

**Respuesta genotípica en la eficiencia
transpiratoria en soja (Glycine max (L.)
Merril) en condiciones de estrés hídrico
durante etapa vegetativa**

Integrantes

Bertoli, Lucila Gabriela

Gabrielloni, Pablo

Gil, Franco

Nicola Pautasso, Tiziano B.

Tutora: Ing. Agr. Dr. MSc Vega, Claudia

AREA DE CONSOLIDACION

SISTEMAS AGRICOLAS DE PRODUCCION EXTENSIVOS

AÑO 2015

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CORDOBA

1. RESUMEN

Argentina es uno de los principales países productores de soja a nivel mundial. La mayor parte de esta producción se realiza bajo secano y, por lo tanto, se encuentra sometida a períodos de déficit hídrico, en los cuales la demanda hídrica ambiental es mayor al agua disponible para el cultivo. El estrés hídrico reduce el rendimiento en grano en distinta magnitud según el momento e intensidad de la restricción hídrica. Por ello, distintos esfuerzos desde el mejoramiento genético y el manejo del cultivo se realizan en la búsqueda para minimizar el impacto del estrés. En particular, la eficiencia transpiratoria ha sido sugerida como un atributo constitutivo en soja que puede ser utilizado en el mejoramiento genético para la obtención de variedades que toleren mejor el déficit hídrico.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento de distintos genotipos de soja ante condiciones de estrés hídrico durante la etapa vegetativa. 13 genotipos fueron sometidos a dos condiciones hídricas - control (C), con un nivel hídrico a capacidad de campo y estrés hídrico (EH), con un nivel equivalente al 45% del C- una vez alcanzado el estado de V4 durante 15 días posteriores. Las plantas sembradas en lisímetros se colocaron al aire libre bajo una estructura metálica móvil (rain-out shelter) para evitar el ingreso de agua de lluvia. Se evaluaron la evolución del área foliar, la producción de materia seca, el consumo de agua durante el período de estrés hídrico y la eficiencia transpiratoria.

El área foliar lograda, la producción de materia seca y el consumo hídrico durante el período de estrés fueron menores debido a la menor disponibilidad hídrica, observándose además variabilidad entre genotipos. La eficiencia transpiratoria evidenció variabilidad genotípica pero no mostró un aumento frente a la imposición de condiciones moderadas de estrés hídrico.

Palabras clave: soja; estrés hídrico; mejoramiento genético; eficiencia transpiratoria; variabilidad genotípica; tolerancia al déficit hídrico.

2. INTRODUCCIÓN

La soja (*Glycine max* L. Merrill) pertenece a la familia de las leguminosas. Es cultivada debido a sus múltiples usos, tanto para alimentación humana como para el ganado. A nivel mundial, la producción de soja fue de más de 285 millones de toneladas para el período 2013/2014, con una superficie implantada de aproximadamente 112 millones de hectáreas, siendo Argentina el tercer país productor, después de Estados Unidos y Brasil (USDA, 2015).

En el ámbito nacional, la producción fue de 53.397.715 Tm con una superficie sembrada de 19.781.812 ha y un rendimiento promedio de 2.774 Kg/ha para la misma campaña (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación, 2015). En tanto, la provincia de Córdoba, obtuvo una producción de 14.917.671 Tm con una superficie sembrada de 5.052.760 ha y un rendimiento promedio 3.004 Kg/ha para el mismo período, siendo la segunda mayor productora dentro del país (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación, 2015).

La soja en Argentina se exporta el 96% de la producción bajo la forma de poroto, harina o pellets, aceite o biocombustibles (Calzada, 2012).

En Argentina, la producción de soja se caracteriza por realizarse mayormente bajo condiciones de secano, lo cual la expone a períodos de estrés hídrico durante diferentes momentos de su ontogenia (Desclaux y Roumet, 1996). En los cultivos, el estrés hídrico se produce como consecuencia de que el contenido de agua disponible en el suelo es menor a la cantidad necesaria para satisfacer la demanda ambiental, circunstancia que puede desencadenar reducción del crecimiento y/o rendimiento (Passioura, 1996). El déficit hídrico es considerado como el estrés ambiental más importante en la agricultura (Cattivelli *et al.*, 2008), pudiendo el mismo ocurrir en cualquier etapa de la ontogenia del cultivo de manera impredecible en cuanto al momento de ocurrencia, intensidad y duración (Passioura, 2007). Por ello, gran parte de la variabilidad existente en el rendimiento está relacionada con la cantidad total y la distribución estacional de la disponibilidad de agua (Purcell y Spetch, 2004, citado por Sinclair *et al.*, 2007).

La tolerancia al déficit hídrico, desde el punto de vista agronómico se define como la habilidad de una especie o genotipo para producir rendimiento aceptable bajo condiciones hídricas limitantes (Tardieu, 2005), tolerancia que será mayor cuanto menor sea la reducción en el rendimiento (Hall, 1984).

Según Passioura (1977), en los ambientes donde el agua es el principal factor limitante, el rendimiento puede ser definido como el producto de:

$$R = IC * EUA * AET$$

Donde AET, es el agua evapotranspirada; EUA, es la eficiencia del uso del agua (biomasa producida por unidad de agua evapotranspirada); e IC, es el índice de cosecha (fracción de la biomasa total cosechada como rendimiento) (Passioura, 1977). Cada uno de esos términos es el resultado de la combinación de distintas características fenológicas, morfológicas, fisiológicas y bioquímicas. Si bien los términos de la ecuación no son totalmente independientes, el incremento de alguno o varios de ellos podría traducirse en mejores rendimientos siempre y cuando esto no implique disminuciones significativas en alguno de los otros.

La eficiencia transpiratoria (ET), es decir biomasa producida por el cultivo en relación al agua transpirada, es una mejor medida para expresar la EUA (Fischer, 1981, Sinclair *et al.*, 1984).

