

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

Trabajo Final

Para optar al Grado de Ingeniero Agrónomo.

EFFECTO DEL AMBIENTE EN LA CALIDAD
FISIOLÓGICA DE SEMILLAS DE CULTIVARES DE
SOJA

Autor: Pablo D. Cagnolo

DNI: 32.080.971

Directora: Ing. Agr. Elena M. Fernandez

Río Cuarto – Córdoba

Argentina

2011

INTRODUCCIÓN

La calidad de la semilla, insumo básico para todos los sectores de la agricultura, es un factor clave en el establecimiento de un *stand* de plantas sano y homogéneo, punto crítico en la producción de un cultivo exitoso (Roca, 2003).

La calidad de las semillas es definida como un conjunto de cualidades o atributos que pueden ser divididos en “componentes primarios” y “componentes secundarios”. Entre los primeros se encuentran la viabilidad, la germinación, el vigor y la sanidad, mientras que la pureza varietal, pureza físico – botánica, peso, densidad, humedad, tamaño, integridad física y forma son algunos de los atributos que se clasifican como componentes secundarios. Los componentes primarios son aquellos que definen el *stand* inicial de plántulas, mientras que los componentes secundarios de la calidad pueden condicionar la completa expresión de los primeros y por ende, interferir en el establecimiento del cultivo (Craviotto citado por Gallo, 2008).

La semilla de soja presenta características morfológicas y fisiológicas particulares que determinan que en su manejo se deban tener en cuenta una serie de medidas específicas para obtener un producto de calidad. Desde el punto de vista morfológico posee el eje embrionario muy expuesto, razón por la cual es extremadamente susceptible al daño mecánico. A su vez, presenta en su composición química un elevado contenido de ácidos grasos poliinsaturados, motivo por el cual la semilla puede sufrir una importante reducción en su calidad fisiológica en cortos períodos de tiempo (Rossi y González, 2006).

La zona de producción de soja en Argentina se extiende desde los 22° a los 40° de latitud sur, con una amplia variedad de suelos y clima. De la combinación de estos factores con las prácticas de manejo, surge una gran diversidad de ambientes de producción. Al mismo tiempo, los cultivares de soja (variedades) disponibles en el mercado están ordenados según su ciclo en grupos de madurez (GM) (Belloso, 2003). Existen 13 GM, cada uno identificado con un número entre el 000 y el X. Aunque se trata de características genéticas independientes, la mayoría de los genotipos de los GM V a X que se cultivan actualmente en Argentina son determinados, existiendo algunas variedades indeterminadas y semideterminadas, mientras que los genotipos de los GM IV e inferiores, casi todos son indeterminados (Kantolic *et al.*, 2003).

En general, los cultivares de ciclo corto son los más afectados en la calidad física de la semilla, por las condiciones climáticas que predominan a fines de su ciclo; al madurar más temprano, la semilla está expuesta a mayor temperatura y humedad ambiente, por lo que tiene más probabilidad de deteriorarse (Baigorri *et al.*, 1997).

Durante el período de formación de las semillas, y aún después de que las plantas alcanzan el estado de madurez fisiológica y madurez comercial, los tejidos de las vainas y del tegumento se contraen y elongan como resultado de fluctuaciones de humedad y temperatura que ocurren durante todo el día. Este proceso de hidratación y deshidratación que se produce en las estructuras seminales origina daños de diferente magnitud que afecta, en mayor o menor medida, a la calidad fisiológica. La posibilidad de utilización de las semillas como simiente dependerá en parte de la intensidad y duración de las fluctuaciones de humedad y temperatura que se produzcan en el cultivo (Arango *et al.*, 2006 b). Estos autores también caracterizaron el daño ambiental presente en las semillas de soja, y observaron una alta ocurrencia de semillas con bandas de tejidos muertos en la periferia de los cotiledones, además, detectaron un alto porcentaje de semillas con fuelles formados por tejidos deteriorados alternados con tejidos sanos en la periferia de los cotiledones. La presencia predominante de bandas de tejidos muertos en la zona periférica de las semillas pone de manifiesto la magnitud del proceso de hidratación y deshidratación que debieron soportar durante la maduración en el campo.

