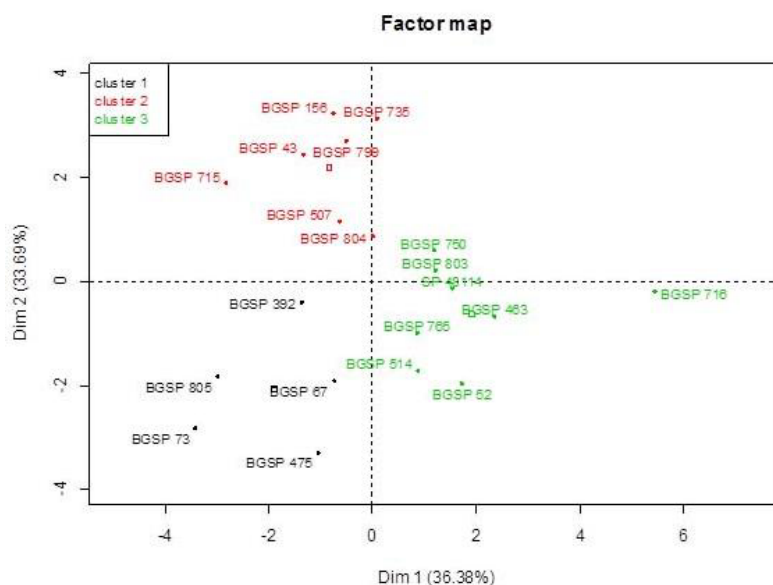


Figura 3. Representación de los grupos de entradas en el mapa en condiciones de estrés hídrico formados a partir de las Componentes principales 1 y 2. EEA INTA Sáenz Peña (2014-2015).

Conclusión

El conocimiento generado, es un primer paso en la contribución para la obtención de líneas o cultivares más adaptadas al estrés hídrico. En este sentido los genotipos que podrían aportar variabilidad por su desempeño en %F, AlgBr, CALP, Sem, Ba y AP bajo condiciones de estrés hídrico acomunado fueron las entradas BGSP 716, BGSP 52, BGSP 765, BGSP 750, BGSP 463, BGSP 803, BGSP 514, y SP 48114. Para esto es necesario contrastar todos y evaluar cuales tienen mejor expresión de las variables analizadas.

Agradecimiento

Financiados por los proyectos. REDGEN1137021 y PNIND-1108082 de INTA.

Referencias

- BOHNERT, H.J. & SHEVELEVA, E. 1998. Plant stress adaptation-making metabolism move. 1998. **Curr. Opin. Pl. Biol.** 1 (3): 267-74.
- BOMAN, R. & LEMON R. 2006. Drought management strategies related to production, management, and marketing of cotton in Texas. In: **Texas A&M AgriLife Extension**. Texas A&M Univ.Sistem, College Station, 1-4 p.
- BRUBAKER, C.L. & WENDEL, J.F. 1994. Reevaluating the origin of domesticated cotton (*Gossypium hirsutum*; Malvaceae) using nuclear restriction fragment length polymorphisms (RFLPs). **Am. J. Bot.** 81: 1309-1326.

- BRUBAKER, C.L., BOURLAND, F.M. & WENDEL, J.F. 1999. The origin and domestication of cotton, 3-31 p. In: SMITH, C.W. & COTHREN, J.T. (ed.) Cotton. **Origin, history, technology, and production**. John Wiley & Sons, New York.
- CHAVES, M.M., MAROCO, P.P., & PEREIRA, J.S. 2003. Understanding plant responses to drought-from genes to the whole plant. **Funct. Pl. Biol.**, 30: 239-264.
- CONSTABLE, GA. 1981. **Carbon fixation and distribution in cotton**. PhD dissertation, Australian National University, Canberra.
- DHIVYA, P., AMALABALU, R., PUSHPA, R. & 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>
- EDMISTEN, K., CRAWFORD, J. & BADER, M. 2007. Drought management for cotton production. In: North Carolina Cooperative Extension. Paper AG-519-5. **North Carolina State University**, Raleigh, NC., 1-9 p.
- ENNAHLI, S. 2003. **Component limitations to photosynthesis of cotton under drought stress**. [Thesis Master of Science] Faculty of The University of Georgia. Athens, Georgia, 72 p.
- FALCONER, D.S., 1981. Introduction to Quantitative Genetics, Ed.2. Longmas Green, London/New York. Google Scholar.
- GERIK, T.J., FAVER K.L., THAXTON, P.M. & EL-ZIK, K.M. 1996. Late season water stress in cotton.1. Plant growth, water use, and yield. **Crop Sci**. 36: 914-921.
- GRIMES, D.W. & YAMADA, H. 1982. Relation of cotton growth and yield to minimum leaf water potential. **Crop Sci**. 22: 134-139.
- GUINN, G. 1982. Abscisic acid and abscission of young cotton bolls in relation to water availability and boll load. **Crop Sci**. 22: 580-583.
- HEARN, A.B. 1979. Water relationships in cotton. **Outlook in Agriculture**. 10: 159-166.
- HEARN, A.B. & CONSTABLE, GA. 1984. Irrigation crops in a sub-humid environment: Evaluation of irrigation strategies for cotton. **Irrigation Science** 5: 75-94.
- HEARN, A.B. 1969. The growth and performance of cotton en a desert environment III. Crop performance. **J. Agric. Sci.**, Camb. 73: 87-97.
- 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.
- HONG-BO, S.; LI-YE, C., MING-AN, S., JALEEL, C. A., & HONG-MEI, M. 2008. Higher plant antioxidants and redox signaling under environmental stresses. **Comp. Rend. Biol**. 331: 433-441.
- JOHNSON, R., CURLEY, E.R.G., GEORGE, A., MCCUTCHEON, A.N.D., WALHHOD, V.T., BROOKS, C.R. & YOUNG, P. 1974. Yield potential of short season cotton in narrow rows. **California Agric**. 28 (11): 6-8.
- KRIEG, D.R. 1997. Genetic and environmental factors affecting productivity of cotton. **Proc. Beltwide Cotton Prod. Res. Conf**, 1347 p.
- LONGABERGER, 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.
- LOW, A.J., HESKETH, D. & MURAMOTO, H. 1969. Some enviromental effects on the varietal node number of the first fruting branch. **Cot. Grow. Rev**. 46:181-188.
- MAHMOOD, S., IRFAN, M., RAHEEL, F. & 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.
- MALIK, T.A. & WRIGHT, D. 1997. Use of net photosynthesis and water-use-efficiency in breeding wheat for drought resistance. **Pak. J. Bot.**, 29 (2): 337-346.

