

TRABAJO DE INTENSIFICACIÓN

Evaluación de la tolerancia al estrés por frío en girasol cultivado



**ALUMNO
MONTENEGRO IVÁN**

**DOCENTE TUTOR
DR. PRESOTTO ALEJANDRO**

**DOCENTES CONSEJEROS
DRA. CARRERA ALICIA
DR. PANDOLFO CLAUDIO**

**ASESOR EXTERNO
DR. HERNÁNDEZ FERNANDO**

**DEPARTAMENTO DE AGRONOMÍA
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
2022**

Índice

Índice	2
Índice de Tablas	3
Índice de Figuras	3
Resumen	4
Introducción	5
Objetivo	8
Materiales y Métodos	9
Material vegetal	9
Diseño experimental	10
Análisis de datos	16
Resultados	17
Correlación de caracteres	17
Variación fenotípica dentro de cada fecha de siembra	18
Variación fenotípica entre fechas de siembra	20
Discusión	25
Conclusión	29
Agradecimientos	30
Referencias	31

Índice de Tablas

1	Líneas utilizadas en el ensayo.	9
2	Análisis de correlación de Pearson.	17
3	Resumen del análisis ANOVA.	19

Índice de Figuras

1	Esquema de producción de semillas híbridas de girasol	7
2	Imagen satelital del campo experimental del Departamento de Agronomía.	10
3	Distribución de las temperaturas medias y mínimas durante la FS1	11
4	A Distribución de las cajas de petri en la siembra.	12
	B Semillas pregerminadas previas a la siembra.	12
	C Cultivares emergiendo protegidos por una malla anti helada.	13
	D Distribución de los 5 bloques.	13
	E Parcela del ensayo enmalezada.	13
	F Estado de la parcela después del desmalezado manual.	13
	G Registro del estado fenológico y medición de las variables cuantitativas.	14
	H Estufa	15
	I Distribución del material vegetal en la estufa.	15
5	Biomasa. Bloques, Fecha de siembra 1.	18
6	Biomasa. Grupos genéticos y Fecha.	20
7	A Ancho de hojas. Grupos genéticos.	21
	B Altura de planta. Grupos genéticos.	21
8	Área foliar, en V6.	22
9	Área foliar, en V8.	23
10	Biomasa	24
11	A Biomasa. Lineas, Fecha de siembra 1.	26
	B Área foliar, en V6. Lineas, Fecha de siembra 1.	27

Resumen

En Argentina, el cultivo de girasol (*Helianthus annuus* L.) es producido en su mayoría en zonas marginales, con alta incidencia de estrés de tipo abiótico durante el período reproductivo. El adelanto de la fecha de siembra permitiría reducir el impacto del estrés mencionado; sin embargo, la mayor probabilidad de incidencia de heladas en fechas de siembra tempranas y la susceptibilidad de los híbridos actuales a las mismas, limitan el uso de esta práctica. El objetivo del trabajo fue evaluar la diversidad genética para la tolerancia a frío en girasol cultivado. Para esto, se utilizó una colección de líneas puras (37 mantenedoras y 43 restauradoras) de la empresa ACA Semillas en dos fechas de siembra; FS1: mediados de agosto, frío con incidencia de heladas y FS2: mediados de octubre, considerada óptima. Las variables registradas fueron altura de planta, largo de hoja, ancho de hoja y área foliar en dos estadios (V6 y V8) y biomasa (V8). Se observaron grandes cambios debido a la temperatura, incidencia de heladas entre las fechas de siembra. Dentro de cada fecha de siembra, las líneas mantenedoras mostraron, en promedio, mayor crecimiento que las restauradoras, aunque se observó una amplia variabilidad dentro de cada grupo genético. El ancho de hoja (variable no destructiva y de fácil medición) mostró una alta correlación con la biomasa, indicando que puede ser utilizada para practicar selección indirecta. Existe una amplia diversidad genética para el crecimiento en condiciones de bajas temperaturas dentro del germoplasma cultivado analizado.

Introducción

La aparición y expansión de la agricultura dio inicio a una nueva forma de vida en las sociedades humanas (Guillen 2010). Dejando atrás el nomadismo, la humanidad ha sabido aprovechar de las especies vegetales todos sus atributos, para obtener con su uso algo tan básico como es su alimentación, la de una población que fue aumentando de forma constante hasta el día de hoy. Sin saberlo, estas sociedades estaban dando inicio a un proceso que hoy conocemos como domesticación. La domesticación se puede definir como un proceso continuo, en el cual, mediante selección de individuos con mejores atributos, se conduce a una mayor adaptación de las plantas al cultivo y utilización por parte de los humanos (Gepts 2004).

Debido a los procesos de selección y de deriva génica durante la domesticación, las especies domesticadas presentan una menor diversidad genética respecto a sus ancestros silvestres (Chen 2015). Además, debido a la selección por rasgos que faciliten su utilización por el hombre, las especies domesticadas tienen frecuentemente una aptitud reducida o, en algunos casos, incapacidad para sobrevivir fuera del cultivo (Gepts, 2004; Meyer y col. 2012). Sobre esto Darwin manifestó que las modificaciones morfológicas seleccionadas durante la domesticación han sido de tal magnitud que muchas plantas de cultivo ya no pueden sobrevivir en la naturaleza sin la ayuda humana (Darwin 1868).

Para satisfacer la demanda de alimentos de una población en constante crecimiento (ONU 2019), es necesario aumentar los rendimientos (producción por unidad de superficie) o expandir la superficie cultivable. Por este último punto, las fronteras agrícolas deben expandirse a nuevas áreas (Marini 2008) y en este proceso los cultivos deben poder adaptarse a condiciones ambientales diferentes a las de su desarrollo óptimo, hablamos de condiciones de estrés para los cultivos. Podemos definir el estrés, como la presencia de uno o varios factores externos a la planta provocado por el medio ambiente, que ejerce una influencia negativa sobre su crecimiento y desarrollo (Chapin y col. 1998). En la mayoría de los casos, las condiciones de estrés disminuyen significativamente los rendimientos. Por esto,

actualmente, una gran cantidad de estudios se centran en encontrar la forma en que los cultivos puedan producir rendimientos aceptables en condiciones de estrés.

En el presente trabajo estudiaremos uno de esos cultivos, el girasol (*Helianthus annuus* var *macrocarpus*). Esta especie fue domesticada en el centro este de América del norte, unos 4500-5000 años atrás (Smith 2013). Hoy es una de las oleaginosas más cultivadas en el mundo, con una producción mundial de 50,2 Mt (FAO, 2021), ocupando Argentina el tercer puesto con 3,9 Mt, luego de Rusia y Ucrania. El aceite de girasol ocupa el cuarto lugar de importancia a nivel mundial en cuanto a producción (20,1 Mt), luego del aceite de palma (74,6 Mt), soja (59,9 Mt) y colza (24,4 Mt) (FAO, 2021). En Argentina, el cultivo de girasol conforma uno de los complejos productivos más importantes, con ingresos generados por sus exportaciones (aceite 45% / pellet 45% / semilla 10%) en la campaña 2021 de aproximadamente 1.400 millones USD (BCR 2021).

En los últimos 30 años, el cultivo de girasol ha sido desplazado de la zona núcleo de la Región Pampeana debido principalmente a la gran expansión del cultivo de soja (Quiroga y col. 2008), motivada por el aumento en la demanda internacional de proteínas vegetales y el consecuente aumento de precio de esta oleaginosa. Actualmente su producción, casi exclusivamente en condiciones de secano, se concentra en el sur de la provincia de Buenos Aires, este de La Pampa y noreste argentino (Hall y col. 2013), ambientes con menor potencial de rendimiento y mayor variabilidad ambiental. Esto ha causado un estancamiento en los aumentos de rendimientos medios, en el tiempo transcurrido desde la introducción masiva de híbridos (de la Vega y col. 2007; de La Vega 2012). Las áreas de producción de girasol varían desde ambientes subtropicales (Chaco, 26° latitud Sur) a templados-fríos (Sur de Buenos Aires, 36° latitud Sur) (de La Vega 2012; Hall y col. 2013).