Craviotto *et al.* (2006 a), observaron semillas de soja con diferentes anomalías físicas e identificaron dos grandes grupos: semillas arrugadas y semillas abolladas.

La fracción de semillas arrugadas se caracteriza por la presencia de arrugas típicas del daño ambiental en los tegumentos, con la correspondiente marca sobre los cotiledones de la semilla seca; las arrugas se limitan al área de la semilla opuesta al hilo, y pueden ser superficiales o severas, según la intensidad y evolución del daño ambiental, no se manifiestan en el tegumento -que cubre el área central de los cotiledones- ni producen alteraciones en la forma natural esférica de las semillas de soja. El síntoma característico de este fenómeno es la presencia de numerosas y profundas depresiones sobre la superficie seminal. Según Craviotto *et al.* (2006 a), el arrugamiento de las semillas se produciría por la ausencia de proteínas específicas denominadas de “choque térmico”, que, en condiciones particulares del ambiente de producción del lote de semillas, se tornan extremadamente activas. La ocurrencia de síntomas sobre la simiente ha sido claramente relacionada con condiciones de severo estrés provocado por altas temperaturas (superiores a 30°C) en situaciones de déficit hídrico prolongado. La intensidad del arrugamiento es ampliamente variable entre semillas de diferentes cultivares como también en un mismo cultivar, ya que el efecto del ambiente sobre cada semilla se manifiesta en diversas maneras y con diferentes niveles de magnitud (Gallo, 2008).

Las “semillas abolladas” presentan arrugas de diferente intensidad que se extienden desde la zona dorsal de las semillas hasta la superficie central de los cotiledones. Esta fracción

manifiesta la pérdida de esfericidad que caracteriza a las semillas de esta especie (Craviotto *et al.*, 2006 a).

Han sido reportados diferentes factores ambientales que contribuyen a la aparición de estos tipos de daños en las semillas. Delouche citado por Gallo (2008), reportó que el estrés hídrico severo en los cultivos interrumpe el desarrollo de las semillas y produce la aparición de semillas más livianas y arrugadas. Por su parte, Spears *et al.* citados por Gallo (2008), encontraron que las temperaturas mayores a 33°C favorecen la producción de semillas arrugadas y afectan negativamente la germinación y el vigor de las semillas.

França Neto *et al.* (2005), concluyeron que la calidad fisiológica de las semillas es severamente afectada por el arrugamiento, y que la germinación se reduce significativamente a medida que el nivel de arrugamiento del tegumento se intensifica.

França Neto *et al.* (2005), observaron que las semillas de soja arrugadas, sometidas a la Prueba Topográfica por Tetrazolio (TZ), presentan áreas de tejidos muertos (coloración blanca) en los cotiledones y otras de color rojo oscuro dónde se manifiesta una intensa actividad respiratoria debido a lesiones causadas por el ambiente.

Pereira da Costa *et al.* (2003) registraron una relación positiva entre los índices de deterioro por humedad -detectados por TZ- y la presencia de semillas verdes. Hubo una reducción lineal de la germinación y el vigor de las semillas con el aumento de las semillas verdes. Estas semillas –demostrado por el test de conductividad eléctrica – presentan mayores índices de lixiviación de solutos, muestran sus sistemas de membranas desorganizados, debido a la maduración forzada y a la muerte prematura de la planta. Consideran que los lotes que presentan más de 9% de semillas verdes no deben ser utilizados para la siembra.

Además, la calidad de la semilla está relacionada inversamente con el tamaño de la misma. A igualdad de longitud de ciclo, los cultivares con mayor tamaño de semilla son generalmente más afectados en su calidad física de semilla por condiciones ambientales adversas en la madurez (Baigorri *et al.*, 1997).

La mayor intensidad del proceso de deterioro de la semilla ocurre durante la etapa de llenado de grano (R5-R7, Fehr y Caviness, 1977), de manera tal se debe ajustar la fecha de siembra y el GM para evitar exponer dicho período a condiciones climáticas desfavorables que pueden causar la pérdida del vigor y de la viabilidad de las semillas (Craviotto *et al.*, 2006 b), como resultado de los complejos procesos de deterioro que pueden ocurrir en pre y poscosecha (Bauer *et al.*, 2003).