Los actuales planes de mejoramiento genético para obtención de cultivares de soja mejor adaptados a zonas con ocurrencia de estrés hídrico tienen en cuenta caracteres secundarios que podrían estar relacionados con mayores y más estables rendimientos. Según Edmeades *et al.* (1998) ciertas características o atributos secundarios podrían ser incorporados como criterios de selección en el mejoramiento genético de los cultivos, permitiendo reducir la brecha existente entre el rendimiento potencial y el actual en los ambientes con déficit hídrico (Cattivelli *et al.*, 2008). En tanto que según Chimenti *et al.* (1993), citado por Prieto y Vega (2011), la utilización de atributos secundarios asociados con la tolerancia al déficit hídrico que se expresan tempranamente y durante estadios reproductivos y que, además, estén asociados positivamente con la estabilidad del rendimiento permitiría la selección de genotipos contrastantes en etapas tempranas mejorando aún más la eficiencia y eficacia de los programas de mejoramiento. Por lo tanto, podría incluirse a la eficiencia transpiratoria como carácter secundario asociado a un mayor rendimiento en soja.

Como antecedentes de estudio de la variabilidad genotípica en la eficiencia transpiratoria en soja se reportan los de Mian *et al.* (1998; 1996) y Hufstetler *et al.* (2007), en los que se evaluó el comportamiento genotípico de la eficiencia transpiratoria de distintas variedades y materiales en condiciones hídricas limitantes. Prieto *et al.* (2007) demostraron que la eficiencia transpiratoria es un carácter de naturaleza constitutiva que presenta variabilidad intraespecífica y que aumenta en respuesta al déficit hídrico durante la fase vegetativa. En estudios más recientes, Prieto *et al.* (2011) encontraron nuevamente evidencias del aumento de la eficiencia transpiratoria en soja durante fase vegetativa ante un menor nivel hídrico. Además, se demostró que sería posible identificar genotipos de mayor eficiencia transpiratoria durante fases reproductivas, rendimiento y estabilidad de rendimiento ante situaciones con déficit hídrico durante el período de determinación del número de semillas a partir de

mediciones de la eficiencia transpiratoria durante la fase vegetativa en condiciones sin limitantes hídricas (Prieto *et al.*, 2011).

Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue valorar la respuesta genotípica de distintas variedades de soja a restricciones hídricas durante fase vegetativa. Se estudiaron diferentes variables: evolución del área foliar, producción de materia seca, consumo hídrico durante el período de imposición de estrés y eficiencia transpiratoria. En particular, se evaluó si la eficiencia transpiratoria varió entre genotipos durante fase vegetativa y bajo distintas condiciones de disponibilidad hídrica, y si existió interacción entre genotipo y nivel hídrico en suelo.

3. OBJETIVO

El objetivo de este trabajo fue valorar la respuesta genotípica de la generación del área foliar, la producción de materia seca y la eficiencia del uso del agua en soja (eficiencia transpiratoria, ET), en 13 genotipos sometidos a distintas condiciones de disponibilidad hídrica durante fase vegetativa.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. DESCRIPCIÓN DEL SITIO EXPERIMENTAL

Se llevó a cabo un ensayo en la Estación Experimental INTA Manfredi, ubicada dentro de la denominada llanura central Cordobesa. Se halla situada a 31° 49' de Latitud Sur; 63° 46' de Longitud Oeste a 292 m de altura sobre el nivel del mar en un área geomorfológica que se conoce con el nombre de Pampa alta o elevada.

La temperatura media anual es de 16,8 °C siendo la temperatura media mínima de 9,5°C para el mes de julio y la media máxima de 23,4 °C en el mes de enero. El período medio libre de heladas es de 260 días.

El régimen climático al que pertenece es el semiárido, con una precipitación media anual de 757 mm caracterizándose por una distribución de lluvias bastante marcada con aproximadamente el 80% de las mismas en el período de octubre a marzo (INTA, 1987).

El ensayo se realizó en lisímetros (macetas cerradas para evitar la pérdida de agua) a fin de hacer una precisa evaluación del agua transpirada. Las mismas fueron colocadas al aire libre, bajo una estructura metálica móvil, denominada "rain-out shelter", a fin de evitar ingreso de agua de lluvia (Figura 1).

La fecha de siembra fue el 5/1/2014. La duración del ensayo fue de aproximadamente 45 días.



Figura 1. Ubicación de las macetas al aire libre bajo una estructura metálica móvil (rain-out shelter). Ensayo realizado para valorar la respuesta genotípica al estrés hídrico durante fase vegetativa en soja (*Glycine max* L. Merrill) llevado a cabo en la EEA INTA Manfredi.

4.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ENSAYO Y DISEÑO EXPERIMENTAL

Se evaluaron 13 genotipos de soja (*Glycine max* L. Merrill) bajo dos condiciones hídricas durante fase vegetativa: a) Control (C), con un nivel hídrico a capacidad de campo (CC) y b) Estrés Hídrico (EH), con un nivel equivalente al 45% de CC.

Las plantas fueron cultivadas en macetas cilíndricas de PVC cerradas (lisímetros) de aproximadamente cuatro litros de capacidad. La siembra consistió en colocar manualmente tres o cuatro semillas. En el estado de hoja unifoliada (V1, según escala de Fehr y Caviness, 1977) se efectuó raleo dejando sólo una planta por maceta. En el tratamiento de EH, se colocaron adicionalmente tres o cuatro semillas de maíz con el objetivo de que las plántulas ayuden a la extracción de agua rápidamente al momento de iniciar el EH. Inmediatamente después del raleo de las plántulas de soja (C) o del maíz (EH), se colocaron 10 g de perlita y la superficie de cada maceta fue cubierta con polietileno a fin de minimizar la evaporación desde el suelo expuesto y controlar estrictamente la dinámica de agua.

El estrés se impuso, una vez alcanzado el estado de tercera hoja trifoliada completamente desplegada (V4, según escala de Fehr y Caviness, 1977), durante 15 días.

El sustrato utilizado fue tierra de la EEA INTA Manfredi. El mismo fue caracterizado en términos de sus constantes hídricas (CC y PMP) en el Laboratorio de Suelo de la EEA INTA Manfredi. Los datos del análisis se observan en la Tabla 1.

Tabla 1. Caracterización del sustrato utilizado en el ensayo para valorar la respuesta genotípica al estrés hídrico durante fase vegetativa en soja (*Glycine max* L. Merrill). Datos provenientes del Laboratorio de Suelo de la EEA INTA Manfredi.