- MARIOTTI, J.A. 1986. **Fundamentals of genetics biometrics**: applications to plant genetic improvement, Washington: OEA. 152 p.
- MAUNEY, J.R. 1966. Floral initiation of upland cotton *Gossypium hirsutum* L. in response to temperature. **J. Exp. Bot.** 17: 453-459.
- MCMICHAEL, B.L. & QUISENBERRY, J.E. 1991. Genetic variation for root-shoot relationships among cotton germplasm. **Environ. Exp. Bot.** 31: 461-470.
- MCMICHAEL, B.L. & HESKETH, J.D., 1982. Field investigations of the response of cotton to water deficits. **Field Crops Res.** 5: 319-333.
- MCWILLIAMS, D. 2003. Drought strategies for cotton. In: **New Mexico State University Cooperative Extension Service**. Circular 582. College of Agriculture and Home Economics, New Mexico State Univ., Las Cruces, NM., 5 p.
- PACE, P., CRALLE, H., EL-HALAWANY, S., COTHREN, J. & SENSEMAN, S. 1999. Drought-induced changes in shoot and root growth of young cotton plants. **The Journal of Cotton Science** 3: 183-187.
- PARKHI, V., KUMAR, V., SUNILKUMAR, G., CAMPBELL, L.M., RATHORE, K. S. 2009. Expression of apoplastically secreted tobacco osmotin in cotton confers drought tolerance. **Mol. Breeding**. Spring Science + Business Media B.V. 23: 625-639.
- PAYTAS, M., MIERES, L, AGRETTI, S., DYKE, F. & GREGORET, O. 2012. **Algodón riego y fertilización en condiciones subtropicales**. Publicación anual APPA 2011-12. N°12.
- POTTERS, G., PASTERNAK, T.P., GUISEZ, Y., PALME, K. J. & JANSEN, M.A. 2007. Stress-induced morphogenic responses: growing out of trouble? **Trends Plant Sci.** 12(3), 99-105.
- R.DEVELOPMENT CORE TEAM. 2011: **A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Available at: <http://www.R-project.org/>. Assessed in April 2011.
- RAI, E.P. 2011. **Mechanism of Drought Tolerance in Cotton**- Response of Cotton cultivars to Irrigation in the Texas High Plains. Thesis: B.S. In Soil Science. 86 p.
- RAMÍREZ, L. & EGAÑA, B. 2003. **Guía de conceptos de Genética Cuantitativa**. Universidad Pública de Navarra. 12 p.
- RIJKS, DA. 1967. Water use by irrigated cotton in Sudan I: Reflection of short-wave radiation. **Journal of Applied Ecology**, London, v.4, p.561-568.
- SADRAS, V.O. 1995. Compensatory growth in cotton after loss of reproductive-organs. **Field Crops Research** 40: 1-18.
- SOOMRO, Z.A., KUMBHAR, M.B., LARIK, A.S., IMRAN, M., BROHI, S.A. 2010. Heritability and selection response in segregating generations of upland cotton. **Pak. J. Agric. Res.** 23(1/2): PP. 25-30.
- TCACH, M., IBALO, S., BONACIC, I., OJEDA, D. & MONTENEGRO, A. 2010. Selection of cotton lines for high density plant systems. **Technical memory INTA**, 5 p.
- TURNER, N.C., HEARN, A.B., BEGG, J.E. & CONSTABLE, G.A. 1986. Cotton (*Gossypium hirsutum* L.): Physiological and morphological responses to water deficits and their relationship to yield. **Field Crops Res.** 14: 153-170.
- YAZAR, A., SEZEN, S. M. & 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.