Las semillas “almacenadas” en la planta antes de la cosecha están sujetas a la influencia de factores ambientales que se producen en ese periodo, tales como: alta humedad, lluvia, alta

temperatura, radiaciones solares ultravioletas, infección fúngica y daños por insectos. Todos estos factores afectan en alguna medida la calidad (Salinas *et al.*, 2001).

La producción de semillas de alta calidad requiere de la ocurrencia de abundantes lluvias durante el desarrollo del cultivo y precipitaciones escasas en la etapa de madurez a cosecha. Esto tiene una correlación directa con el ciclo de los cultivares. La ocurrencia de altas temperaturas asociadas a baja disponibilidad hídrica durante el llenado de granos (R5 a R7, Fehr y Caviness, 1977) suelen originar semillas pequeñas, menos densas, inmaduras, verdes, arrugadas o deformadas. La semilla de soja alcanza la más alta viabilidad y vigor en el punto de madurez fisiológica. Su exposición a ciclos alternados de alta y baja humedad antes de la cosecha, debido a la ocurrencia de lluvias frecuentes o fluctuaciones diarias de humedad relativa del aire, resultan en el deterioro por humedad. El efecto sobre la germinación y el vigor puede ser más intenso aún, si se suman condiciones de elevada temperatura ($>30^{\circ}\text{C}$) por períodos prolongados como habitualmente sucede en nuestro país (Rossi y González, 2006). Los ensayos de calidad realizados en el Laboratorio de Semillas de la Estación Experimental Agropecuaria Oliveros del INTA permitieron determinar una baja calidad fisiológica de las semillas verdes de soja de dos cultivares comerciales. Los resultados de la prueba de Germinación Estándar en arena, mostraron importantes fallas en el proceso germinativo de las simientes verdes de soja, siendo elevado el porcentaje de semillas muertas ($> 83\%$) (Gallo *et al.*, 2007).

La trilla es la principal causa de daño mecánico, aunque éste puede ocurrir a lo largo de todo el proceso, desde la cosecha hasta el almacenamiento y maquinación de la semilla. El grado de humedad de las semillas es el factor que desempeña el papel más importante en la intensidad del daño mecánico sufrido; valores bajos de humedad aumentan los daños por fisura, mientras que cosechas con altos valores provocan daño por “amasamiento” (Rossi y González, 2006).

El daño producido por insectos (chinche) es otro factor que influye en la calidad de la semilla. La intensidad del daño depende del estadio del ciclo del cultivo en que se ocasione, pudiendo provocar desde caída de vainas jóvenes (en estadios R3-R4, Fehr y Caviness, 1977) o muerte de semillas (R4-R5, Fehr y Caviness, 1977), a sólo el manchado de los granos en el lugar de las picaduras, actuando como vía de entrada de hongos (R6-R7, Fehr y Caviness, 1977). Los ataques tempranos en el desarrollo de la semilla se manifiestan como daños profundos que atraviesan la cubierta de la semilla e incluso pueden llegar al interior de los cotiledones, a diferencia de ataques tardíos que se concentran mayormente en la zona superficial. La profundidad y la zona donde el daño se ubica influye marcadamente en la viabilidad y el vigor de las semillas (Rossi y González, 2006). Hay una relación positiva entre el daño por chinche (TZ 6-8, Kryzanowsky *et al.*, 1999) y el vigor (TZ 1-3) (Pereira da Costa *et al.*, 2003).

La información disponible del efecto de los factores ambientales sobre la calidad fisiológica de las semillas está referida a algunos genotipos de soja e inclusive no están disponibles en el mercado local, por lo que es necesario disponer de datos de cultivares utilizados actualmente en el mercado.

HIPÓTESIS

La calidad fisiológica de la semilla de soja está condicionada por las condiciones ambientales en el periodo de llenado del grano.

OBJETIVO

Evaluar la calidad fisiológica de la semilla de cultivares de soja con diferentes condiciones ambientales durante el desarrollo de las semillas generadas en distintos escenarios ambientales por fecha de siembra y grupo de madurez.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Evaluar la calidad fisiológica de semillas de cultivares de soja de semejante grupo de madurez en diferentes fechas de siembra a partir del poder germinativo y el vigor por medio del test de frío, envejecimiento acelerado, conductividad eléctrica, evaluación de plántulas y test tetrazolio.