Variables analizadas	Valores
Contenido de agua gravimétrico a CC (%)	24,28
Contenido gravimétrico a PMP (%)	11,98

La humedad gravimétrica de suelo correspondiente a los niveles hídricos de los tratamientos fue 22,6% para el C y 15,67% para el EH, lo que equivalió a 199 g y 89 g de agua útil, respectivamente. El agua necesaria para mantener los lisímetros con el contenido hídrico deseado fue estimada diariamente mediante el cálculo del peso objetivo de cada maceta. El mismo fue calculado a comienzos del ensayo y fue corregido una vez durante el transcurso del mismo para tener en cuenta la acumulación de peso debido a la presencia de las plantas.

El diseño experimental fue de parcelas sub-divididas con cinco repeticiones. La parcela principal fue el nivel hídrico y la sub parcela el genotipo.

Las condiciones meteorológicas (temperaturas máximas y mínimas y humedad ambiente) durante el experimento fueron registradas mediante una estación meteorológica portátil ubicada en la zona del shelter.

4.3. MATERIAL VEGETAL

Los genotipos utilizados en el ensayo y sus características se pueden observar en la Tabla 2.

Tabla 2. Identificación y principales características (HC: hábito de crecimiento, GM: grupo de madurez) de los genotipos evaluados. Ensayo para valorar la respuesta genotípica al estrés hídrico durante fase vegetativa en soja (*Glycine max* L. Merrill) llevado a cabo en la EEA INTA Manfredi.

Genotipo	HC	GM	Origen	Empresa
----------	----	----	--------	---------

3900	Indeterminado	III Largo		Syngenta
3X5	Indeterminado	III Medio		Syngenta
3X9	Indeterminado	III Largo		Syngenta
4X4	Indeterminado	IV Medio		Syngenta
4X99	Indeterminado	IV Largo		Syngenta
5X2	Indeterminado	V Corto		Syngenta
5X9	Indeterminado	V Largo		Syngenta
6X1	Indeterminado	V Corto		Syngenta
7X3	Indeterminado	VII Corto		Syngenta
8X8	Indeterminado	VIII Largo		Syngenta
A 8000	Determinado	VIII Corto		Nidera
BR 16	Determinado	VII	Brasil	
S47-R3	Indeterminado		EEUU	Syngenta

4.4. OBSERVACIONES Y DETERMINACIONES REALIZADAS

- Fenología. Se determinó en todas las plantas cada tres días según escala de Fehr y Caviness (1977).
- Peso objetivo de las macetas. Se calculó para cada maceta teniendo en cuenta el tratamiento y el consumo hídrico potencial por genotipo. Fue corregido una única vez para tener en cuenta el peso de las plantas.
- Consumo de agua diario. Se estimó diariamente para cada planta como la diferencia entre peso objetivo y el peso de la misma antes del riego a primera hora del día.
- Área foliar y peso seco. Se realizaron muestreos destructivos de una repetición al inicio del estrés hídrico (estadio fenológico V4, según escala de Fehr y Caviness, 1977) y de las cuatro restantes al final del mismo (15 días posteriores al inicio). La determinación del área foliar (AF) por hoja y por planta se realizó utilizando un medidor de área foliar (LI-COR LI-3100C). En cuanto al peso seco (PS) se valoró la planta entera y las fracciones correspondientes a hojas, tallos y vainas (si las hubiera) con una balanza de precisión después de haber alcanzado peso constante en estufa a 80 °C.
- Modelos alométricos. Con los datos obtenidos en los muestreos destructivos se elaboraron modelos matemáticos a fin de realizar estimaciones de AF y PS de forma no destructiva a lo largo del tiempo. Respecto del AF, y a fin de tener un amplio rango de datos, hojas de distintos tamaños y genotipos fueron caracterizadas en términos de ancho del folíolo central y superficie. El ancho fue medido con la utilización de una regla y la superficie mediante un medidor de área foliar (LI-COR LI-3100C). Con dicha información se elaboraron modelos de AF en función de ancho del folíolo central. En cuanto al peso seco, se construyeron modelos de PS en función del AF por planta.

- Dinámica del área foliar y peso seco en plantas individuales. En forma no destructiva, se estimó el AF y el PS a lo largo del ensayo utilizando modelos alométricos ajustados a partir de muestras obtenidas en forma destructiva (descritos arriba).
- Eficiencia transpiratoria. Fue calculada como el cociente entre el peso seco acumulado y el consumo hídrico acumulado por planta durante el período de EH.

4.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos fueron analizados con rutinas de regresión lineales y no lineales con planillas de cálculo Microsoft Excel 2013. Para la valoración de efectos de tratamientos y comparación de medias, se utilizó el software estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.* 2010). Se realizaron ANOVA de las distintas variables utilizando modelos lineales mixtos, considerando como efectos fijos a los tratamientos y la interacción y como efectos aleatorios a las repeticiones, realizándose correcciones por heterocedasticidad cuando fue necesario. Los modelos fueron seleccionados teniendo en cuenta el estadístico AIC (Di Rienzo *et al.* 2010). Las comparaciones de medias se hicieron con el test de LSD de Fischer y una significancia del 5%.

5. RESULTADOS

5.1. CONDICIONES AMBIENTALES

La evolución de las condiciones meteorológicas a lo largo del experimento se observa en la Figura 2.

