



EVALUACION A CAMPO DEL COMPORTAMIENTO FRENTE A ESTRÉS HIDRICO DE LINEAS ENDOCRIADAS DE GORASOL

Trabajo final de graduación para obtener el título de Ingeniero Agrónomo

Autores:

FERNANDO ARIEL CAMILLETI

EMILIANO MARTIN

Directora:

MSc. / Ph.D./ Ing. Agr. MARIA LIA MOLAS

Cátedra de Fisiología Vegetal de la Fac. de Agronomía

Codirector:

MSc. / Ing. Agr. MIGUEL ANGEL FERNANDEZ

Cátedra de Cereales y Oleaginosas de la Fac. de Agronomía

Evaluadores:

MSc. / Dr. / Ing. Agr. HECTOR PACCAPELO

Cátedra de Genética y Mejoramiento Genético de Plantas y Animales de la Fac. de Agronomía

Dr. / Ing. Agr. DARIO AIMAR

Cátedra de Hidrología Agrícola de la Fac. de Agronomía

FACULTAD DE AGRONOMÍA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA
Santa Rosa, La Pampa, Argentina – Julio 2017

Índice

RESUMEN.....	Página 2
PALABRAS CLAVE.....	Página 2
ABSTRACT.....	Página 2
INTRODUCCION.....	Página 3
• Objetivo General.....	Página 5
• Objetivos Específicos.....	Página 5
MATERIALES Y METODOS.....	Página 5
• Material vegetal.....	Página 5
• Descripción del ensayo.....	Página 6
• Descripción del sitio.....	Página 7
• Análisis estadístico.....	Página 9
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	Página 10
CONCLUSIONES.....	Página 19
AGRADECIMIENTOS.....	Página 20
BIBLIOGRAFÍA.....	Página 20

Resumen

En los últimos años, en el área agrícola de Argentina, y asociado en gran parte al avance de otros cultivos como la soja, el girasol ha sido desplazado hacia áreas marginales de la región pampeana, donde se observa mayor incidencia de estrés abiótico. El estrés hídrico provoca reducciones significativas en el rendimiento y en la calidad del grano de girasol, lo que hace necesario contar con material genético adaptado. En este trabajo se analizó el comportamiento a campo de ocho líneas F2:5 de girasol contrastante en cuanto a su tolerancia a sequía (tolerante –T- y sensible –S) en base a estudios en laboratorio. El objetivo de este trabajo es comprobar si existe una correspondencia entre lo observado en laboratorio y su comportamiento a campo. Para ello se evaluó el área foliar, altura y rendimiento en cuatro estadios del ciclo de desarrollo del cultivo, en condiciones de riego y seco. La línea 16 fue superior al resto en condiciones de seco a campo, corroborando los estudios previos en laboratorio. No se observó diferencias entre las otras líneas, y tampoco en situación de riego o seco. Las altas precipitaciones ocurridas durante el ensayo posiblemente enmascaró ciertas diferencias, lo que hace necesario realizar nuevas evaluaciones a campo.

Palabras claves: Girasol. Estrés hídrico. Región Semiárida Pampeana.

Key words: Sunflower. Water stress. Semiarid Pampa's Region.

Abstract

Recently, in Argentina, sunflower has been displaced to marginal areas of the Pampas region where there is a higher incidence of abiotic stress. Water stress causes significant reductions in the yield and quality of the sunflower grain, which makes it necessary to have adapted genetic material. In this work, we evaluated the field performance of eight lines F2: 5. On the basis of laboratory studies, these lines possess contrasting response in terms of tolerance to

drought (tolerant -T- and sensitive -S). The objective of this work is to verify if there is a correspondence between what is observed in the laboratory and its behavior in the field. For that, leaf area, height and yield were evaluated in four stages of the crop development cycle, under irrigation and rainfed conditions. Line 16 was superior to the rest in rainfed conditions, corroborating the previous studies in the laboratory. No differences were observed between the other lines, nor in irrigation or dry land. The high precipitations occurred during the assay possibly masked other differences, for this reason future experiments testing field behavior of the lines are needed.

Introducción

El girasol (*Helianthus annuus* L.) constituye uno de los principales cultivos oleaginosos del mundo, siendo Argentina y el este europeo (Ucrania, Rusia) los principales centros de producción (Ingaramo, 2016). Es un cultivo que se adapta fácilmente a diferentes ambientes (Díaz-Zorita, 2002) y su importancia radica principalmente en su utilización para la extracción de aceite, mientras que los residuos constituyen también subproductos importantes (concentrados proteicos de origen vegetal). La característica más importante del girasol reside en su elevado porcentaje de aceite que llega a triplicar al de la soja; por esta razón, su rendimiento por hectárea lo convierte en cultivo candidato para producir biodiesel y su posible utilización para obtener biolubricantes, gomas, insumos para la industria de la curtiembre y para otras industrias demandantes de productos biodegradables o ambientalmente sustentables.

En nuestro país existen numerosas regiones con regímenes pluviales irregulares o muy escasos que provocan pérdidas considerables en la productividad de las cosechas.

El área potencial para el cultivo de girasol se extiende desde el Chaco en el norte hasta la provincia de La Pampa en el sur. En estas zonas, las plantas de girasol deben soportar frecuentes períodos de sequía, problemática que se acentúa hacia el oeste del país (Vázquez y Paolini, 1991). Los requerimientos hídricos del cultivo de girasol (*Helianthus annuus* L.), según latitudes, varían estimativamente de 160 a 200 mm hasta la floración y de 200 a 300 mm desde floración hasta madurez fisiológica (Duarte, 1990). De este modo, el déficit hídrico es la limitante más habitual para la producción de girasol (Mercau y col. 2001). Tales condiciones causan una reducción en el rendimiento de aproximadamente 1500 kg de granos/ha.