Evaluar la calidad fisiológica de semillas de cultivares de soja de diferentes grupos de madurez en la misma fecha de siembra a partir del poder germinativo y el vigor por medio del test de frío, envejecimiento acelerado, conductividad eléctrica, evaluación de plántulas y test tetrazolio.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se llevó a cabo en el Laboratorio de Semillas de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional da Río Cuarto (UNRC), utilizando semillas de soja provenientes de lotes de producción de la campaña agrícola 2008/09 de la región de influencia de Bell Ville, provincia de Córdoba (32° 38' LS, 62° 41' LWG y 130 msnm).

Bell Ville está ubicado en la región de transición de la pradera pampeana a la zona semiárida. El clima es templado-subhúmedo, con un régimen de precipitaciones monzónico, es decir, concentrado en el período primavera-verano. La precipitación media anual es de 800 mm. El régimen térmico es templado o mesotermal, la temperatura media anual es de 16,5 °C, con valores medios para el mes más cálido de 23,9 °C (enero) y del más frío de 9,4 °C (julio). El período libre de heladas es de 256 días, se prolonga desde mediados de setiembre hasta mediados de mayo. El suelo es un Haplustol Udico (INTA, 1979).

Las características de los cultivares¹ utilizados se encuentran en el Cuadro 1.

Cuadro 1: Características de los cultivares utilizados en el ensayo.

Característica cultivar	AW 4500 RG	A 4613 RG	A 6445 RG
Tipo de Crecimiento	Indeterminado	Indeterminado	Determinado
Ciclo			
Días a floración	44	45	71
Días a maduración	140	144	167
Color pubescencia	Gris	Castaña	Gris
Color de flor	Púrpura	Blanca	Púrpura
Potencial de rendimiento	Muy alto	Excepcional	Excepcional
Plantas/m² a cosecha (siembra 1 ^a a 0,52 cm)	33	35	30
Altura de planta (cm)	95	92	105
Tipo de planta	Medianamente Ramificada	Ramificada	Muy ramificada
Peso por 1000 (gr)	165	190	170

Las características de los lotes y cultivos de los ensayos se especifican en el Cuadro 2.

Cuadro 2: Características de los lotes y cultivos de los ensayos.

Característica del cultivo	AW 4500 RG	A 4613 RG	A 6445 RG
Cultivo antecesor	Soja	Trigo	Trigo
Rendimiento (kg ha⁻¹)	2800	2000	1800
Fecha de siembra	10/11/08	07/12/08	08/12/08
Fecha de cosecha	26/03/09	12/04/09	30/04/09

¹ Catálogos de semilla Nidera 2004 y Monsanto 2002.

El campo donde se realizaron los cultivos de soja se encuentra a 15 km de Bell Ville, por lo que fue posible disponer de los registros de temperatura máxima y mínima, y precipitación, ocurridas durante la estación de crecimiento, de la estación meteorológica del I.P.E.M. N° 293 – Agr. Orestes Chiesa Molinari, Bell Ville – Córdoba.

Con los datos de temperatura media calculados a partir de los datos disponibles se realizó la suma térmica entre etapas fenológica (Fehr y Caviness, 1977) utilizando 8°C de temperatura base (Vega, 2006).

Se utilizó un diseño en bloque totalmente aleatorizado. Con el objeto de evaluar el efecto de las condiciones ambientales durante el llenado de las semillas los datos fueron analizados en dos grupos; en uno de ellos el tratamiento fue el cultivar de soja, con dos (2) niveles: A 4613 RG y A 6445 RG y en el otro fue la fecha de siembra, con dos (2) niveles: siembra de primera y siembra de segunda simulados con dos cultivares de grupo de madurez cuatro con cinco con características semejantes: AW 4500 RG y A 4613 RG respectivamente.

En laboratorio se evaluó la calidad fisiológica de las semillas a partir del poder germinativo (ISTA, 2008), y el vigor por medio del test de frío, envejecimiento acelerado, conductividad eléctrica (Hamptom y Te Krony, 1995), evaluación de plántulas y test tetrazolio (Kryzanowsky *et al.*, 1999).