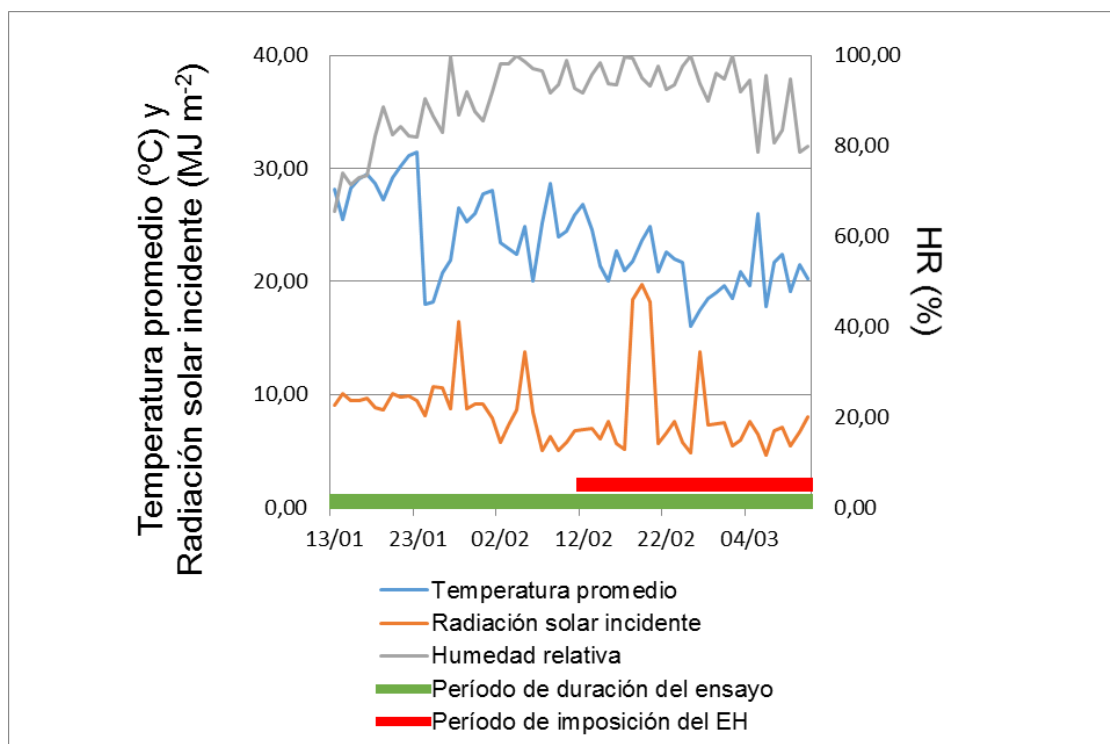


Figura 2. Evolución de temperatura diaria promedio (°C), radiación solar incidente (MJ m⁻²) y humedad relativa (%) durante el experimento. Se indica en barras de colores el período de duración del ensayo –barra verde- y de imposición del estrés hídrico (EH) –barra roja-. Ensayo para valorar la respuesta genotípica al estrés hídrico durante fase vegetativa en soja (*Glycine max* L. Merrill) llevado a cabo en la EEA INTA Manfredi.

Las condiciones ambientales durante el ensayo fueron variables ya que se llevó a cabo bajo un invernadero móvil en condiciones naturales.

Las mayores temperaturas fueron registradas al comienzo del ensayo con temperaturas máximas superiores a los 30 °C y las más bajas se presentaron al final con temperaturas cercanas a los 15 °C. En cuanto a humedad relativa, se mantuvo entre rangos de 60% y 100%, siendo más variable al comienzo. La radiación solar incidente no fue constante, mostrando valores máximos y mínimos de 19,74 MJ m⁻² y 4,67 MJ m⁻² respectivamente.

5.2. COMPORTAMIENTO FENOLÓGICO DE LOS GENOTIPOS

La emergencia de las plántulas se produjo aproximadamente de cuatro a ocho días después de la siembra.

El estado de V4 (Fehr y Caviness, 1977), momento en que comenzó la imposición del estrés, se alcanzó entre 25 a 31 días después de la emergencia (Tabla 3).

Tabla 3. Días desde la emergencia (DDE) transcurridos para cada genotipo entre el estado de VE y V4 (Fehr y Caviness, 1977). Ensayo realizado para valorar la respuesta genotípica al estrés hídrico durante fase vegetativa en soja (*Glycine max* L. Merrill) llevado a cabo en la EEA INTA Manfredi.

Genotipo	VE-V4 (días)
5X9	25
4X4	25
3900	25
A 8000	26
6X1	27
3X9	27
8X8	29
3X5	29
4X99	30
7X3	30
5X2	30
S47-R3	30
BR 16	31

5.3. DINÁMICA DEL ÁREA FOLIAR Y PESO SECO MEDIANTE ESTIMACIÓN POR MODELOS ALOMÉTRICOS

- El área foliar estimada (cm^2) exhibió una tendencia lineal a lo largo de la etapa vegetativa en ambos tratamientos y distintos genotipos (Figura 3). En todos los casos, los ajustes de dichos modelos mostraron valores muy altos ($R^2 > 0,94$).

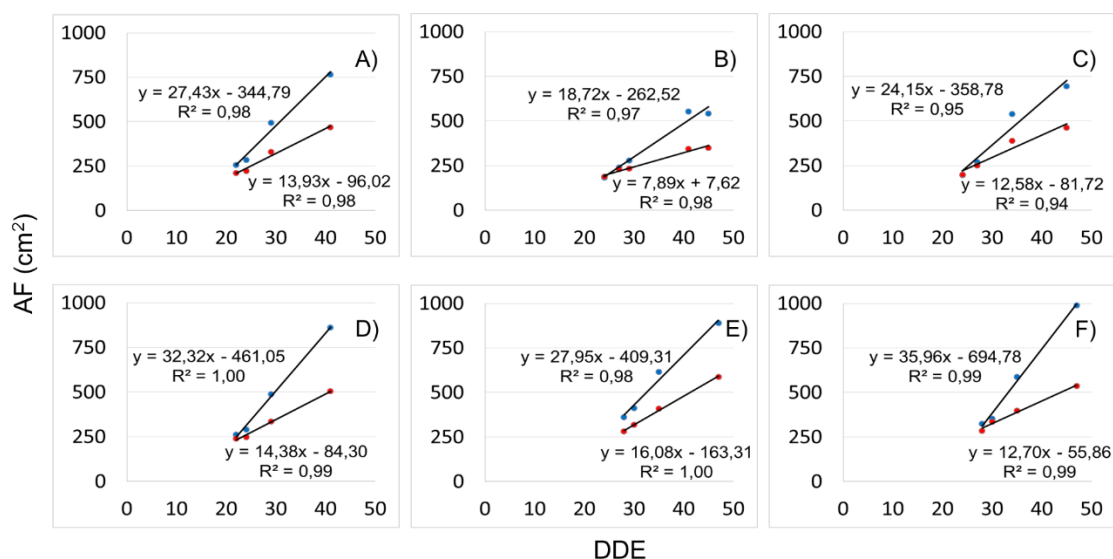


Figura 3. Área foliar estimada durante fase vegetativa por planta (cm^2) en distintos genotipos de soja (*Glycine max* L. Merrill) en función de los días desde emergencia (DDE). Puntos azules corresponden al tratamiento control (C), puntos rojos al tratamiento estrés hídrico (EH). Se indican los modelos para tratamiento C y EH por encima y debajo de las curvas, respectivamente, y para cada genotipo. Genotipos: A) 3900 B) 3X5 C) 3X9 D) 4X4 E) 4X99 F) 5X2. Cada punto corresponde al promedio de cuatro plantas excepto el segundo punto en los genotipos A, C, D, E, F y el tercero en el genotipo B donde corresponde al promedio de cinco plantas. Ensayo realizado para valorar la respuesta genotípica al estrés hídrico durante fase vegetativa en soja (*Glycine max* L. Merrill) llevado a cabo en la EEA INTA Manfredi.