En los últimos años, en el área agrícola de Argentina, y asociado en gran parte al avance de otros cultivos como la soja, el girasol ha sido desplazado hacia áreas marginales, con mayor incidencia probable de estrés abiótico. En tal sentido, una de las formas de lograr la expansión del área cultivada es obtener variedades tolerantes a estrés ambiental como sequía, bajas temperaturas y salinidad (Dvorák y Ross, 1986).

El estrés hídrico provoca reducciones significativas en el rendimiento y en la calidad del grano de girasol. Los estudios planteados en este trabajo se orientan a la búsqueda de materiales de girasol tolerantes a déficit hídrico.

En la EEA INTA Manfredi los trabajos destinados a seleccionar materiales de girasol tolerantes a sequía comenzaron en la década del 90, en colaboración con la EEA Balcarce y la Universidad Nacional de Río Cuarto (Córdoba). Como resultado de estas selecciones se obtuvieron una serie de líneas tolerantes a estrés hídrico, así como también líneas susceptibles. En el año 2005 se realizaron los cruzamientos T x S (tolerante x susceptible) con la finalidad de desarrollar las poblaciones de mapeo de los genes involucrados. La generación F₁ obtenida fue sembrada en contraestación en la EEA Yuto (Jujuy) a los efectos

de obtener las familias F₂, cuyo ADN esta siendo analizado con marcadores microsatélites y SNPs a los efectos de determinar la asociación entre los genes involucrados en la tolerancia a estrés hídrico y alguno(s) de los marcadores utilizados. Las familias F₂ se han autofecundado con el propósito de fijar caracteres y actualmente se encuentran en su sexta generación de autofecundación (F₂:6). Se ha evaluado en el laboratorio el comportamiento frente a estrés hídrico las líneas F₂ en su tercera generación de autofecundación (F₂:3) y se han identificado aquellas líneas de comportamiento extremo (es decir, aquellas susceptibles y tolerantes a estrés hídrico). En este trabajo se plantea la evaluación a campo de las líneas F₂:5 descendientes de las F₂:3 identificadas como de comportamiento contrastante en laboratorio.

Objetivo General:

Evaluar el comportamiento a campo de líneas F₂:5 y probar si existe una correspondencia con los ensayos llevados a cabo en laboratorio en líneas F₂:3.

Objetivos específicos:

- Analizar variables morfológicas relacionadas con el desempeño de plantas de girasol sembradas a campo correspondientes a líneas F₂:5 tolerantes y sensibles a estrés hídrico, y sus progenitores.
- Evaluar el rendimiento de líneas F₂:5 tolerantes y sensibles a estrés hídrico, y sus progenitores sembradas a campo en condiciones de riego y de secano.

Materiales y Métodos

I. Material vegetal:

Se evaluaron líneas endocriadas (parentales) de girasol de comportamiento contrastante (A59 y R432) y 8 líneas F₂:5 (A59 x R432) pertenecientes al programa de mejoramiento de

girasol del EEA INTA Manfredi (Tabla 1: Denominación de materiales). Las semillas fueron provistas por el mejorador Ing. Agr. Daniel Álvarez.

Tabla 1: Denominación de Materiales, genotipo correspondiente y comportamiento frente a estrés en cámara de crecimiento.

NOMBRE	GENOTIPO	Comportamiento frente a estrés
G1	59	Susceptible
G5	432	Tolerante
G6	HA89	Testigo
G11	59432_148SS5	Susceptible
G12	59432_95SS5	Susceptible
G13	59432_333SS5	Susceptible
G14	59432_336SS5	Susceptible
G15	59432_174TS5	Tolerante
G16	59432_199TS5	Tolerante
G17	59432_224TS5	Tolerante
G18	59432_314TS5	Tolerante
B	BU455DMR	Bordura

II. Descripción del ensayo

El ensayo se sembró el 16 de diciembre de 2009 en la EEA Anguil en parcelas de una línea con 8 plantas por surco, en una hilera de 2.70 m, con cuatro repeticiones en diseño de Alpha lattice al azar. Se realizó un tratamiento de riego por goteo con una provisión de agua suficiente para mantener el suelo en capacidad de campo durante todo el ciclo y el control sin regar. La evaluación se realizó sobre plantas en situación de competencia, donde se encontraron al menos tres plantas continuas, descartándose las plantas de los extremos. Se debe mencionar que en varias ocasiones no se relevó ninguna planta dentro de la línea ya que, debido a fallas en la implantación, con frecuencia las plantas resultaron aisladas. Las líneas

evaluadas pertenecen a un plan de mejoramiento y la simiente es escasa, motivo por el cual no se procedió a la resiembra a campo.