A campo se evaluó la emergencia; en el CAMDOCEX-FAV UNRC se realizó la siembra de 100 semillas por cada tratamiento, con 3 repeticiones, en el mes de diciembre. Se realizó un conteo diario desde aparición de las primeras plántulas hasta que se estabilizó el número de plántulas emergidas; considerando como tal aquella que tenía la primera hoja totalmente expandida.

Los resultados se analizaron con el ANAVA y la separación de medias con el test Duncan ($P=0,05$), utilizando el programa Infostat (2007).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones ambientales y fenología

En la Figura 1 se encuentran representadas las condiciones de temperatura media del aire y las precipitaciones registradas durante el período octubre 2008 - mayo 2009, en valores diarios, donde tuvo lugar el desarrollo de los cultivos y con flechas que indican los estadios fenológicos de los tres cultivares de soja utilizados.

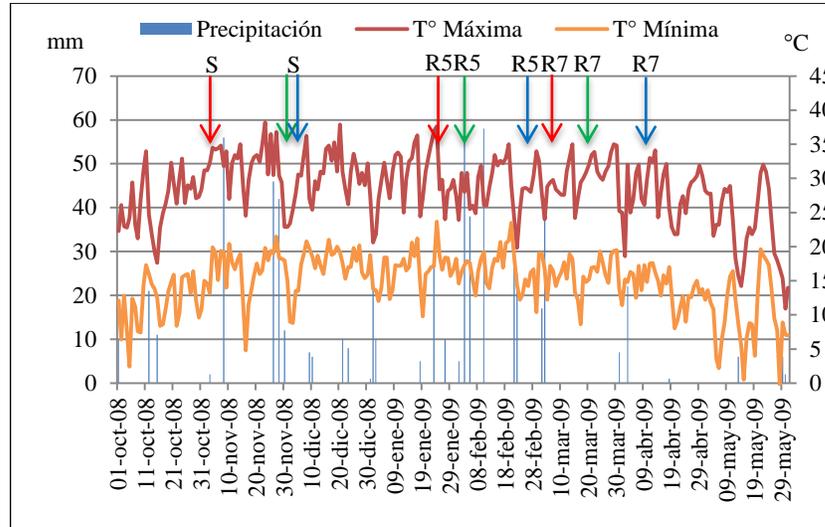


Figura 1: Temperatura máxima y mínima del aire y precipitaciones registradas diariamente durante el período octubre de 2008 - mayo de 2009 y estadios fenológicos de los tres cultivares.

Flecha roja: cultivar AW 4500. Flecha verde: cultivar A 4613. Flecha azul: cultivar A 6445.

Referencias: S: siembra. R5: comienzo llenado de granos. R7: comienzo madurez fisiológica.

Analizando el Cuadro 3, se puede observar la diferencia en la longitud del ciclo entre cultivares; entre AW 4500 RG y A 4613 RG -de similar grupo de madurez (GM)- es explicada por la fecha de siembra (Cuadro 2) más tardía que expuso a mayores temperaturas al segundo cultivar lo que produjo una reducción del ciclo. La mayor longitud de ciclo del cultivar A 6445 RG se debió a que pertenece a un GM más largo. La etapa fenológica en la que existe mayor diferencia en la duración es entre siembra (S) y R2, influenciada tanto por las modificaciones en fecha de siembra (Cuadro 2) como por el GM. También en esta etapa es cuando se evidencia la mayor diferencia entre cultivares en las sumas térmicas (8°C de temperatura base; Vega, 2006), donde se observa más de 200 °días entre los cultivares de similar GM, sembrados en distinta fecha y de casi 300 °días para los cultivares de distintos GM, sembrados en la misma fecha.

En el Cuadro 3 se detalla la cantidad de días en que la temperatura máxima superó los 30°C en cada etapa fenológica, teniendo en cuenta el gran efecto que tiene, junto al estrés hídrico, sobre la calidad de la semilla principalmente en el periodo de llenado de grano (Craviotto *et al.*, 2006 a).