- La dinámica del peso seco (PS, g) estimado a lo largo de la fase vegetativa fue lineal, exhibiendo ajustes muy altos ($R^2 > 0,94$), para los dos tratamientos y los distintos genotipos considerados (Figura 4).

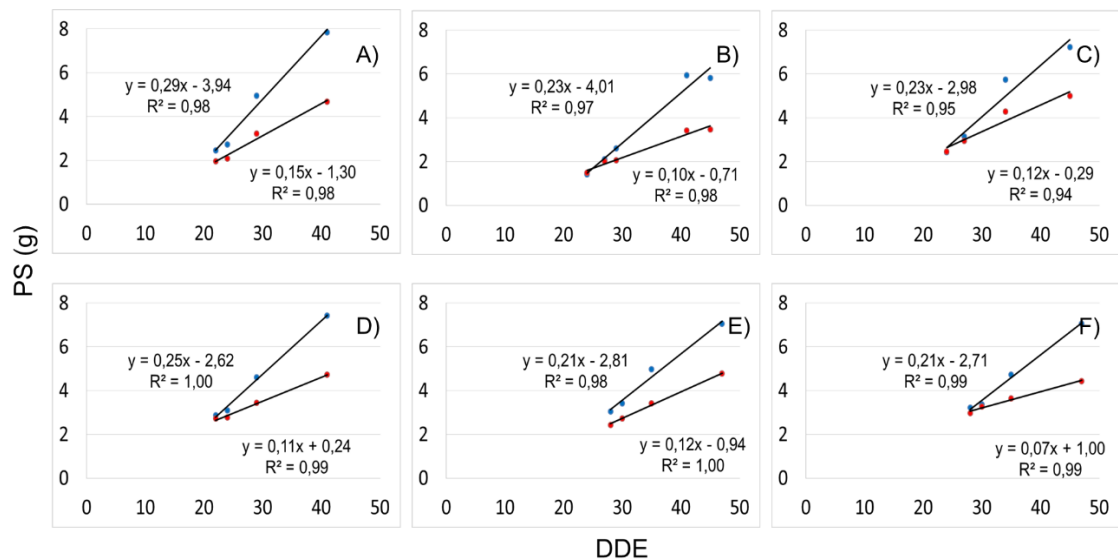


Figura 4. Peso seco estimado durante fase vegetativa por planta (g) en distintos genotipos de soja (*Glycine max* L. Merrill) en función de los días desde emergencia (DDE). Puntos azules corresponden al tratamiento control (C), puntos rojos al tratamiento estrés hídrico (EH). Se indican los modelos para tratamiento C y EH por encima y debajo de las curvas, respectivamente, y para cada genotipo. Genotipos: A) 3900 B) 3X5 C) 3X9 D) 4X4 E) 4X99 F) 5X2. Cada punto corresponde al promedio de cuatro plantas excepto el segundo punto en los genotipos A, C, D, E, F y el tercero en el genotipo B donde corresponde al promedio de cinco plantas. Ensayo realizado para valorar la respuesta genotípica al estrés hídrico durante fase vegetativa en soja (*Glycine max* L. Merrill) llevado a cabo en la EEA INTA Manfredi.

5.4. ÁREA FOLIAR Y PESO SECO

El área foliar final promedio por planta (AF f, cm²) para cada tratamiento y genotipo se visualiza en la Figura 5. Se observaron diferencias significativas debido al tratamiento ($p < 0.0001$) y al genotipo ($p = 0.0004$), no observándose interacción tratamiento*genotipo ($p = 0.7653$).

En promedio, el tratamiento EH redujo en un 39% su AF f respecto del C para todos los genotipos.

El genotipo que mayor AF f logró fue 7X3 (880,98 cm²), en tanto que 3X5 fue el de menor AF f (446,36 cm²), con un rango de variación de 434,62 cm².

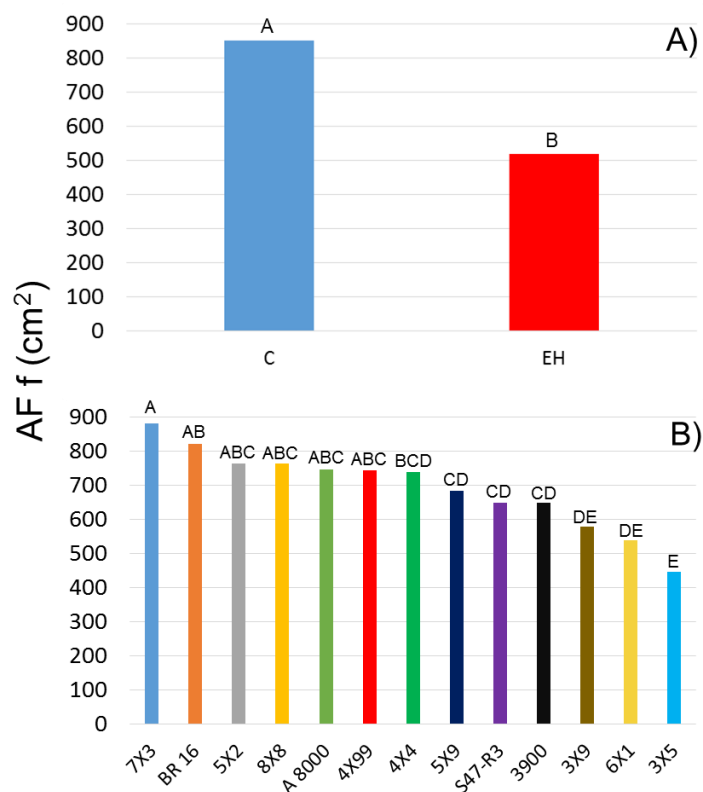


Figura 5. Área foliar final promedio por planta (AF f, cm²). A) Tratamientos - Control (C) y Estrés Hídrico (EH)-. B) Genotipos. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$) según test LSD de Fischer. Ensayo realizado para valorar la respuesta genotípica al estrés hídrico durante fase vegetativa en soja (*Glycine max* L. Merrill) llevado a cabo en la EEA INTA Manfredi.