Las variables evaluadas fueron: Plantas establecidas por parcela, rendimiento en grano por capítulo, peso de 1000 semillas, ancho y largo de la 6^a hoja (cm), número de hojas y altura final de planta (cm). En base al largo y ancho de la 6^a hoja se evaluó el área foliar durante cuatro momentos del ciclo fenológico según la metodología propuesta por Aguirrezabal y col. (1996). La determinación del Área Foliar (AF) fue la principal variable que se utilizó en este trabajo como estimador de rendimiento. Así, se estimó la superficie foliar utilizando las siguientes fórmulas, donde Y es la superficie de la hoja y X corresponde al ancho de la hoja:

$$Y = 0,8 X + 0,697 X^2, \text{ para valores de X hasta 21 cm.}$$

$$Y = - 15,2 + 4,297 X + 0.565 X^2, \text{ para valores de X superiores a 21 cm.}$$

III. Descripción del sitio:

III. a. Clima

Los años 2009 y 2010 fueron contrastantes respecto a las precipitaciones. En el año 2009 las lluvias fueron muy inferiores a la media anual. En el año 2010 las precipitaciones estuvieron muy por encima de la media histórica (Figura 1: Precipitaciones 2009/2010 vs media histórica). Durante el ciclo del cultivo (Nov 2009-Abril 2010) las precipitaciones fueron de 696,5 mm, con una precipitación de 355 mm el 10 de marzo.

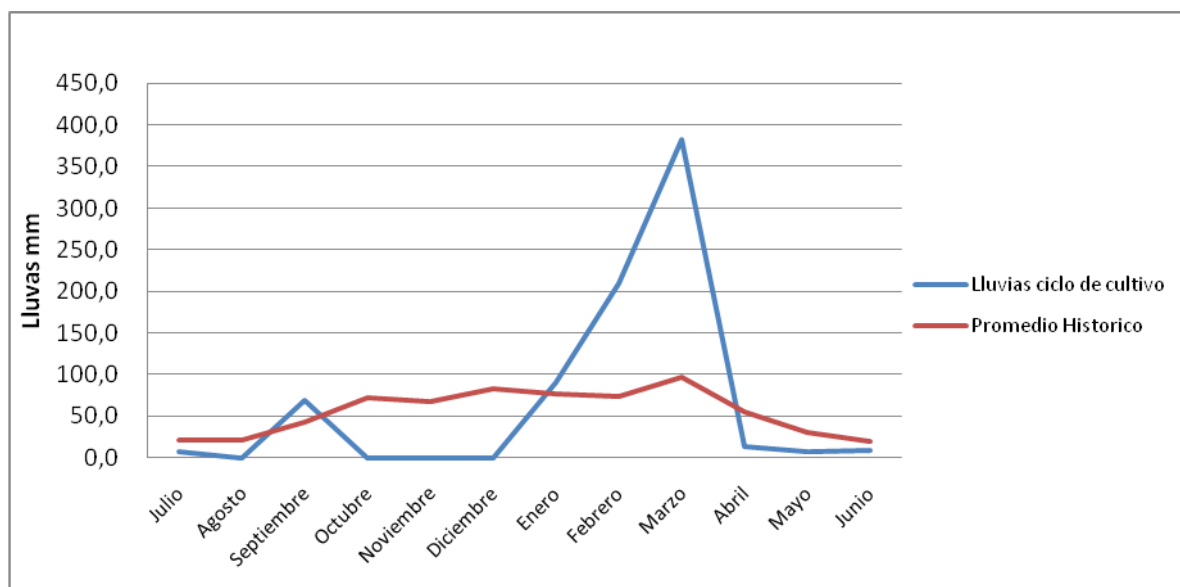


Figura 1: Precipitaciones 2009/2010 vs media histórica en Anguil, La Pampa, Argentina.

La temperatura media durante el ciclo del cultivo estuvo en los rangos normales comparando con la temperatura media histórica (Figura 2).

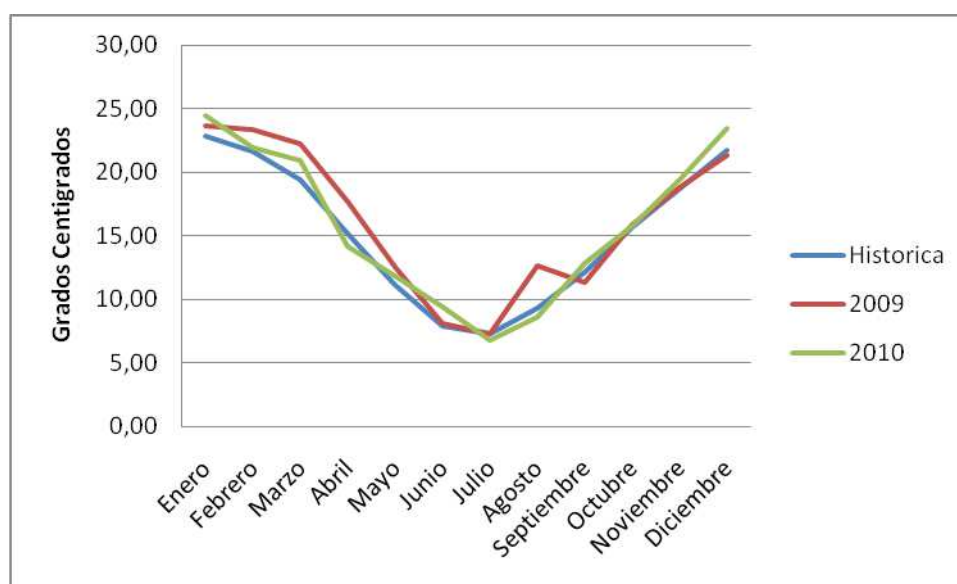


Figura 2: Temperatura media mensual vs media histórica histórica tomada a 1.5 m de altura en Anguil, La Pampa, Argentina.