Cuadro 3: Duración, precipitación, días con temperatura mayor a 30 °C y suma térmica de cada etapa fenológica de los cultivares de soja.

Etapa Fenológica	Variedad	Duración (Días)	Precipitación (mm)	Días con T° > 30°C	Suma térmica (° días)
S - R2	AW 4500	51	131	24	812,2
	A 4613	38	65	16	600,9
	A 6445	63	208	23	985
R2 - R5	AW 4500	32	79	12	492
	A 4613	31	201	9	475,5
	A 6445	24	169	9	362,5
R5 - R7	AW 4500	34	267	12	670,8
	A 4613	39	120	18	734,2
	A 6445	44	29	15	729,4
S - Cosecha	AW 4500	137	477	48	2103,5
	A 4613	127	406	43	1941,5
	A 6445	144	407	47	2147,1

El cultivar con mayor cantidad de días con temperaturas por encima de 30°C durante todo su ciclo fue AW 4500 (48 días), seguido por 6445 (47 días) y por último A 4613 (43 días), de los cuales 24, 23 y 16 días, respectivamente, corresponden a la etapa fenológica siembra (S) – R2, siendo el periodo en el que se produjo el mayor número de días con esas temperaturas. Durante la etapa de llenado de granos (R5-R7) el cultivar A 4613 tuvo el mayor número de días con temperaturas superiores a 30°C (6 días al comienzo de R5, 3 días a mediados y fin de R6 y 4 días a mediados de R7), le siguió el cultivar AW 4500 (6 días a fines de R5 y 3 días a mediados de R7) y por último el cultivar A 6445 (3 días a mediados de R5 y 3 a principio, 4 a mediados y 3 a fines de R6).

En cuanto a las precipitaciones, el cultivar AW 4500, en todo su ciclo, recibió 71 mm más que los otros 2 cultivares. Se puede observar la gran heterogeneidad en la distribución de las precipitaciones en las distintas etapas fenológicas. En el periodo de llenado de grano (R5 – R7) los cultivares AW 4500, A 4613 y A 6445 recibieron 267 mm, 120 mm y 29 mm respectivamente, (Cuadro 3) lo que se vio reflejado en el tamaño de las semillas. Este fue bajo el

peso de 1000 granos: 152 gr. en AW 4500, 109 gr. en A 4613 y 107 gr en A 6445. Los valores de A 4613 y A 6445 son muy inferiores a los presentados por la empresa vendedora y mostrados en los catálogos (Cuadro 1), aunque en AW 4500 la reducción no fue marcada (Cuadro 1). Esta importante disminución en el peso de mil granos en los cultivares A 4613 y A 6445 fue debido principalmente al estrés hídrico sufrido durante el periodo de llenado de granos, más precisamente en las etapas R6 y R7 en el cultivar A 4613 y R5, R6 y R7 en el cultivar A 6445. Si bien en este último se registró una precipitación a mediados de R6, esta no fue suficiente para contrarrestar el estrés ocasionado anteriormente debido a la baja reserva hídrica en el suelo. Al respecto el cultivar AW 4500, donde la reducción del peso de grano no fue tan marcada, este recibió precipitaciones hasta fin del estadio R6 lo que explica el mayor peso de granos logrado.

Comparación de la calidad fisiológica de semillas de cultivares de soja de semejante grupo de madurez en diferentes fechas de siembra.

Considerando la fecha de siembra (FS), la fecha de siembra de segunda (FS2°) (A 4613) superó significativamente en un 21% el test patrón de germinación (TPG) de la fecha de siembra de primera (FS1°) (AW 4500) (Figura 2), con lo cual se puede decir que el cultivar A 4613 (FS2°) puede ser utilizado como semilla debido a que su porcentaje de germinación (PG) (83,3%) está por encima del valor mínimo (80%), establecido por el SAGPYA (2006), requerido para tal uso.