En el área de influencia de la Universidad Nacional del Sur, la producción de girasol está limitada por una corta estación de crecimiento (período libre de heladas=148-177 días; FAUBA 2018), menor fertilidad de los suelos y una alta probabilidad de estrés hídrico y por calor durante los meses de verano. El desarrollo

de cultivares con mejor comportamiento a frío (incluida la tolerancia a heladas) permitiría adelantar la fecha de siembra, evitando así que la floración ocurra en el mes con mayor probabilidad de estrés. Además, se prevé que en los próximos años habrá un aumento en la frecuencia e intensidad de temperaturas extremas (incluyendo heladas tardías) las cuales podrían afectar seriamente la implantación y productividad de los cultivos (Gornall y col. 2010).

En Argentina, la producción de girasol se realiza casi exclusivamente mediante el uso de semilla híbrida. La producción de semilla híbrida (Figura 1), se basa fundamentalmente en el empleo de líneas con androesterilidad citoplasmática (A) que actúan como madres, líneas mantenedoras de la androesterilidad (B) y líneas restauradoras de la fertilidad (Rf), que actúan como padres (Sanchez y col. 2009). Las líneas androestériles y mantenedoras se diferencian solo en el citoplasma (estéril y fértil, respectivamente) mientras que las líneas mantenedoras y restauradoras pueden presentar grandes diferencias genéticas, lo que maximiza el vigor híbrido o heterosis de la progenie (Sanchez y col. 2019). Estudios previos demostraron que las líneas mantenedoras y los restauradores forman dos grupos genéticos (Nambeesan y col. 2015), sin embargo, no se ha explorado si estos grupos genéticos difieren en características agronómicas, como la tolerancia a frío.

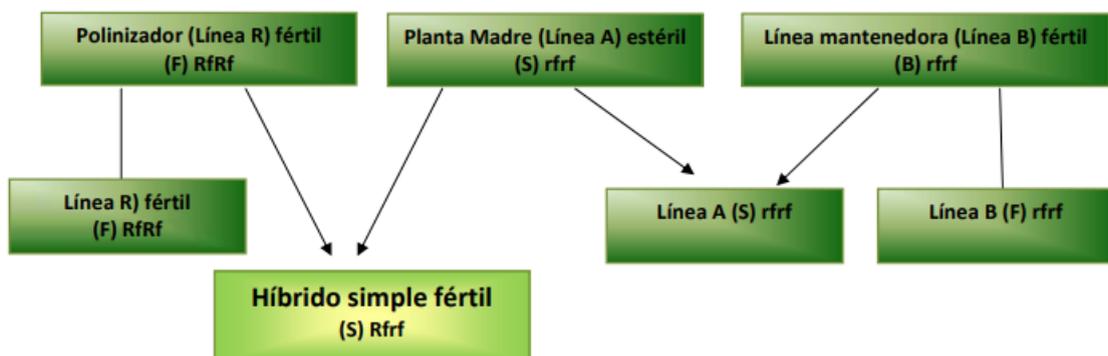


Figura 1: Esquema de producción de semillas híbridas de girasol (Sanchez y col. 2009).

En el presente trabajo se utilizó un conjunto de líneas elite de girasol con procedencias y pedigrís diversos, contando el mismo con una amplia variabilidad en los niveles de tolerancia a bajas temperaturas.

Objetivo

El objetivo del trabajo fue analizar la tolerancia al frío en una colección de líneas puras (mantenedoras y restauradores) de la empresa ACA Semillas. Para esto, se sembraron los genotipos en macetas a campo en una fecha temprana y se la comparó con una fecha de siembra recomendada para la zona. Los objetivos específicos fueron: 1) explorar la variabilidad en la respuesta a frío dentro de la colección de líneas; 2) analizar si la variabilidad observada tiene relación con los grupos genéticos (mantenedoras o restauradoras) de las líneas parentales.

Diseño experimental

El ensayo se realizó en el campo experimental del Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina (Figura 2).



Figura 2: Imagen satelital del campo experimental del Departamento de Agronomía - UNS - Octubre 2019 (en amarillo ubicación de la parcela utilizada en el ensayo) - 38°41'47.02"S 62°14'56.00"O.

Para evaluar la tolerancia al estrés por frío, la colección se sembró en dos fechas de siembra: 20 de agosto (FS1) y 23 de octubre (FS2). Estas fechas representan dos tipos de ambientes claramente diferentes: frío con incidencia de heladas (FS1) y óptimo (FS2).

Las estadísticas climáticas normales indican que los valores medios mensuales de las temperaturas en Bahía Blanca son 9,4°C (16,3/3,9°C máximo y mínimo, respectivamente) para agosto, 11,6°C (18,5/5,6°C) para septiembre, 15,1°C (22,2/8,5°C) para octubre y 18,7 °C (25,9/11,4 °C) para noviembre (SMN, 2021). Al analizar las condiciones climáticas en las que se realizó el ensayo de la FS1 se observó que: durante el mes de agosto la temperatura media fue superior al histórico (10,6°C); durante los meses de septiembre y octubre, las temperaturas media y mínima promedio fueron menores que el histórico (11,1°C y 3,3°C para

septiembre; 14,1°C y 6,9°C para octubre); septiembre presentó mayormente días con mínimas por debajo de los 3°C con un mínimo absoluto de -7,4 °C el 4 de septiembre (Figura 3). Durante la FS2, la temperatura media del ensayo fue de 18,2 °C y la temperatura mínima promedio 10,6 °C, registrándose un mínimo absoluto de 5,7 °C el 23/11. Estos valores se ubican levemente por debajo del promedio histórico, pero no afectan el normal desarrollo del girasol.