III.b. Suelo:

El suelo donde se realizó el ensayo presenta las características típicas de la zona (Tabla 2), pudiendo ubicar las parcelas dentro de la clase textural Arenoso franco, con una profundidad de tosca de 3 metros y contando con 185 mm de agua útil a la siembra.

Tabla 2: Composición del suelo en el sitio del ensayo

	A+L (%)	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	NO₃⁻ (kg/ha)	P (ppm)	MO (%)	IMO
0-20	16	2	14	84	35	26	1	6,3
20-40					28			
40-60					10			

III.c. Manejo:

El mes octubre de 2009 se realizó un barbecho corto aplicando 3 litros de Glifosato 48% y 250 cc de Authority. El 16 de diciembre se comenzó con la siembra tardía bajo el sistema de siembra directa con agregado de 40 kg de FDA.

Se controlaron malezas en preemergencia con 3 litros de Glifosato 48%, 900 cc de Acetoclor y 900 cc de Flurocloridona. En post emergencia (V4-V6, Schneiter y Miller, 1981) se aplicó Graminocida Pantera (Quizalofop P Tefuril) 2.5 litros/ha + 900 cc de Clorpirifos.

IV. Análisis estadístico

El diseño del experimento fue Alfa lattice al azar, y se realizó un tratamiento de riego y el control en secano (sin regar). Cada parcela consistió en una línea con 17 plantas por surco con dos repeticiones.

La emergencia de plantas fue desuniforme dentro de la parcela (línea) y condicionó la recolección de datos, dado que la presencia de al menos tres plantas continuas en la línea fue un requisito para responder al principio de competencia. Por tratarse de un ensayo perteneciente a un programa de mejoramiento, la semilla fue una limitante y no fue posible una resiembra. Esto explica la ausencia de valores en algunas parcelas.

Este inconveniente condicionó el análisis estadístico, por tal motivo se realizó un análisis de tipo espacial con efecto de fila y columna según la disposición en el terreno, utilizando un diseño en bloque con dos repeticiones utilizando el software SAS.

Resultados y discusión

I. Área foliar, altura y rendimiento de líneas tolerantes y sensibles en condiciones de riego y secano.

La emergencia de plantas fue desuniforme dentro de la parcela (línea) y condicionó la recolección de datos, dado que la presencia de al menos tres plantas continuas en la línea fue un requisito para responder al principio de competencia. Este ensayo forma parte de un programa de mejoramiento en desarrollo, donde se evalúan genotipos en diferentes ambientes, por tal motivo la semilla disponible fue escasa y esta limitación no permitió la resiembra de los individuos faltantes.

Las variables área foliar y altura de planta fueron evaluadas en cuatro momentos durante el desarrollo del cultivo, según lo propuesto por la escala fenológica de Schneiter y Miller (1981): Estado V8 (fecha 11/01/2010), estado R2 (fecha 28/01/2010), estado R4 (fecha 05/02/2010) y estado R8 (fecha 04/03/2010). Al finalizar el ensayo se evaluó rendimiento por capítulo. Los resultados de área foliar, altura y rendimiento se presentan en Tabla 3, 4 y 5 respectivamente.

Tabla 3: Valores de área foliar (cm²) en líneas F2:5 tolerantes y sensibles y sus parentales tolerantes y sensibles durante cuatro momentos del ciclo del cultivo.

Genotipo	Riego				Secano			
	Promedio Area Foliar				Promedio Area Foliar			
	11/1/2010	28/1/2010	5/2/2010	4/3/2010	11/1/2010	28/1/2010	5/2/2010	4/3/2010
G 1	60,61	805,58	1543,15	3398,32	178,92	1222,37	3111,38	3745,97
G 5					756,31	4203,90	5962,88	5227,46
G 11	23,96	997,91	2039,67	2952,20	11,53	3925,90	2429,69	
G 12	13,45	1198,98	2824,50	2278,80	283,59	2824,14	3934,17	3289,01
G 13					192,03	1882,88	3321,44	2772,55
G 14	42,76	1748,39	4697,40	5762,22	479,95	736,69	4136,44	4033,75
G 15	134,05	1844,25	2128,62	2047,11	275,06	2480,58	4431,33	4795,96
G 16	610,48	5772,99	9429,85	8655,77	314,72	2324,70	4094,93	4022,31
G 17	90,88	1660,40	3410,93	3298,77	563,53	3564,20	3830,59	3183,86
G 18	11,59	902,19	2000,03		105,74	1920,61	3037,24	2451,68

Cada valor es el promedio de dos repeticiones (parcelas), y a su vez el valor de cada parcela corresponde al promedio de tres plantas creciendo en competencia. Los genotipos 1, 11, 12, 13 y 14 son susceptibles; los genotipos 5, 15, 16, 17 y 18 son tolerantes.

Se puede observar la ausencia de datos en varias parcelas, hecho que se repite en las tres variables que se presentan en Tabla 3, 4 y 5. Los casilleros donde no se registran valores indican que no hubo plantas en condición de competencia, y, en consecuencia, no se relevó información. Asimismo, se observó una elevada variabilidad entre repeticiones correspondiente a cada variedad. Ambos motivos pueden explicar la falta de significancia estadística al analizar estos datos mediante análisis de la varianza.

Tabla 4: Valores de altura de planta (cm) en líneas F2:5 tolerantes y sensibles y sus parentales tolerantes y sensible durante cuatro momentos del ciclo del cultivo.