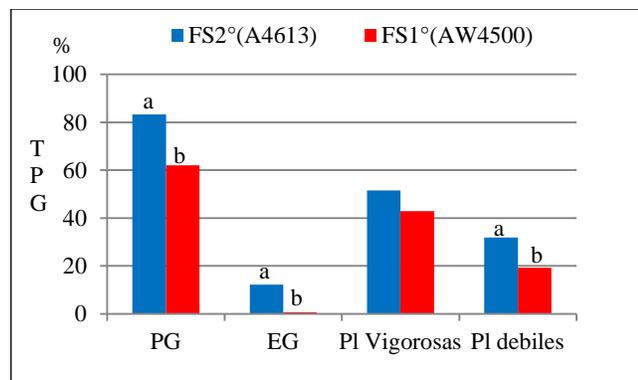


Figura 2: Porcentaje de germinación (PG), energía germinativa (EG), plántulas (PI) vigorosas y plántulas (PI) débiles del Test Patrón de Germinación (TPG), según FS1° (AW 4500) y FS2° (A 4613).

Para cada variable letras distintas indican diferencias significativas al 5 % del test de Duncan.

Las plantas vigorosas representaron el 61,8 % (FS2°) y 69,0 % (FS1°) del PG de cada una de las FS, sin diferencia significativas entre ellas. Hubo diferencia significativa en la energía germinativa (EG) entre FS, aunque los valores fueron muy bajos (Figura 2). Estos resultados son llamativos, ya que la FS2° que tuvo estrés hídrico (entre R6 y R7) y estrés térmico (mayor cantidad de días con temperaturas > 30°C) presentó los mayores valores contradiciendo lo planteado por Craviotto *et al.* (2006 a).

La diferencia encontrada en el TPG puede ser explicada por el alto porcentaje de semillas muertas de la FS1° (Figura 3), que superan ampliamente (19,3 %) a la FS2°. Este alto porcentaje de semillas muertas puede deberse al mayor daño mecánico (FS1°) ocasionado durante el momento de cosecha probablemente por un bajo contenido de humedad del grano y a la mayor proporción de semillas verdes (15%) de la FS1° con respecto a la FS2° (6%), confirmando los

resultados encontrados por Gallo *et al.* (2007) en el Laboratorio de Semillas de la Estación Experimental Agropecuaria INTA Oliveros. La mayor presencia de semillas verdes puede ser debida a la mezcla de semillas de cultivares de diferentes ciclos ya que las temperaturas mínimas durante el periodo de llenado fueron superiores a los 18 °C (Figura 1).

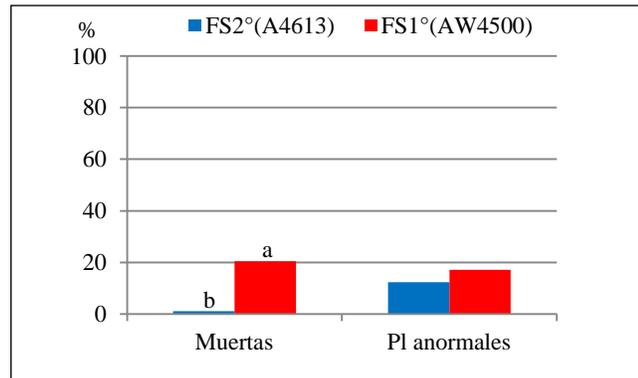


Figura 3: Porcentaje de semillas muertas y plántulas (Pl) anormales, según FS1° (AW 4500) y FS2° (A 4613).

Letras diferentes indican distintas significativas al 5 % del test de Duncan.

Se emplearon distintos test para evaluar el vigor de las semillas. Uno de ellos fue el test de frío (TF) que presentó diferencias significativas entre las FS analizadas (Figura 4); la FS2° tuvo el mayor vigor (78,6 %) superando en 26,3 % a la FS1°, además este parámetro de calidad estuvo conformado principalmente por plántulas vigorosas (82 %), en cambio en la otra FS (FS1°) el vigor estuvo compuesto principalmente por plántulas débiles (63 %). Según Casini *et al.* (1997), quien estableció parámetros de calidad para semillas de soja, donde clasifico como “muy buena” a semillas que presentan un vigor entre 76-80%, por lo que en esta categoría se puede ubicar al cultivar A 4613 (FS2°) debido a su vigor (78,6 %).