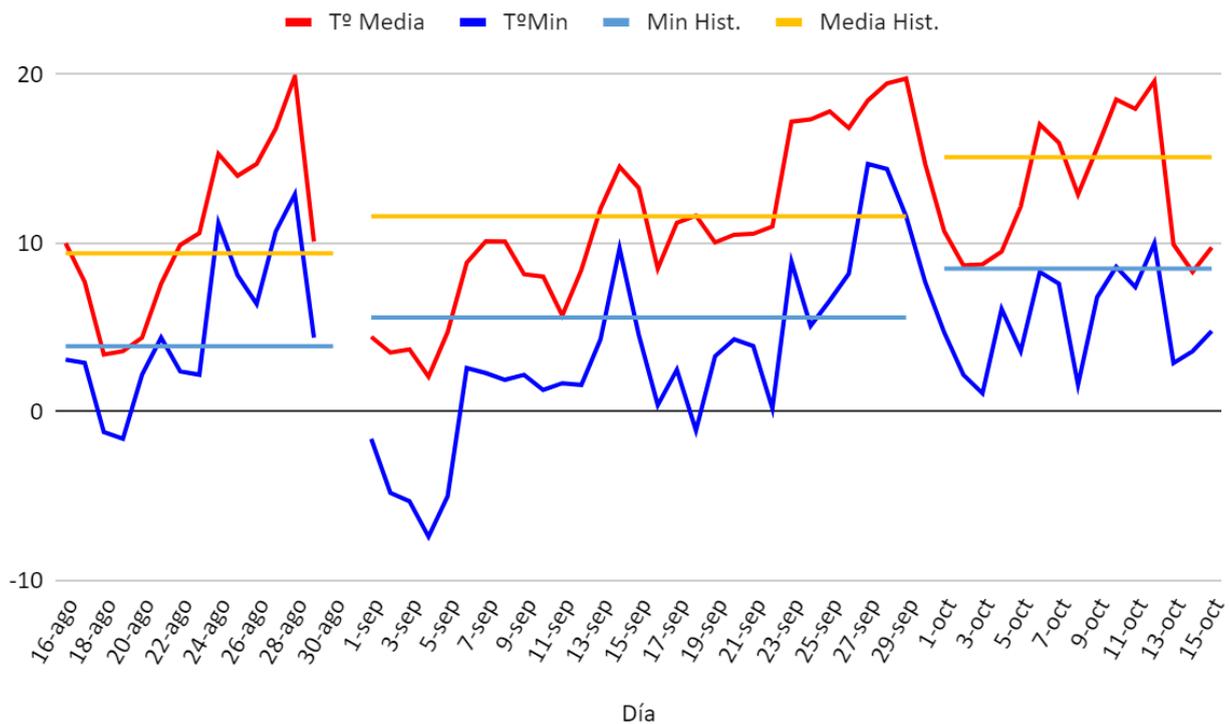


Figura 3: Distribución de las temperaturas medias y mínimas durante la FS1 y el valor mínimo y medio histórico .

En las dos fechas de siembra, se colocaron semillas de cada línea en cajas de petri con papel absorbente humedecido con agua (Figura 4 A); estas se introdujeron en una cámara de crecimiento donde se mantuvieron por cuatro días en la FS1 y siete días en la FS2. Para la FS1, se trasplantaron a campo tres semillas germinadas en macetas de 2,5 litros (Figura 4 B) con suelo del campo experimental y sustrato comercial agregado en superficie. Para la FS2 se utilizaron las mismas macetas que quedaron libres una vez cosechada la FS1, sembrando la misma cantidad de semillas que en la FS1. La siembra de semillas pre-germinadas garantizó que todas las líneas estuviesen en el mismo estadio de desarrollo al momento de la evaluación. La siembra a campo se realizó con un diseño en bloques completamente aleatorizados con cinco repeticiones (410 macetas por fecha de

siembra - Figura 4 D). Debido a la alta predación por aves de las semillas germinadas, en la FS1, se colocó una malla antiheladas durante cinco días (Figura 4 C). Una vez retirada la malla, con plántulas ya establecidas en estadio V2, se raleó manualmente para obtener un individuo por maceta. A partir del raleo, se evaluó la tolerancia a frío de las plantas establecidas mediante caracteres fenotípicos. El ensayo se mantuvo en todo momento a capacidad de campo, mediante riego manual dos veces por semana. En la primera fecha se fertilizó con una dosis de Fosfato Monoamónico (MAP) y Urea. Durante el desarrollo de todo el experimento a campo, las malezas se controlaron manualmente (Figuras 4 E y 4 F).



Figura 4 A: Distribución de las cajas de petri en el momento de la siembra de los genotipos.



Figura 4 B: Semillas pregerminadas al momento de la siembra.



Figura 4 C (izquierda): Líneas de girasol emergiendo bajo malla anti helada.
Figura 4 D (derecha): Distribución de los cinco bloques en el lote donde se realizó el ensayo.



Figura 4 E (izquierda): Parcela del ensayo afectada por malezas.
Figura 4 F (derecha): Estado de la parcela después del desmalezado manual.

Debido a la incidencia de otros factores además del frío (predación por aves, liebres, bajo vigor de las semillas), que afectaron la supervivencia de las plantas, solo se evaluaron aquellas que se consideraron exitosamente establecidas, es decir en el estadio V2.

Se mantuvo un registro de los estadios fenológicos de las líneas durante el transcurso del ensayo. Como variables indicadoras de la tolerancia a frío, se registraron variables no destructivas asociadas al crecimiento (Figura 4 G); altura de planta, largo y ancho de la hoja más grande expandida y el área foliar en dos estadios (V6 y V8). En V8, además se midió la biomasa total aérea cortando las plantas al nivel del suelo, secando las muestras a 60°C durante 7 días y obteniendo el peso seco de las mismas en el laboratorio (Figuras 4 H y 4 I).



Figura 4 G: Registro del estado fenológico y medición de las variables cuantitativas.



Figura 4 H (izquierda): Estufa utilizada para la obtención del peso seco de la biomasa cosechada.
Figura 4 I (derecha): Distribución de las bolsas con el material vegetal en la estufa.

Análisis de datos

Se realizó un análisis de correlación de Pearson para todos los caracteres medidos. Las variables fueron analizadas individualmente mediante ANOVA. Las fuentes de variación fueron: línea anidada dentro del grupo genético, grupo genético, fecha de siembra e interacción grupo genético - fecha de siembra. Los análisis se realizaron con SAS e Infostat.

Resultados

Correlación de caracteres

Los mayores valores de correlación se encontraron entre ancho y área foliar y entre largo y área foliar (todas en estadio V8 - Tabla 2). Los menores valores en ambas fechas, se obtuvieron entre la altura y las demás variables analizadas.

Para biomasa se encontraron valores más bajos para la primera etapa de muestreo (V6) y más elevados para los muestreos en estados más avanzados del ensayo (V8); en V8 el ancho tuvo una mayor correlación que el largo con la biomasa (Tabla 2).

Tabla 2: Análisis de correlación de Pearson. Variables cuantitativas medidas en ambas fechas de muestreo: alt: altura de planta | ancho: ancho de última lámina expandida | largo: largo de última lámina expandida | axl: área foliar de la última lámina expandida. 1: Mediciones realizadas en estadio V6 | 2: Mediciones realizadas en estadio V8. Las tonalidades de color verde indican correlaciones más altas, mientras que las tonalidades rojas, más bajas.

	alt1	ancho1	largo1	axl1	alt2	ancho2	largo2	axl2	BIOMASA
alt1									
ancho1	0.32								
largo1	0.23	0.60							
axl1	0.31	0.91	0.82						
alt2	0.21	0.37	0.18	0.33					
ancho2	0.26	0.70	0.47	0.71	0.53				
largo2	0.27	0.65	0.46	0.66	0.56	0.88			
axl2	0.26	0.69	0.48	0.73	0.52	0.96	0.94		
BIOMASA	0.19	0.69	0.47	0.71	0.49	0.90	0.81	0.90	

Variación fenotípica dentro de cada fecha de siembra

Dentro de la FS1, en V6, se observaron diferencias significativas entre líneas para todos los caracteres (Tabla 3). Entre bloques no hubo diferencias significativas para altura y largo, pero si presentaron para ancho y área foliar (Tabla 3). Entre grupos no hubo diferencias en altura, pero si en largo, ancho y área foliar (Tabla 3).

En V8, se observaron diferencias significativas entre bloques para todas las variables (Tabla 3), siendo el bloque 5 el que más varió respecto al resto (Figura 5). Entre líneas no hubo diferencias en el largo y área foliar pero sí en ancho de hoja y altura de planta (Tabla 3). Entre grupos no se observaron diferencias significativas (Tabla 3). Para biomasa, se encontraron diferencias significativas entre bloques, líneas y grupos (Tabla 3).