Genotipo	Riego				Secano			
	Promedio Alturas				Promedio Alturas			
	11/1/2010	28/1/2010	5/2/2010	4/3/2010	11/1/2010	28/1/2010	5/2/2010	4/3/2010
G 1	15,50	41,08	91,83	116,00	17	46,8	111,3	125,8
G 5					27,5	96,2	146,7	130,7
G 11	11,00	58,67	127,17	132,00	6	25,0	60,0	
G 12	14,00	43,17	93,75	96,88	25	90,5	138,5	144,5
G 13					18	70,1	118,8	122,0
G 14	13,00	53,00	120,00	157,00	37	113,3	158,3	163,7
G 15	23,00	82,83	139,25	141,00	23	88,8	144,3	147,0
G 16	24,00	102,00	153,67	156,33	23,5	73,0	127,4	132,2
G 17	17,00	57,92	113,83	115,67	22	78,5	123,7	124,0
G 18	17,00	47,00	100,50		17,5	63,8	118,3	120,0

Cada valor es el promedio de dos repeticiones (parcelas), y a su vez el valor de cada parcela corresponde al promedio de tres plantas creciendo en competencia. Los genotipos 1, 11, 12, 13 y 14 son susceptibles; los genotipos 5, 15, 16, 17 y 18 son tolerantes.

La falta de datos en algunas parcelas condicionó el análisis estadístico, por tal motivo se realizó un análisis de tipo espacial con efecto de fila y columna según la disposición en el terreno, utilizando un diseño en bloque con dos repeticiones.

Tabla 5: Rendimiento (gramos/capítulo) en líneas F2:5 tolerantes y sensibles y sus parentales tolerantes y sensibles.

Genotipo	Riego	Secano
G 1	79,35	72,85
G 5		203,75
G 11	119,3	8,8
G 12	24,2	79,2
G 13		67,05
G 14	18,4	
G 15	11,95	143,55
G 16	422,8	138,2
G 17	121,45	79,75
G 18	55,6	25,4

Cada valor es el promedio de dos repeticiones (parcelas), y a su vez el valor de cada parcela corresponde al promedio de tres plantas creciendo en competencia.. Los genotipos 1,11,12,13 y 14 son susceptibles; los genotipos 5,15,16,17 y 18 son tolerantes.

En este análisis, la interacción cultivar x tratamiento (con riego y sin riego) no fue significativa ($p < 0.268$), mientras que sí se observaron diferencias entre cultivares con un nivel de significancia de $p < 0.06$ % (Tabla 6). Se consideró en este trabajo que este nivel de significancia permitiría encontrar diferencias valiosas que merecen ser evaluadas y podrían ayudar a esclarecer la hipótesis planteada en este proyecto. La hipótesis subyacente en este trabajo supone que las líneas evaluadas a campo presentan similar comportamiento (de tolerancia y susceptibilidad) frente a estrés hídrico que aquel manifestado en cámara de crecimiento.

Tabla 6: Análisis de la varianza de la variable rendimiento, con dos factores (cultivar y condición de riego).

Efecto	Num DF	Den DF	Valor de F	Pr > F
Tratamiento (riego/sin riego)	1	13	0.00	0.99
Cultivares	17	13	2.31	0.066
Tratamiento x Cultivar	12	13	1.42	0.2687

Dado que la comparación de las líneas (tolerantes, sensibles y su progenie) es un supuesto planteado *a priori*, se analizó la comparación entre pares de medias mediante el test LSD. En esta comparación se utilizó el promedio de rendimiento bajo riego y seco (expresado en gramos por capítulo) de cada una de las líneas. Esta comparación arrojó diferencias significativas entre las líneas 11 (susceptible) y 16 (tolerante); entre la línea 12 (susceptible) y 16 (tolerante); entre la línea 15 (tolerante) y 16 (tolerante); entre la línea 16 (tolerante) y 17 (tolerante); y entre la línea 16 (tolerante) y 18 (tolerante) (Figura 3).