En cuanto al peso seco total final promedio por planta (PS f, g) se observaron diferencias significativas debido al tratamiento ($p < 0.0001$) y al genotipo ($p = 0.0257$), no observándose interacción tratamiento*genotipo ($p = 0.8618$). Los resultados se observan en la Figura 6.

El tratamiento EH redujo, en promedio, un 32% su PS f, respecto del C. para todos los genotipos.

Se destacaron como genotipos contrastantes 8X8 y 3X5, cuyos PS f fueron 6,95 g y 4,74 g, respectivamente. La variación entre ambos fue de 2,21 g.

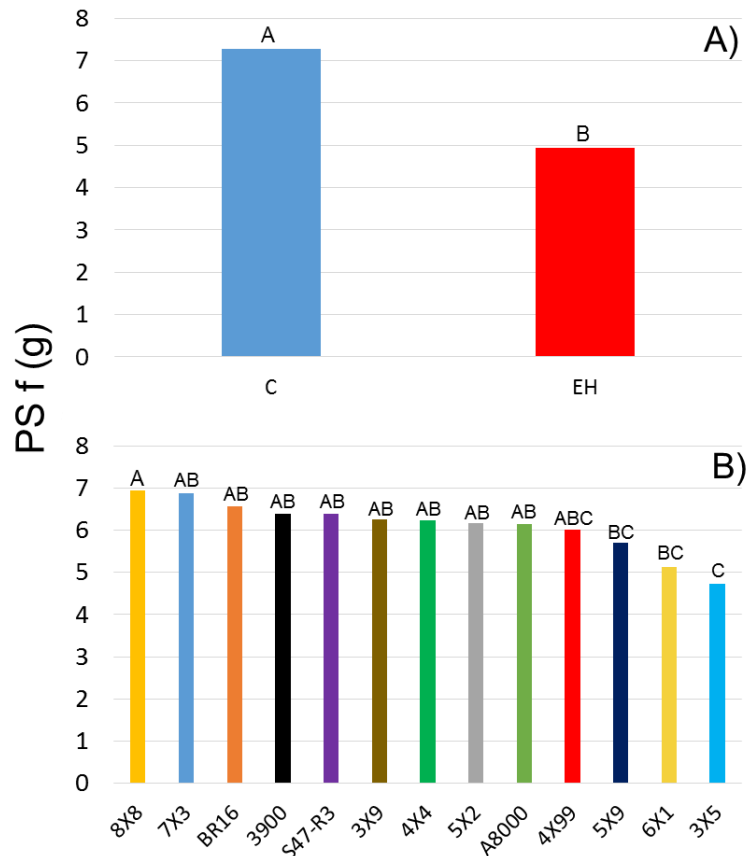


Figura 6. Peso seco total final promedio por planta (PS f, g). A) Tratamientos - Control (C) y Estrés Hídrico (EH)-. B) Genotipos. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$) según test LSD de Fischer. Ensayo realizado para valorar la respuesta genotípica al estrés hídrico durante fase vegetativa en soja (*Glycine max* L. Merrill) llevado a cabo en la EEA INTA Manfredi.

5.5. CONSUMO HÍDRICO ACUMULADO DURANTE PERÍODO DE ESTRÉS HÍDRICO

El consumo hídrico acumulado por planta (C Ac, g) para cada tratamiento y genotipo durante el período de estrés hídrico se visualiza en la Figura 7. Se observó efecto por acción del tratamiento ($p < 0.0001$) y del genotipo ($p = 0.011$) no observándose interacción tratamiento*genotipo ($p = 0.4929$).

En promedio, el tratamiento EH redujo su C Ac durante el período de estrés en un 45% respecto del C, para todos los genotipos.

Se observaron como genotipos contrastantes en cuanto a su C Ac durante el período de estrés a 7X3 (1225,98 g) y a 3X1 (711,45 g). La variación entre ambos fue de 514,53 g.

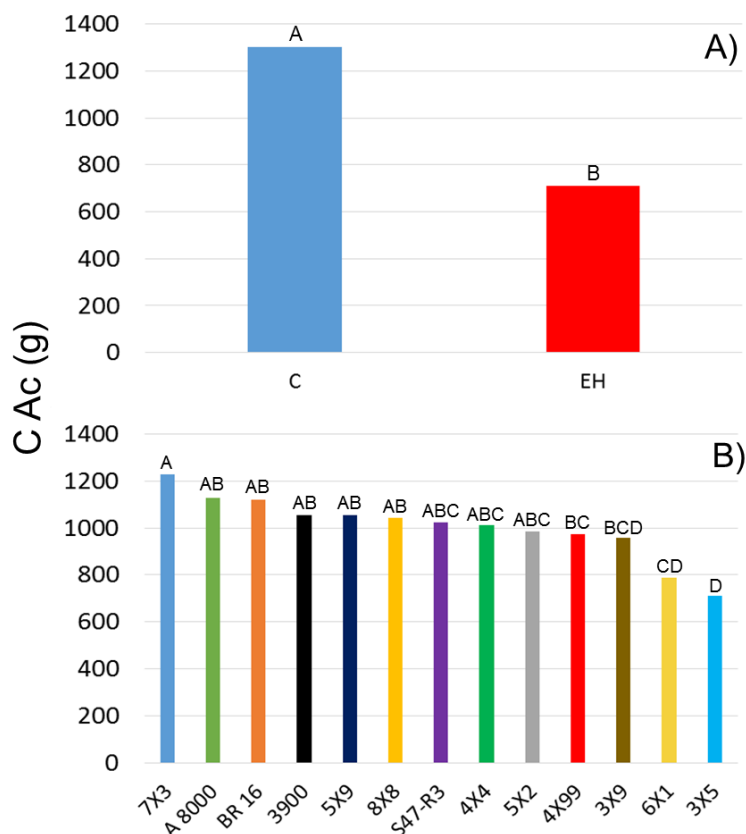


Figura 7. Consumo hídrico acumulado por planta (C Ac, g) durante el período de estrés hídrico. A) Tratamientos -Control (C) y Estrés Hídrico (EH)-. B) Genotipos. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$) según test LSD de Fischer Ensayo realizado para valorar la respuesta genotípica al estrés hídrico durante fase vegetativa en soja (*Glycine max* L. Merrill) llevado a cabo en la EEA INTA Manfredi.