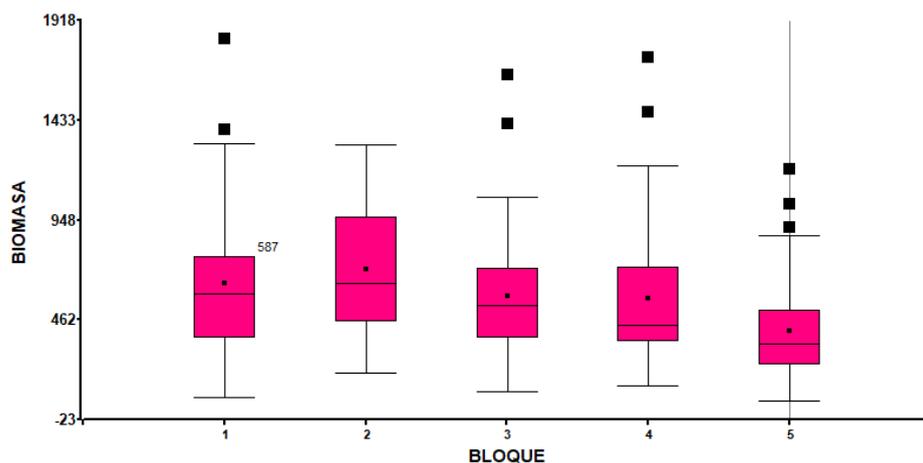


Figura 5: Valores de Biomasa. Bloques 1 al 5, Fecha de siembra 1.

En la FS2, no hubo diferencias significativas entre bloques para ninguna de las variables (Tabla 3). En V6, entre líneas se encontraron diferencias significativas para ancho, largo y área foliar (Tabla 3). En V8 se encontraron diferencias significativas para las mismas variables que en V6 (Tabla 3). Entre líneas y grupos también se observan diferencias significativas en biomasa (Tabla 3). Entre grupos genéticos, tanto en V6 como en V8 no se encontraron diferencias significativas para las variables analizadas, excepto para BIOMASA (Tabla 3).

Tabla 3: Resumen del análisis ANOVA.

(ALT: ALTURA, L: LARGO, A: ANCHO, AxL: ÁREA FOLIAR - 1: Muestras en V6, 2: Muestras en V8)

		ALT1	L1	A1	AxL1	ALT2	L2	A2	AxL2	BIOMASA
FS1	GRUPO GENET.	0.094	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.726	0.678	0.981	0.968	0.003
	BLOQUE	0.087	0.111	0.031	0.029	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
	LINEA (GRUPO)	0.025	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.011	0.205	0.017	0.073	0.020
FS2	GRUPO	0.988	0.064	0.052	0.076	0.164	0.981	0.104	0.332	0.034
	BLOQUE	0.918	0.740	0.174	0.554	0.102	0.452	0.390	0.587	0.491
	LINEA (GRUPO)	0.845	0.034	0.004	0.014	0.088	0.004	0.003	0.004	0.009
FS1 + FS2	FECHA	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.112	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
	GRUPO	0.291	0.003	<0.0001	<0.0001	0.579	0.227	0.003	0.022	<0.0001
	FECHA*GRUPO	0.905	0.845	0.229	0.160	0.285	0.802	0.351	0.365	0.274
	BLOQUE (FECHA)	0.943	0.532	0.007	0.202	<0.0001	0.001	<0.0001	0.003	0.005
	LINEA (GRUPO)	0.560	0.254	<0.0001	0.010	0.002	0.005	<0.0001	0.001	0.006

Variación fenotípica entre fechas de siembra

Para explorar si los dos grupos genéticos tuvieron distinta respuesta al estrés, analizamos las dos fechas de siembra en conjunto. Una interacción grupo por fecha de siembra significativa indicaría una respuesta diferencial. Se observaron diferencias significativas entre grupos y fechas de siembra en cinco y ocho caracteres, respectivamente (Tabla 3) pero no se observó interacción grupo por fecha de siembra significativa para ninguno de los caracteres (Tabla 3), indicando que la respuesta al estrés es similar entre ambos grupos genéticos.

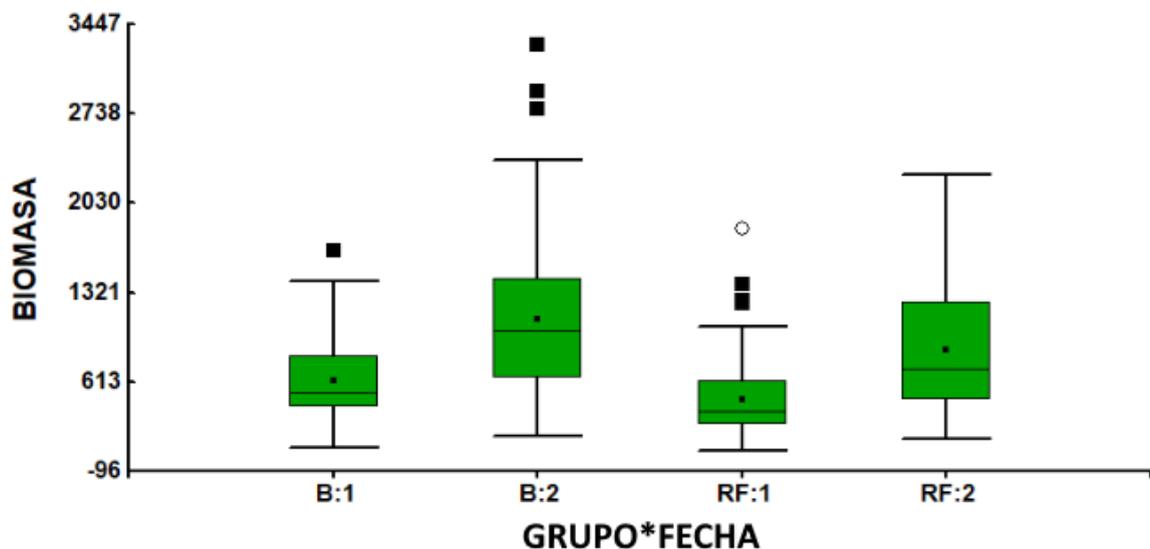


Figura 6: Valores de Biomasa. Clasificados por Grupo genético y fecha.
Referencias: B: Mantenedoras - RF: Restauradores de Fertilidad
1: Fecha de Siembra 1 - 2: Fecha de Siembra 2

Entre grupos, en V6, se observaron diferencias en largo, ancho y área foliar, mientras que en V8 hubo diferencias en ancho, área foliar y biomasa (Tabla 3, Figuras 7A y 7B).

En ambas fechas, en promedio, los restauradores presentaron menor biomasa que las mantenedoras.

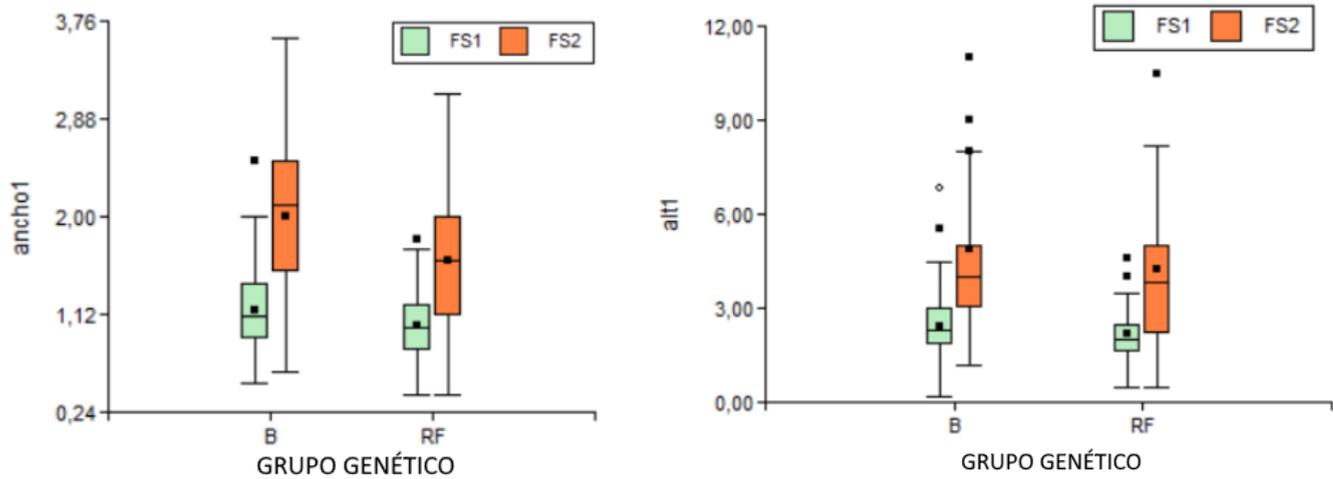


Figura 7A (Izquierda): Ancho de hoja en V6, Grupos genéticos.
 Figura 7B (Derecha): Altura de planta en V6, Grupos genéticos.
 Verde: Fecha de siembra 1 - Naranja : Fecha de Siembra 2

Existió una gran variación en el comportamiento de las líneas entre fechas de siembra, observándose marcadamente en los valores de biomasa y de área foliar (Figuras 8, 9 y 10).