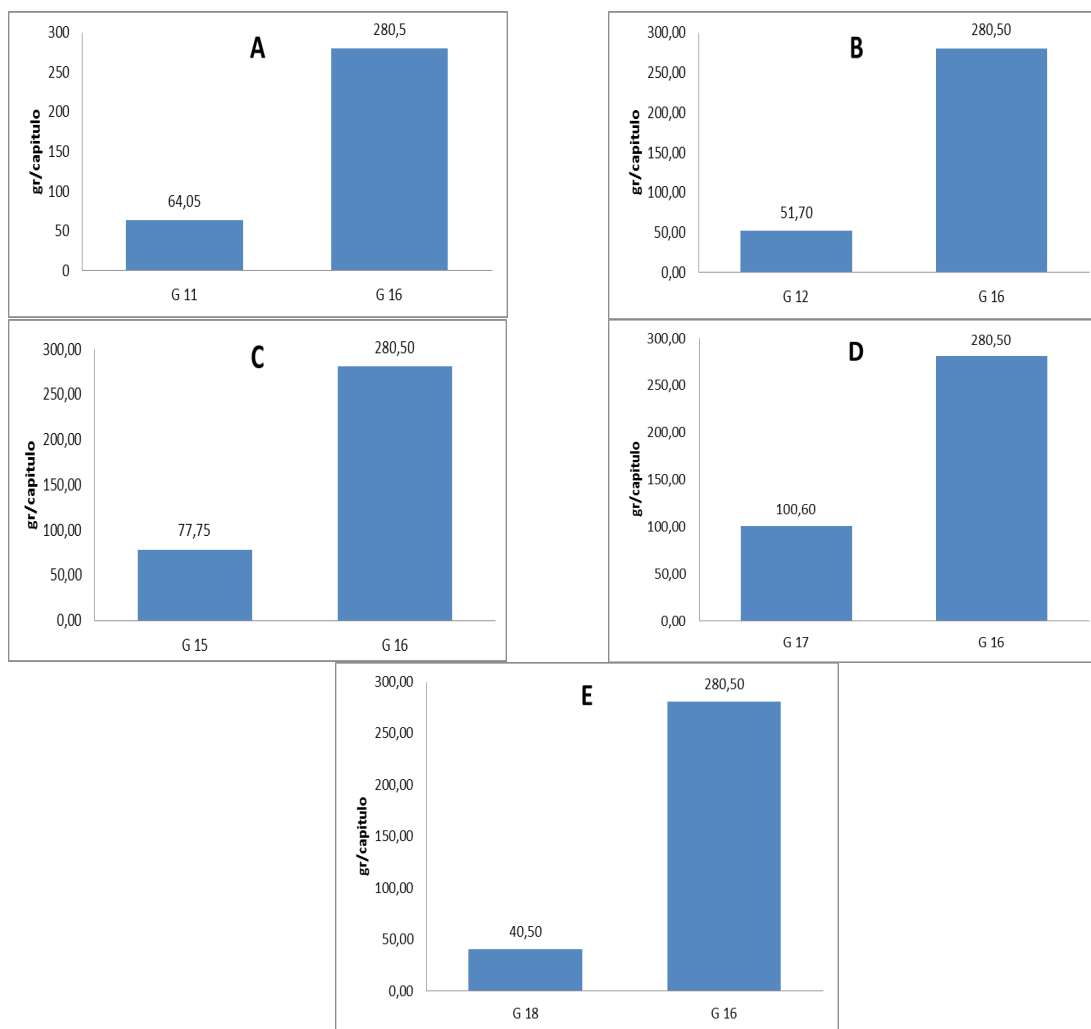


Figura 3: Rendimiento promedio (riego y sequia) expresado en gramos por capitulo, de genotipos con comportamiento contrastante. A. Línea 11 (susceptible) y 16 (tolerante), B. Línea 12 (susceptible) y 16 (tolerante), C. Línea 15 (tolerante) y 16 (tolerante), D. Línea 16 (tolerante) y 17 (tolerante), E. Línea 16 (tolerante) y 18 (tolerante).

Del análisis de estos resultados surge como relevante el comportamiento de la línea 16, que se manifiesta como un genotipo superior en todas las comparaciones que mostraron diferencias estadísticamente significativas.

Un aspecto que se debe tener en cuenta al momento de analizar los resultados obtenidos, y que podrían enmascarar diferencias de comportamiento en líneas tolerantes y sensibles, es la disponibilidad de agua del cultivo durante el desarrollo de su ciclo. La condición de secano a la que estuvo sometido el ensayo no represento una restricción hídrica para el cultivo, tal cual

fue prevista, con el fin de poder evaluar genotipos con comportamiento diferencial frente a estrés hídrico. De hecho, durante el periodo del cultivo (Nov 2009-Abril 2010) las precipitaciones fueron de 696,5 mm. Esta situación podría explicar la falta de diferencias encontradas en el rendimiento de las líneas tolerantes y sensibles. Este hecho también pudo tener una influencia en el resultado observado entre las líneas tolerantes y su comportamiento diferencial.

III. Diferencias entre tratamientos (riego vs secano) se manifestaron en la línea 16

Se realizaron comparaciones independientes de la producción de semillas por capítulo en condiciones de riego versus secano dentro de cada una de las líneas. Se comparó el rendimiento de semilla en gramos por capítulo en secano y en riego, y este análisis arrojó una diferencia significativa en la línea 16 ($p > 0.05$). El rendimiento por capítulo en condiciones de riego fue de 423 gr., mientras que en secano fue de 138 g.

Este resultado sugiere que la línea 16 presenta adaptabilidad a las condiciones ambientales, ya que responde ante una situación de irrigación, en comparación con secano, expresando su potencial de rendimiento. Esto la destaca del resto de los genotipos considerados en este análisis, que no manifiestan esta característica al menos en las condiciones evaluadas. Esta diferencia está en consonancia con el resultado obtenido al comparar el rendimiento de las líneas entre sí, donde el genotipo 16 se destacó del resto.

Estudios realizados en 32 híbridos de girasol a lo largo de 15 ambientes en Argentina permitieron establecer que la especie presenta una alta plasticidad en el rendimiento en ambientes de alta productividad. Este comportamiento estuvo asociado con una alta plasticidad en el tiempo a antesis y, más precisamente, con una antesis tardía (Sadras et al.,

2009). Desde el punto de vista del mejoramiento, sería de interés establecer las bases genéticas de esta plasticidad fenotípica y en qué medida la plasticidad se superpone o es independiente del control primario de la fenología propia de la planta. Sería importante proyectar estudios que aborden el análisis del ciclo fenológico de la línea 16 con vistas a conocer si este genotipo ajusta su ciclo de crecimiento frente a diferentes situaciones ambientales y en qué etapa de su desarrollo se produce dicho ajuste. Esto podría contribuir a la mejor comprensión de las bases morfo fisiológica que componen el rendimiento en esta línea.