5.6. EFICIENCIA TRANSPIRATORIA DURANTE PERÍODO DE ESTRÉS HÍDRICO

La eficiencia transpiratoria promedio por planta (ET, g Kg^{-1}) durante el período de estrés hídrico se visualiza en la Figura 8. No se observaron diferencias significativas en cuanto al tratamiento ($p=0.1141$), observándose diferencias debido a la acción del genotipo ($p<0.0001$). Tampoco se observó interacción tratamiento*genotipo ($p=0.2915$).

El rango de variación entre genotipos en cuanto a la ET fue de $1,67 \text{ g Kg}^{-1}$, siendo 3900 el de mayor ET durante el período de estrés hídrico ($3,69 \text{ g Kg}^{-1}$) y 5X9 el de menor ($2,02 \text{ g Kg}^{-1}$)

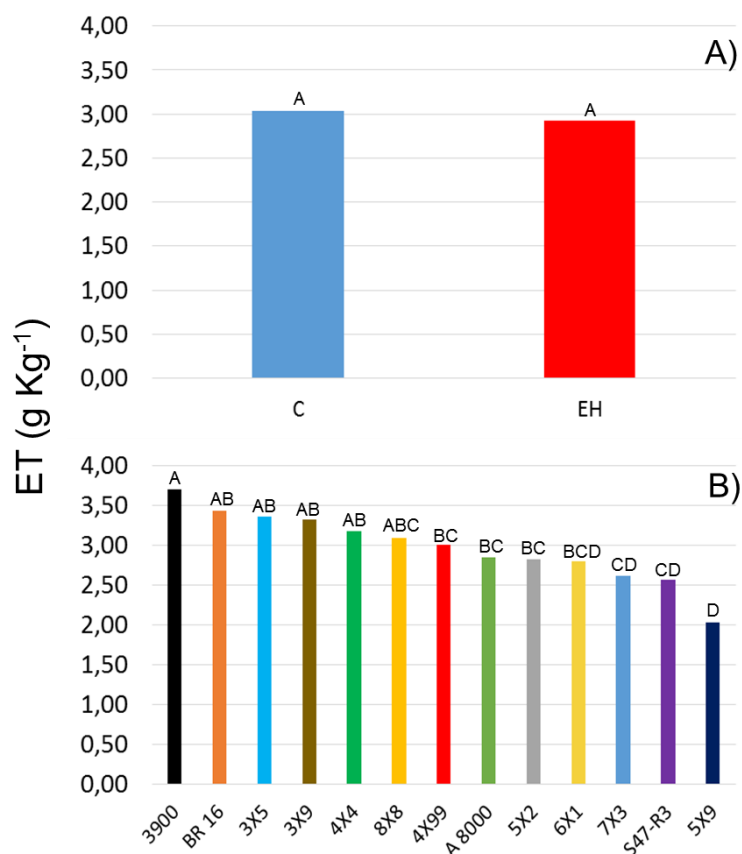


Figura 8. Eficiencia transpiratoria promedio por planta (ET, g Kg⁻¹) durante el período de estrés hídrico. A) Tratamientos -Control (C) y Estrés Hídrico (EH)-. B) Genotipos. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$) según test LSD de Fischer Ensayo realizado para valorar la respuesta genotípica al estrés hídrico durante fase vegetativa en soja (*Glycine max* L. Merrill) llevado a cabo en la EEA INTA Manfredi.

6. DISCUSIÓN

En este trabajo, se analizó el crecimiento en términos de área foliar y biomasa de diferentes genotipos de soja sometidos a una situación de estrés hídrico en fase vegetativa a partir del estado de tercera hoja trifoliada completamente desplegada (V4, según escala de Fehr y Caviness, 1977). En particular, se valoró si la eficiencia transpiratoria fue afectada por el nivel hídrico en suelo y el genotipo.

Un aspecto particular de este estudio fue que la intensidad del estrés hídrico fue idéntica entre materiales, a pesar de que se evidenciaron diferencias genotípicas en área foliar –diferencias significativas ($p=0.0004$, Figura 5)-, peso seco –diferencias significativas ($p=0.0257$, Figura 6)- y consumo acumulado durante el período de estrés hídrico –diferencias significativas ($p=0.0110$, Figura 7). El manejo controlado del nivel hídrico en suelo permite excluir la influencia del consumo diferencial debido al porte del genotipo.

Prieto *et al.*, (2011) demostraron que la eficiencia transpiratoria durante fase vegetativa es un carácter constitutivo en soja, que hay variabilidad intraespecífica (independientemente del nivel hídrico) y que dicho carácter aumenta en respuesta al déficit hídrico. Otros autores también demuestran que la ET aumenta con el déficit hídrico, postulándose que el cierre estomático subyace a dicha respuesta (Liu *et al.* 2005). En este estudio, si bien hubo variabilidad entre genotipos en cuanto a la eficiencia transpiratoria -se observaron diferencias significativas por acción del genotipo ($p < 0.0001$, Figura 8)-, no se evidenció un aumento de dicho carácter frente a la imposición del estrés hídrico, dado que no se apreció acción del tratamiento –diferencias no significativas ($p = 0.1141$; Figura 8). Es probable que diferencias de magnitud del déficit hídrico entre éste y el experimento de Prieto *et al.*, 2011 expliquen los distintos resultados. En el estudio de Prieto *et al.*, 2011, los autores manejaron un nivel de estrés hídrico que correspondió al 30% de la necesidad hídrica potencial. En este experimento, el nivel hídrico del tratamiento EH fue de un 45% del C; considerándose por ende como menos intenso. Sin embargo, y en forma similar a pocos estudios anteriores en esta temática, se confirmó que la eficiencia transpiratoria es un carácter constitutivo ya que no se evidenció interacción genotipo*tratamiento –diferencias no significativas ($p = 0.2915$, Figura 8)

En este estudio, otras variables fueron modificadas por el estrés hídrico, encontrándose variación genotípica pero no interacciones entre genotipos y nivel hídrico. Estos resultados demuestran que el estrés hídrico afectó en forma similar a todos los materiales y que ninguno de ellos se manifestó como más susceptible o tolerante.