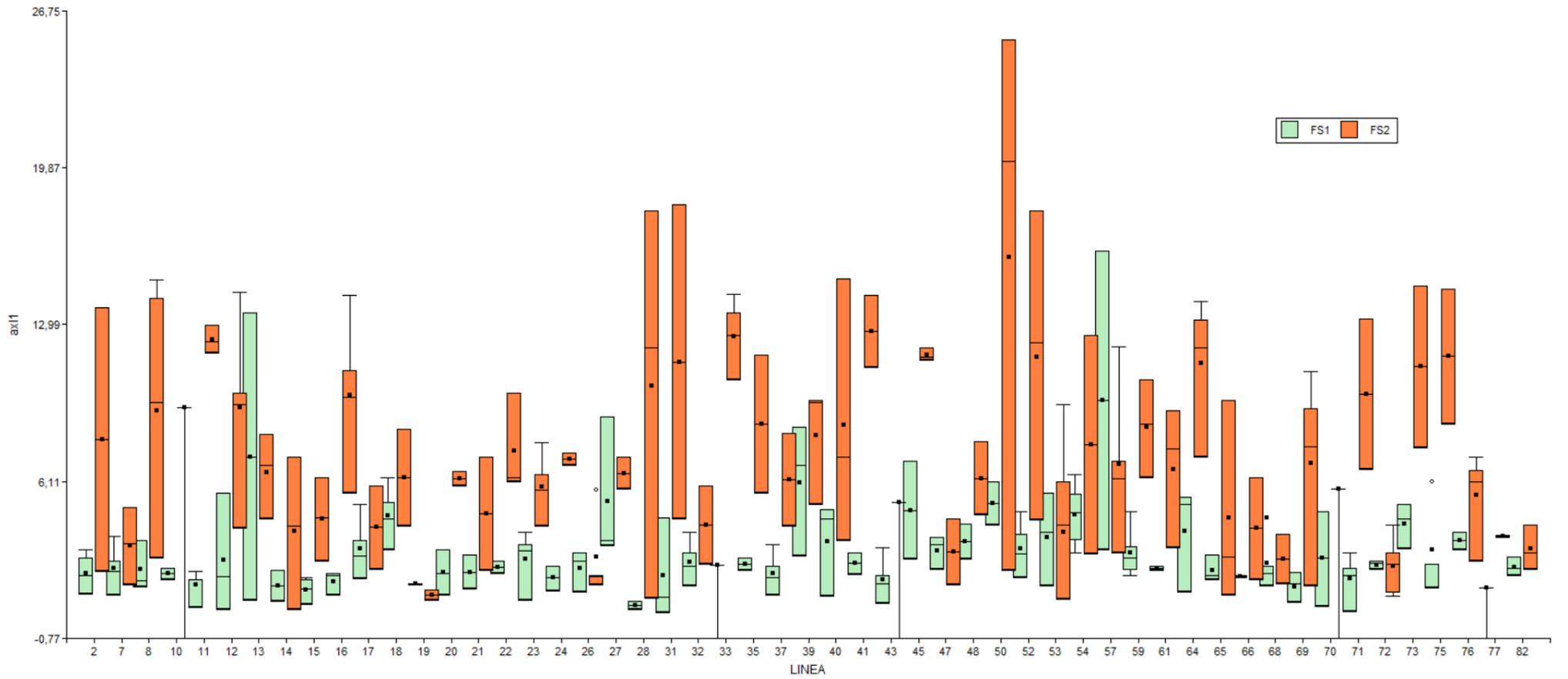


Figura 8: Área foliar en V6.
Verde: Fecha de siembra 1 - Naranja : Fecha de Siembra 2

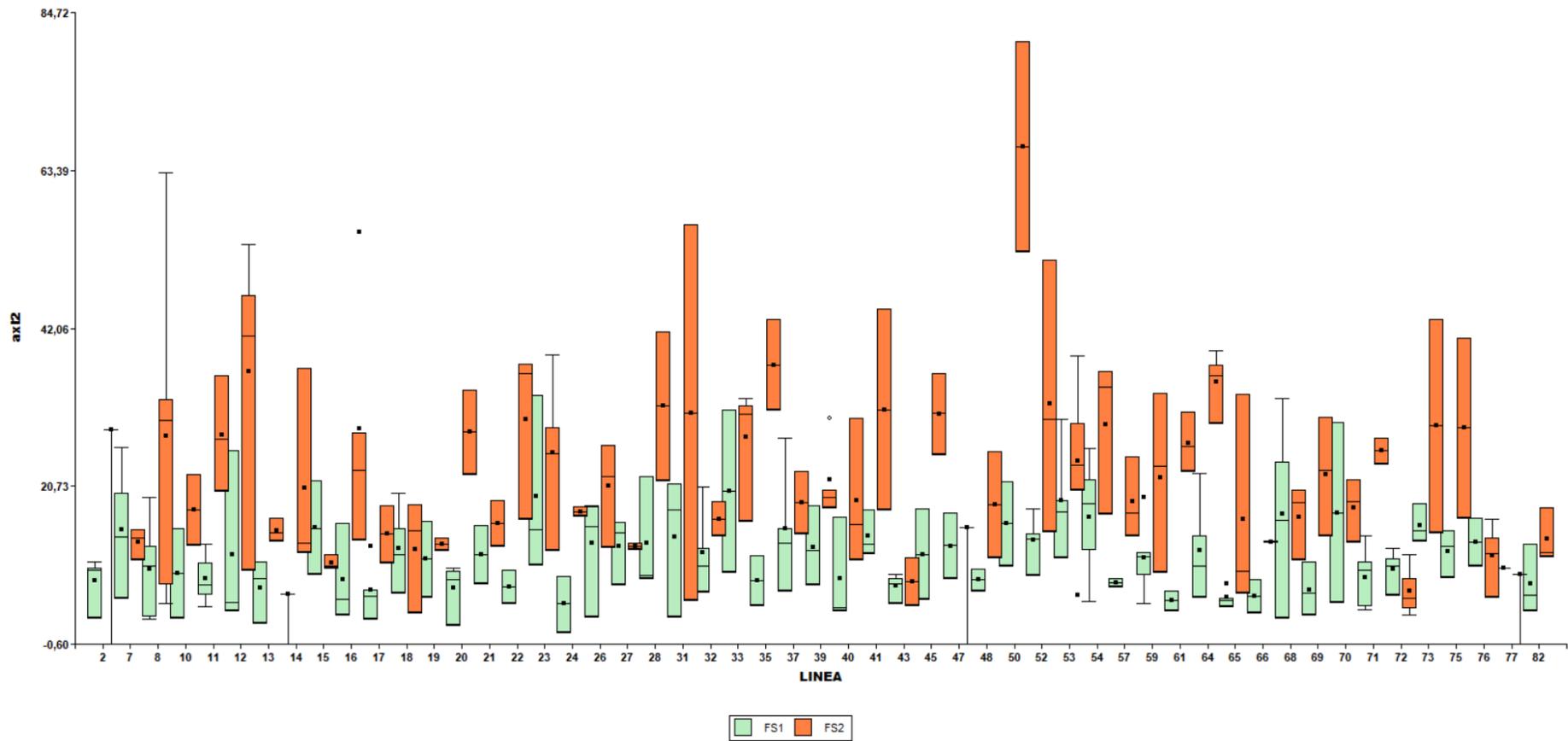


Figura 9: Área foliar, en V8 (axl2).
 Verde: Fecha de siembra 1 - Naranja : Fecha de Siembra 2