IV. Área foliar y altura de la línea 16.

Al analizar los rendimientos se observa que la línea 16 se destacó por sobre el resto ($p < 0.05$, Fig. 3) y, a su vez, hay un comportamiento diferencial entre las condiciones de riego y secano ($p < 0.05$, Fig. 4). Este comportamiento podría estar explicado por el mayor área foliar o la mayor altura de esta línea si se lo compara con el promedio de todas las tolerantes y susceptibles. En las Figuras 4 y 5 se muestra el área foliar y la altura, respectivamente, de la línea 16 comparado con los genotipos susceptibles y tolerantes, en condiciones de riego y de secano.

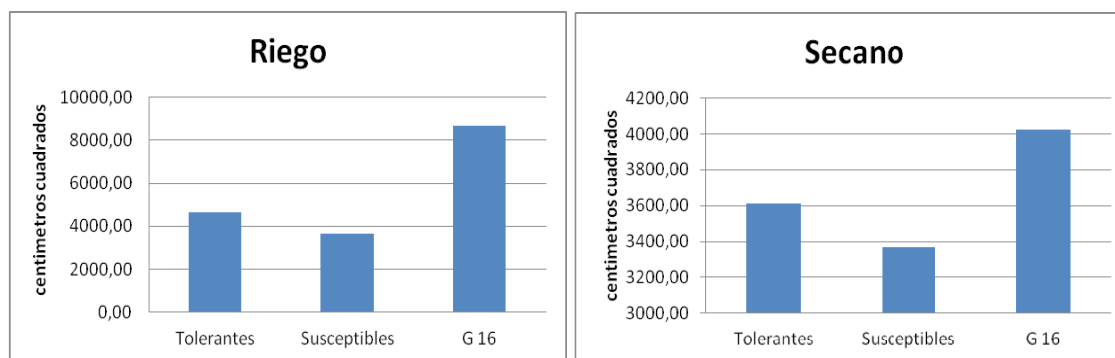


Figura 4: Área foliar (cm^2) al momento de la cosecha de la línea 16 versus el promedio de líneas tolerantes y sensibles, en riego (A) y en seco (B).

Asimismo, se observó una diferencia significativa en el área foliar del genotipo 16 entre las condiciones de riego y de seco. Esto no sucedió en la variable altura de planta, por lo cual se podría inferir que el área foliar es un aspecto relevante a la hora de explicar las diferencias encontradas en el rendimiento de esta línea en condiciones de seco y de riego.

Esto está en línea con lo conocido hasta el momento en numerosos cultivos (incluyendo al girasol). Existe una estrecha relación lineal entre la cantidad de radiación lumínica interceptada por la planta y su crecimiento en peso seco. La fotosíntesis total del cultivo depende principalmente de dos componentes. Por un lado, depende de la superficie verde del cultivo capaz de captar la energía lumínica (capacidad de interceptar la radiación solar incidente a través del follaje verde). Por otro lado, depende de la actividad de su aparato fotosintético por unidad de superficie verde del cultivo (capacidad para convertir la radiación interceptada en asimilados, es decir, en energía química). La actividad del aparato fotosintético del cultivo es muy difícil de modificar por mejoramiento. En cambio, la superficie foliar y su arquitectura pueden ser modificados, no sólo genéticamente, sino también a través del manejo del cultivo.

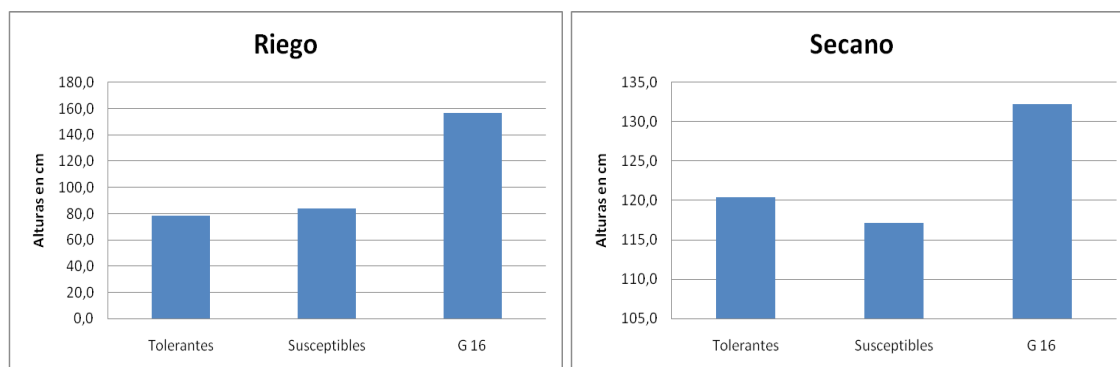


Figura 5: Altura (cm) al momento de la cosecha de la línea 16 versus el promedio de líneas tolerantes y sensibles, en riego (A) y en secano (B).

Los resultados de ensayos donde se modifican la densidad, la geometría de siembra, o la arquitectura de la planta, demuestran que hay una correlación positiva entre rendimiento por planta y su superficie foliar (Cardinalli et al., 1985, Aguirrezabal et al., 1987), y entre el rendimiento por unidad de superficie de suelo y el Índice de Área Foliar (IAF, Cardinalli et al., 1985), por lo menos hasta que el IAF alcanza el 90 % de su valor máximo.