7. CONCLUSIÓN

La eficiencia transpiratoria caracterizada durante fase vegetativa es un carácter constitutivo que presenta variabilidad genotípica pero que en condiciones moderadas de estrés hídrico no exhibe un incremento en comparación a condiciones sin estrés.

8. BIBLIOGRAFÍA

Calzada, J. 2012. *Argentina como productor y exportador de granos: Importancia del gran Rosario*. Bolsa de comercio de Rosario.

Cattivelli, L.; Rizza, F.; Badeck, F.W.; Mazzucotelli, E.; Mastrangelo, A.M.; Francia, E.; Marè, C.; Tondelli, A.; Stanca, A.M. 2008. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. *Field Crops Res* 105: 1-14.

Chimenti, C.A., Hall, A.J. 1994. Responses to water stress of apoplastic water fraction and of elasticity in sunflower (*Helianthus annuus* L.) genotypes capacity for osmotic adjustment bulk modulus of contrasting. *Plant and Soil* 166: 101-107.

Desclaux, D.; Roumet, P. 1996. Impact of drought stress on the phenology of two soybean (*Glycine max* L. Merr) cultivars. *Elsevier Science B.V.* 46: 61-70.

Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2015. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Edmeades, G.O.; Bolanños, J.; Bânziger, M.; Ribaut, J.M.; White, J.W.; Reynolds, M.P.; Lafitte, H.R. 1998. Improving crop yields under water deficits in the tropics. Pp. 437–451. In V.L. Chopra *et al.* (ed.). Crop productivity and sustainability - shaping the future. Proc. Int. Crop Sci. Congress, 2nd, New Delh.

Fehr, W.R., Caviness, C.E., 1977. Stages of soybean development. Cooperative Extension Service, Agriculture and Home Economics Experiment Station, Iowa State University, Ames, Iowa.

Hall, A.J. 1984. Tolerancia a stress hídrico en maíz: bases fisiológicas y morfológicas. Actas IIIº Congreso Nacional del Maíz. Pp: 11-23.

Hufstetler, E.V.; Boerma, H.R.; Carter Jr., T.E.; Earl, H.J. 2007. Genotypic variation for three physiological traits affecting drought tolerance in soybean. *Crop Sci* 47: 25-35.

INTA Secretaría de Agricultura, Ganadería y Recursos Renovables de la Nación. 1987. Carta de suelos de la República Argentina. Hoja 3163-32 Oncativo.

Levitt, J. 1980. Responses of plants to environmental stresses. 2nd ed., Vol.2. Academic Press, New York.

Liu, F.; Jacobsen, S.E.; Jensen, C.R.; Andersen, M.N. 2005. Stomatal control and water use efficiency of soybean (*Glycine max* L. Merr.) during progressive soil drying. *Environmental and Experimental Botany* 54: 33-40.

Mian, M.A.R.; Ashley, D.A.; Boerma, H.R. 1998. An additional QTL for water use efficiency in soybean. *Crop Sci* 38: 390-393.

Mian, M.A.R.; Ashley, D.A.; Parrott, W.A.; Boerma, H.R.; Bailey, M.A.; Wells, R.; Carter Jr., T.E. 1996. Molecular markers associated with water use efficiency and leaf ash in soybean. *Crop Sci* 36: 1252-1257.

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. 2015. Dirección de Información Agrícola y Forestal. Consultado el 05/07/2015 de: http://www.siiia.gob.ar/sst_pcias/estima/estima.php.

Passioura, J.B. 1977. Grain yield, harvest index and water use of wheat. *J Aust Inst Agric Sci* 43: 117-12.

Passioura, J.B. 1996. Drought and drought tolerance. *Plant Growth Regulation* 20: 79-83.

Passioura, J.B. 2007. The drought environment: physical, biological and agricultural perspectives. *J Exp Bot* 58: 113-117.

Prieto Angueira, S.; C.R.C. Vega, and C.A. Chimenti. 2011. Variación de la eficiencia transpiratoria durante la ontogenie y su asociación con la estabilidad del rendimiento en soja [*Glycine max* (L.) Merrill]. In ACSOJA, ed. Actas Congreso Mercosoja 2011, Rosario.

Prieto, S., C.R.C. Vega, and C.A. Chimenti. 2007. Variabilidad intraespecífica en eficiencia del uso del agua en soja [*Glycine max* (L.) Merrill], pp. 86-87, In B. Kruk and R. Serrago, (eds.) Workshop Internacional. Eco Fisiología Vegetal Aplicada al Estudio de la Determinación del Rendimiento y la Calidad de los Cultivos de Granos. FA-UBA; INTA; FCA-UNMdP, Mar del Plata.

Sinclair, T.R.; Salado-Navarro, L.R.; Salas, G.; Purcell, L.C. 2007. Soybean yields and soil water status in Argentina: Simulation analysis. *Agricultural Systems* 94: 471-477.

Sinclair, T.R.; Tanner, C.B.; Bennett, J.M. 1984. Water-use efficiency in crop production. *BioScience* 34: 36-40.

Tardieu, F. 2005. Plant tolerance to water deficit: Physical limits and possibilities for progress. *Comptes Rendus - Geoscience* 337: 57-67.

USDA. 2015. Statistics of Oilseeds, Fats, and Oils. Consultado el 05/07/2015 de: http://www.nass.usda.gov/Publications/Ag_Statistics/2013/chapter03.pdf.