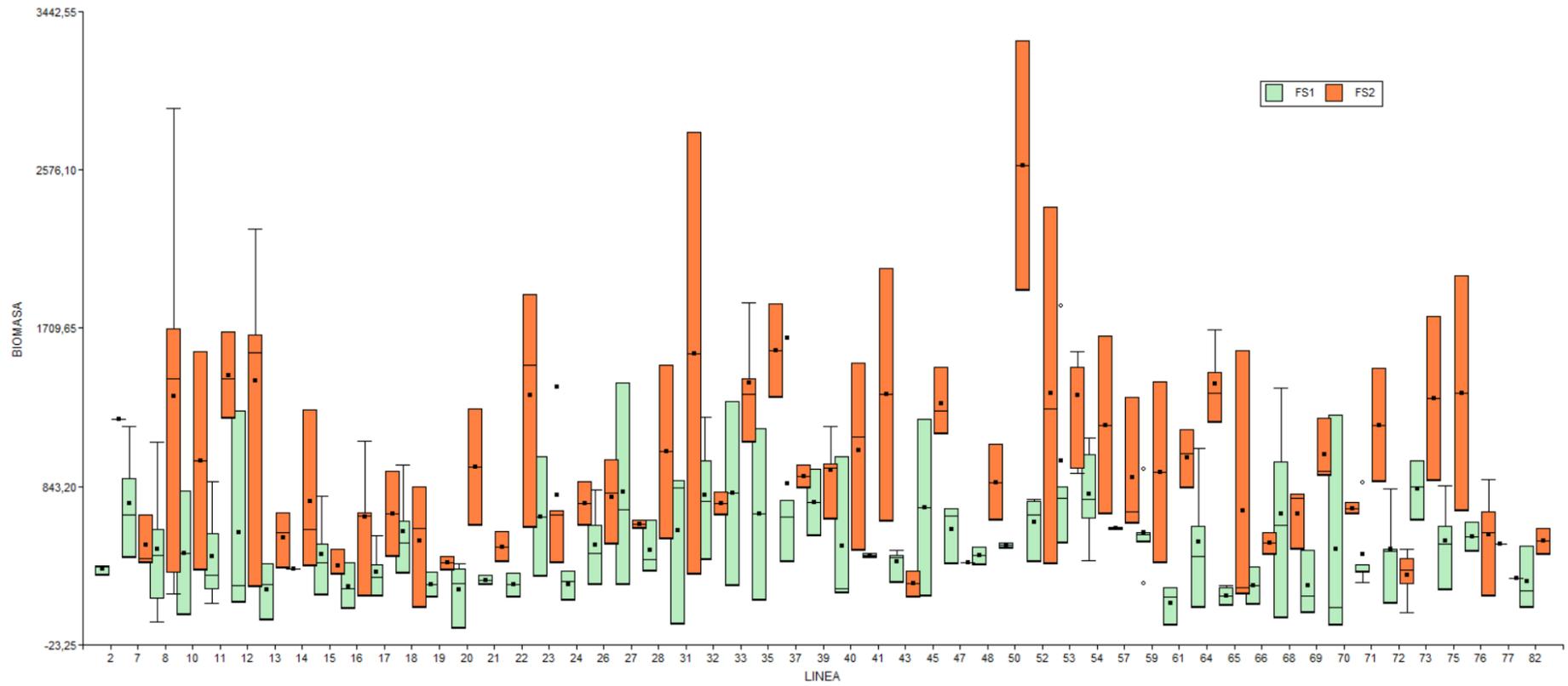


Figura 10: Biomasa
Verde: Fecha de siembra 1 - Naranja : Fecha de Siembra 2

Discusión

El crecimiento y desarrollo de los cultivos está directamente relacionado con la temperatura del ambiente que lo rodea; cada especie tiene un rango de temperaturas óptimo en el que la tasa de crecimiento es la más alta (Varela 2010). Las fechas de siembra utilizadas en nuestro trabajo claramente representaron distintos ambientes térmicos, ya que el mismo estadio final del experimento (V8) se alcanzó en 60 días para la FS1 y 36 días para la FS2. Como era esperado, la mayoría de las líneas mostraron un crecimiento mayor (ancho de hoja, área foliar y biomasa) en la FS2 respecto a la FS1. Aun así, es interesante que algunas líneas en la FS1 mostraron mayor crecimiento que el promedio de las líneas en la FS2 (Figura 6).

El ciclo de vida del girasol comienza con la germinación e implantación del cultivo. Es importante que la misma se produzca en una forma rápida y uniforme para garantizar un buen desempeño en todo el ciclo (Hernández y col. 1994). Por esto, resulta importante determinar qué variables medibles son aquellas que se relacionan linealmente con la biomasa producida. En este caso, pudimos observar que el área foliar mostró una alta correlación con la biomasa (Tabla 2). Así mismo, el ancho de hoja tuvo una mayor correlación con el área foliar que el largo. Además, el ancho de hoja mostró una mayor correlación con la biomasa ($r = 0,90$) que el largo de las mismas ($r = 0,81$). Esta alta correlación sugiere que el ancho de hoja, una variable no destructiva y fácil de medir, puede ser utilizada para seleccionar indirectamente por biomasa, sin la necesidad de realizar el corte de las plantas.

En la FS1 encontramos diferencias significativas entre bloques en todos los caracteres. Estas diferencias podrían deberse a los valores del bloque 5 (Figura 5A), ya que este bloque se vio afectado por la presencia de hormigas que ocuparon las macetas próximas al final de la parcela. Esto muestra la importancia de utilizar diseños en bloques en experimentos a campo, en los cuáles un gran número de factores no pueden ser controlados.

En este trabajo observamos una amplia variabilidad genética en la tolerancia a estrés por frío dentro de la colección de líneas elite de girasol analizadas. Trabajos recientes han encontrado variación genética en la tolerancia al estrés por frío en girasol cultivado y silvestre (Hernández y col. 2020), como así también en otros cultivos de verano como maíz (Li y col. 2016) y soja (Robinson y col. 2017). En estos trabajos se observó que la mayoría de los cultivares pudieron superar heladas ligeras, aunque grandes diferencias se observaron en condiciones más severas de estrés. Esto demuestra que, en cultivos de verano, los cuáles no son normalmente expuestos a heladas, existe no obstante, variación genética para la tolerancia a frío.

Si analizamos el comportamiento de la totalidad de las líneas en la FS1 (Figura 11B), se aprecia que, en promedio, las mantenedoras presentaron mayor biomasa que los restauradores. Por lo general, las líneas mantenedoras, al actuar como madres en el cruzamiento, presentan un mayor tamaño de semilla que los restauradores, lo que, en condiciones de campo, incrementa la germinación y emergencia de los híbridos (Hernández y col. 1994; Hernández y col. 2021). Sin embargo, es importante destacar que existe una amplia diversidad dentro de cada grupo y algunos restauradores presentan mayor biomasa (Figura 11A) y área foliar (Figura 6B) que el promedio de líneas mantenedoras.