En girasol más precisamente, se realizaron estudios sobre la plasticidad en el crecimiento de hojas en cuatro líneas endocriadas, donde se comparó la cinética de expansión de las hojas durante un tratamiento de estrés osmótico y salino. El área foliar fue menor en las plantas sometidas a estrés, sin embargo las curvas de crecimiento no mostraron diferencias que pudieran ser atribuibles a dicha situación de estrés. Es decir, los cambios en la cinética de crecimiento fueron similares bajo diferentes intensidades de estrés (Ceccoli et al., 2015), lo que produjo plantas con igual número de hojas, pero menor área foliar en situación de estrés. De la misma manera, en este estudio la línea 16 manifestó diferencias en el área foliar en condiciones de secano y de riego (Fig. 5), sin embargo no mostro diferencias en el número de hojas entre el tratamiento de riego y el de secano (28 y 27 hojas respectivamente).

Los resultados reportados por Sadras y col. (2009) demuestran la presencia de plasticidad fenotípica en girasol, e indican que el ajuste de la duración del ciclo fenológico del

cultivo se localiza durante la antesis, sin embargo no indican variaciones durante el periodo vegetativo de cultivo. Esto está en concordancia con los resultados descritos en el párrafo anterior, donde se observa que frente a una situación de estrés no se producen cambios significativos en la tasa de expansión y de aparición de las hojas, o del ciclo vegetativo del cultivo, sino una disminución del área foliar si se compara una situación óptima de crecimiento y una de estrés (Cecoli y col. 2009).

En base a lo observado en este estudio, se puede decir que el área foliar es una variable de ajuste en frente a diferentes condiciones ambientales. Más aun, la reducción del área foliar total de la planta obedece a un menor tamaño de la lámina y no a un menor número de hojas, lo que podría explicar un comportamiento superior de la línea 16. Asimismo, surge la importancia de profundizar el estudio de la fenología de esta línea 16 en comparación con las otras líneas y con sus progenitores en condiciones de buena irrigación y de secano. Esta información sería valiosa para comprender las bases fisiológicas y genéticas que estarían condicionando un comportamiento superior.

Conclusiones

- La línea 16 muestra superioridad en comparación con el resto de las líneas evaluadas y con sus progenitores, lo que sugiere profundizar en los estudios sobre su comportamiento en ambientes semiáridos.
- Se observa que el área foliar es una variable de estudio valiosa que permitiría explicar el comportamiento de esta línea

- Las elevadas precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo podrían enmascarar el comportamiento de las líneas tolerantes y sensibles frente a los tratamientos de riego y seco.
- Se sugiere profundizar los estudios de la fenología del cultivo para una mejor comprensión de los mecanismos ajuste en diferentes situaciones ambientales.

Agradecimientos

Agradecemos los valiosos aportes realizados por el Ing. Agr. Fransisco Babinec en lo referente al análisis estadístico y la discusión de estos resultados.

Bibliografía

Aguirrezabal L.A.N., Orioli G.A., Hernández L.F., Pereyra V.R., Miravé J.P. (1996) Girasol. Aspectos fisiológicos que determinan el rendimiento. Unidad Integrada Balcarce, EEA INTA Balcarce y Facultad de Cs. Agrarias de la Universidad de Mar del Plata. Argentina. pp. 35-95.

Cardinali F.J., Orioli G.A. y Pereyra V.R. 1985. Comportamiento de dos híbridos de girasol a bajas densidades de siembra. Rev.Fac. de Agronomía 6: 131-139.

Chimenti C.A., Vázquez A., Hall A.J. y Romano, A. (1991) Estimación de la heredabilidad del ajuste osmótico en girasol (*Helianthus annuus* L.) Actas Primera Reunión Nacional de Oleaginosas, pp.401-406.

Céccoli G., Bustos D., Ortega LI, Senn ME, Vegetti A, Taleisnik E (2009) Plasticity in sunflower leaf and cell growth under high salinity

Díaz-Zorita M. (2002) Nutrición mineral y fertilización. In: Díaz-Zorita, M., y Duarte, G.A. Manual práctico para el cultivo de girasol. Editorial Hemisferio Sur-INTA, Buenos Aires, Argentina. pp. 77-96.

Duarte, G.A. (1990) Manejo del agua y fertilización del cultivo. Girasol: Cuaderno de actualización técnica N° 62. AACREA. pp. 22-31.

Dvorák J. y Ross K. (1986) Expression of tolerance of Na, K, Mg, Cl, and SO ions and sea water in the amphiploid of *Triticum aestivum* x *Elytrigia elongata*. *Crop Sci.* 26, 658-660.

Ingaramo, R. 2016 GIRASOL: La Argentina produciría 3,6 mill. de toneladas. <http://info.bcp.org.ar/ArchivosPublicados/2016.09.28/girasolhoy-26-09-16.pdf>

Mercau J.L., Sadras V.O., Satorre E.H., Messina C., Balbi C., Uribelarrea M. y A.J. Hall (2001). On-farm assessment of regional and seasonal variation in sunflower yield in Argentina. *Agricultural Systems* 67: 83-103

Pereyra-Irujo GA, Velazquez L, Lechner L y Aguirreza'bal LAN. (2008) Genetic variability for leaf growth rate and duration under water deficit in sunflower: analysis of responses at cell, organ, and plant level *Journal of Experimental Botany* 59: 2221–2232

Sadras VO, Reynolds MP, de la Vega AJ, Petrie PR, Robinson R (2009) Phenotypic plasticity of yield and phenology in wheat, sunflower and grapevine. *Field Crops Research* 110: 242–250

Schneiter AA, Miller JF (1981) Description of sunflower growth stages. *Crop Science* 21: 901-903.

Vázquez, M. y Paolini, J.C. (1991) Reunión nacional de oleaginosos. Rosario, Argentina, pp. 21-26.