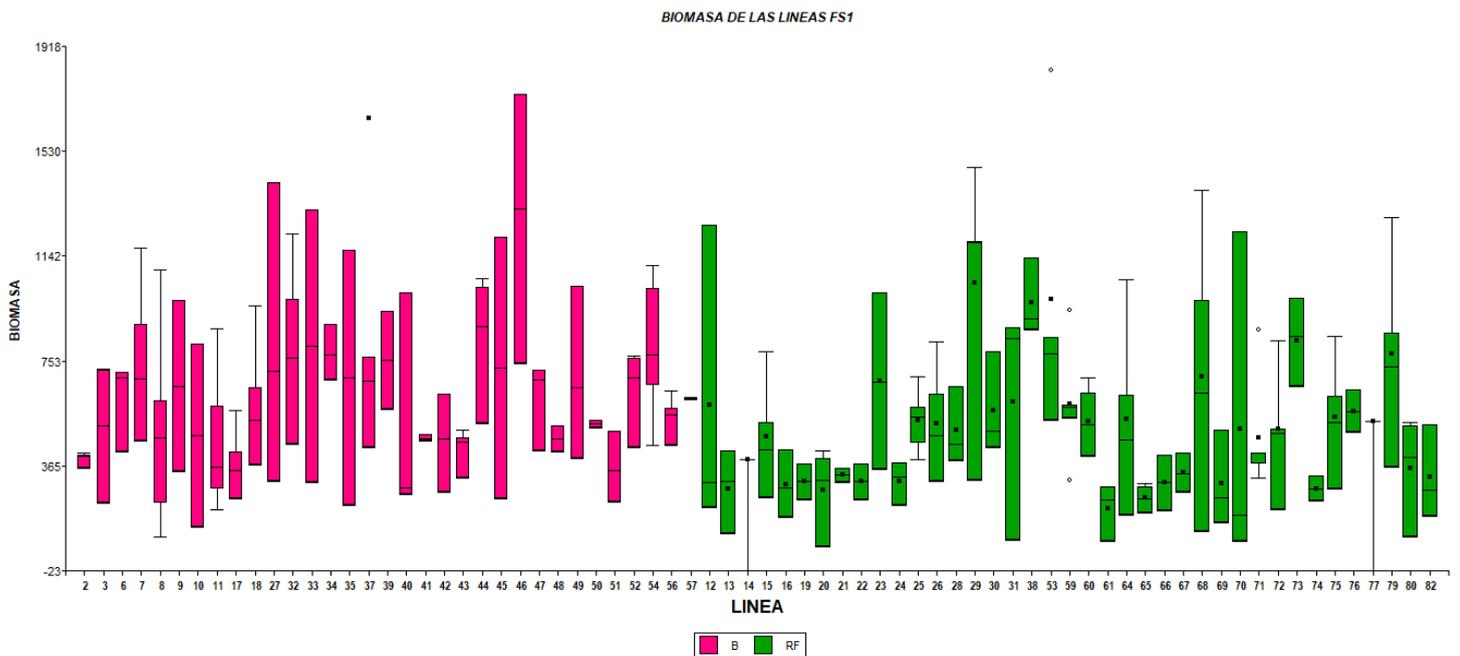


Figura 11A: Valores de Biomasa. Líneas, Fecha de siembra 1.
B: Mantenedoras - RF: Restauradoras de la Fertilidad

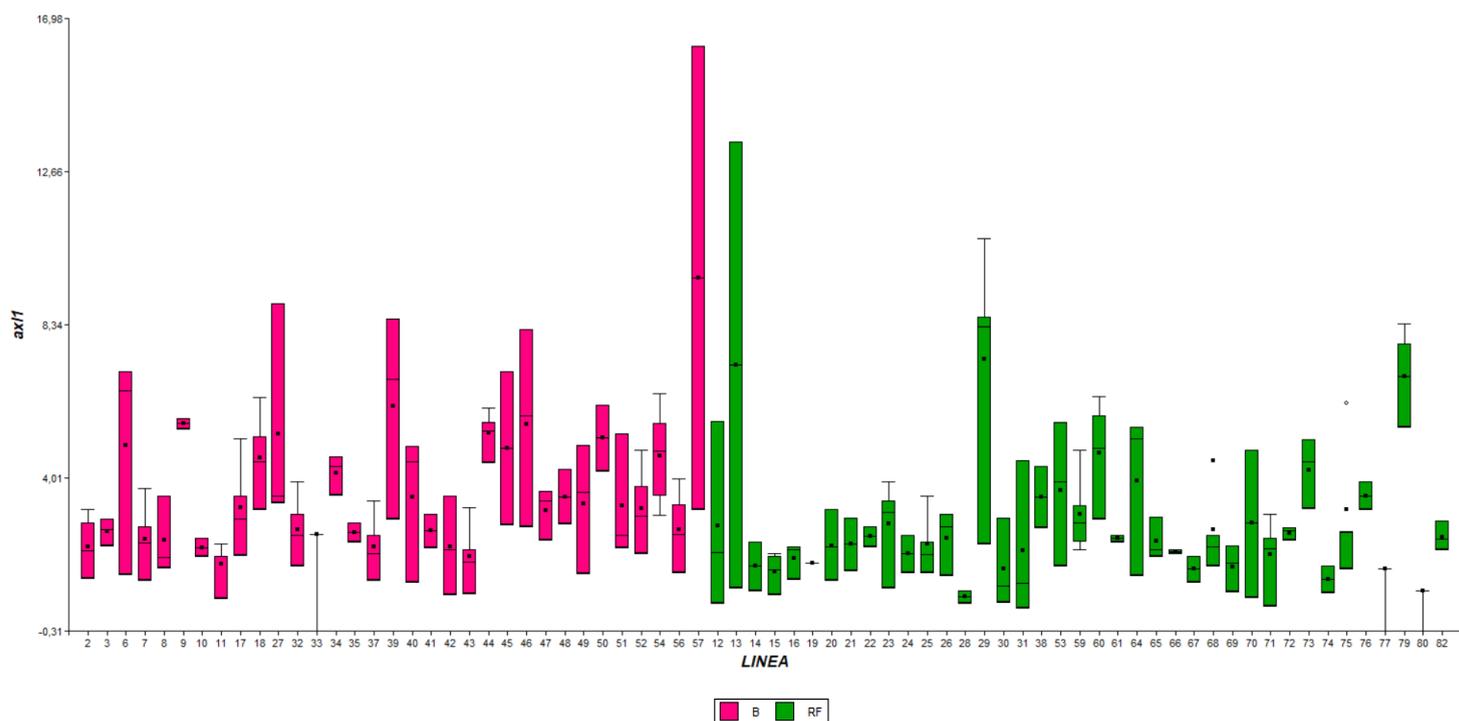


Figura 11B: Valores de área foliar (ax1). Líneas, Fecha de siembra 1.
B: Mantenedoras - RF: Restauradoras de la Fertilidad

Aunque no observamos una respuesta diferencial al estrés entre grupos genéticos, pudimos observar que algunas líneas presentaron valores similares de área foliar en V6 en ambas fechas de siembra, lo que demuestra una baja susceptibilidad al estrés por frío por parte de estas (por ejemplo, las líneas 13, 27, 47, 53 y 57). En el caso del área foliar en V8 (Figura 9), también observamos líneas que presentaron valores similares en ambas fechas de siembra, tales como las líneas 23, 33 y 70. Por otro lado, observamos que aquellas líneas con mayor crecimiento en la FS2 fueron las más afectadas por la condición de estrés en la FS1 (por ejemplo las líneas 28, 50). Además, dentro de la FS1, las líneas que mostraron mayor crecimiento en V6 (por ejemplo 13, 27, 47, 53 y 57; para ax1 - Figura 8), en V8 se vieron más afectadas en su desarrollo (en el caso del área foliar) e incluso presentan ausencias en algunas repeticiones. Esto deja en evidencia la presencia de mecanismos de compensación, en los cuáles genotipos con mayor crecimiento son menos tolerantes al estrés y viceversa, lo que dificulta la selección por ambos caracteres a la vez.

En Argentina, existen varias poblaciones silvestres naturalizadas, las cuáles se han adaptado a un amplio rango de condiciones ambientales (Ureta 2010), y que

por lo tanto representan un importante recurso genético para el mejoramiento. Hernández y col. (2020) observaron una mayor tolerancia al estrés por frío en el girasol silvestre respecto al cultivado, algo similar a lo encontrado por Robinson y col. (2017) en soja. Por esto, resultaría conveniente sumar a este trabajo una evaluación de las poblaciones silvestres y de híbridos cultivo-silvestre, principalmente con líneas mantenedoras, que aparentemente presentaron una mayor tolerancia al estrés.

Conclusión

- Existe una gran diversidad genética para la tolerancia a frío dentro de la colección de líneas puras (mantenedoras y restauradores) evaluadas.
- En promedio, las líneas mantenedoras mostraron mayor crecimiento (ancho de hoja, área foliar y biomasa) que los restauradores en ambas fechas de siembra, aunque existe una amplia diversidad dentro de cada grupo genético.
- Los grupos genéticos no mostraron una tolerancia diferencial al estrés por frío, ya que la variación en crecimiento entre ambas fechas de siembra fue similar.
- El ancho de hoja, una variable no destructiva y de fácil medición a gran escala, mostró una alta correlación con la biomasa, indicando que puede ser utilizada para practicar selección indirecta.
- Se encontraron genotipos con potencial de crecimiento en condiciones de bajas temperaturas.
- A partir de genotipos con tolerancia a bajas temperaturas, se podría implementar un adelanto en las fechas de siembra, evitando así que la floración ocurra en el mes con mayor probabilidad de estrés por altas temperaturas.

Agradecimientos

Al Dr. Alejandro Presotto por ser el tutor del proyecto, por acompañarme en el desarrollo del trabajo y por sus consejos.

Al Dr. Fernando Hernandez por permitirme realizar mi trabajo de intensificación en el marco de sus proyectos de investigación, por acompañarme y aconsejarme durante el desarrollo de todo el trabajo.

A la Dra. Alicia Carrera y el Dr. Claudio Pandolfo por sus aportes y correcciones.

A mis compañeros de Agro por hacer de esta carrera una hermosa experiencia.

A la familia del Club Sportivo Bahiense por brindarme un trabajo que me permitiera seguir estudiando y un lugar de contención en los momentos difíciles.

A mi familia y amigos que me acompañaron y están siempre; porque sin ustedes, esto no habría sido posible.

Referencias

Bolsa de Comercio de Rosario, Especial Campaña de Girasol 2021/22.

Cantamutto M. Á., Poverene M. M., Presotto A. D., Fernández Moroni I., Gutierrez A., Ureta M. S., & Casquero M. J. (2010). ¿ Está domesticado el girasol?.

Chapin F. S., Lambers H., & Pons T. L. (1998). *Plant physiological ecology*. Nova York.

Chen Y. H., Gols R., & Benrey B. (2015). Crop domestication and its impact on naturally selected trophic interactions. *Annual Review of Entomology*, 60, 35-58.

Darwin C. R. (1868). *Variation of plants and animals under domestication*. London: John Murray.

de La Vega A.J. (2012) Effect of the complexity of sunflower growing regions on the genetic progress achieved by breeding programs. *Helia* 35:113–122.

de la Vega A.J., DeLacy I.H., Chapman S.C. (2007) Changes in agronomic traits of sunflower hybrids over 20 years of breeding in central Argentina. *F Crop Res* 100:73–81.

FAO, 2021. FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. Web. <http://faostat.fao.org/default.aspx>.

Gepts P. (2004). Crop domestication as a long-term selection experiment. *Plant breeding reviews*, 24(2), 1-44.

Gornall J., Betts R., Burke E., Clark R., Camp J., Willett K., & Wiltshire A. (2010). Implications of climate change for agricultural productivity in the early twenty-first century. *Philos Trans R Soc B Biol Sci* 365:2973–2989.

Guillén F. D. (2010). El proceso de domesticación en las plantas. *Casa del tiempo*, 28, 66-70.

Hall A.J., Feoli C., Ingaramo J., Balzarini M. (2013). Gaps between farmer and attainable yields across rainfed sunflower growing regions of Argentina. *F Crop Res* 143:119–129.

Hernández L. F., & Orioli G. A. (1994). El ideotipo del girasol (*Helianthus annuus* L.). *AgriScientia*, 11(1), 87-98.

Hernández F., Poverene M., Mercer K. L., & Presotto A. (2020). Genetic variation for tolerance to extreme temperatures in wild and cultivated sunflower (*Helianthus annuus*) during early vegetative phases. *Crop and Pasture Science*, 71(6), 578-591.

Hernández F., Vercellino R. B., Fanna I., & Presotto A. (2021). Maternal control of early life history traits affects overwinter survival and seedling phenotypes in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Plant Biology*, 23(2), 307-316.

Li Z., Hu G., Liu X., Zhou Y., Li Y., Zhang X., ... & Zhang Z. (2016). Transcriptome sequencing identified genes and gene ontologies associated with early freezing tolerance in maize. *Frontiers in plant science*, 7, 1477.

Marini M. F. (2008). El avance de la frontera agrícola en el área adyacente al sistema Sierras de la Ventana (Buenos Aires, Argentina). *Investigaciones Geográficas (España)*, (47), 111-121.

Meyer R. S., DuVal A. E., & Jensen H. R. (2012). Patterns and processes in crop domestication: an historical review and quantitative analysis of 203 global food crops. *New Phytologist*, 196(1), 29-48.

Nambeesan S. U., Mandel J. R., Bowers J. E., Marek L. F., Ebert D., Corbi J., ... & Burke J. M. (2015). Association mapping in sunflower (*Helianthus annuus* L.) reveals independent control of apical vs. basal branching. *BMC plant biology*, 15(1), 1-12.

Noticias ONU. (2019). La población mundial sigue en aumento, aunque sea cada vez más vieja.

Quiroga A. R., & Pérez Fernández J. (2008). *El cultivo del girasol en la región semiárida pampeana*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (Argentina).

Robison J., Arora N., Yamasaki Y., Saito M., Boone J., Blacklock B., & Randall S. (2017). *Glycine max* and *Glycine soja* are capable of cold acclimation. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 203(6), 553-561.

Sánchez Y., Fundora Z., Brito G., Soto J. A., Acuña G. & Reyes E. (2009). Metodología para la obtención de híbridos de girasol (*Helianthus annuus*, L)

Servicio Meteorológico Nacional (2021). Estadísticas Climatológicas Normales - período 1981-2010

Smith B. D. (2014). The domestication of *Helianthus annuus* L. (sunflower). *Vegetation History and Archaeobotany*, 23(1), 57-74.

Ureta M. S. (2010). Flujo génico entre girasol cultivado y silvestre en la Argentina. Tesis Doctoral

Varela S. A. (2010) Aspectos básicos de la fisiología en respuesta a estrés y el clima como condicionante del mismo en las plantas. Comunicación Técnica N° 78 INTA EEA Bariloche