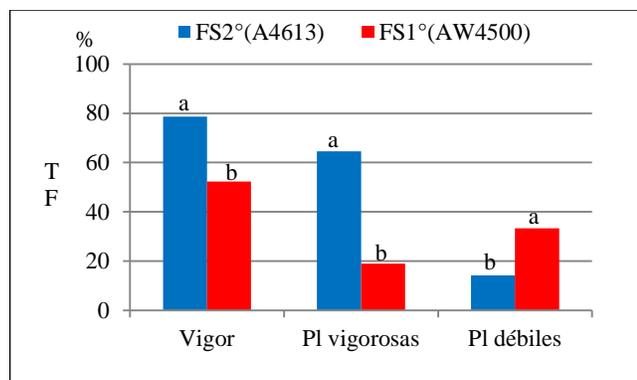


Figura 4: Porcentaje de vigor, plántulas (Pl) vigorosas y plántulas (Pl) débiles del Test de frío, según FS1° (AW 4500) y FS2° (A 4613).

Para cada variable letras distintas indican diferencias significativas al 5 % del test de Duncan.

Resultados similares al TF fueron encontrados con el test de envejecimiento acelerado (EA) (Figura 5); la FS2° tuvo mayor vigor (67,3 %) y plántulas vigorosas (42,8 %), que la FS1° (36,6 % y 11,8 %, respectivamente).

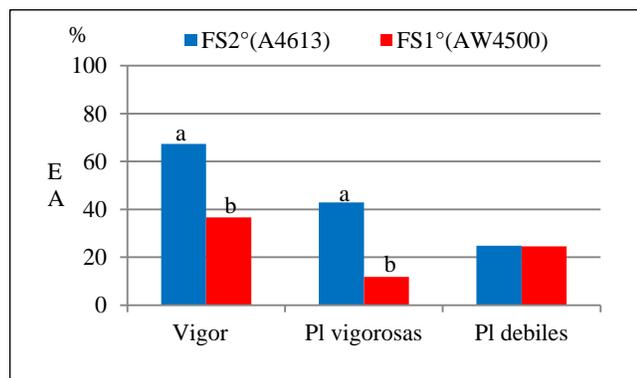


Figura 5: Porcentaje de vigor, plántulas (Pl) vigorosas y plántulas (Pl) débiles del Test de envejecimiento acelerado (EA), según FS1° (AW 4500) y FS2° (A 4613).

Para cada variable letras distintas indican diferencias significativas al 5 % del test de Duncan.

También se encontraron diferencias significativas en el test de conductividad eléctrica (CE) (Figura 6); la FS1° tuvo mayor conductividad ($121,5 \mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) que la FS2° ($76,7 \mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$), demostrando menor vigor e imposibilitando su uso como semilla, en este sentido Vieira *et al.* (2004) determinaron que valores superiores a $110 \mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ en semillas no pueden ser usadas para la siembra, inclusive si existe probabilidad de estrés hídrico durante la emergencia no deberían superar los $90 \mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$.

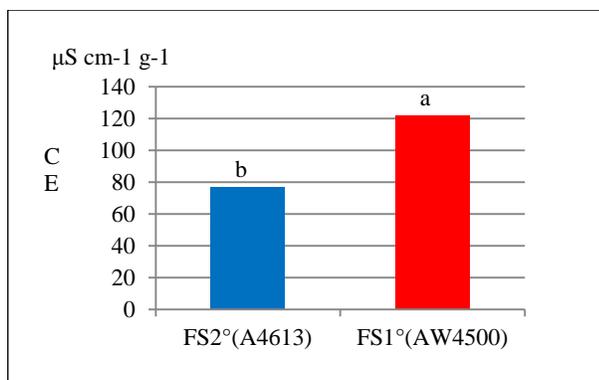


Figura 6: Test de conductividad eléctrica (CE), según FS1° (AW 4500) y FS2° (A 4613).
 Letras distintas indican diferencias significativas al 5 % del test de Duncan.

Por medio del test de tetrazolio (TZ) se pudo evidenciar una diferencia significativa en el vigor (27,6%) entre las FS (Figura 7) superando la FS2° (77,6 %) a la FS1° (50 %), así como también en el PG - TZ (13%). Estos valores de PG obtenidos con el TZ fueron muy similares a los obtenidos con el TPG (Figura 2).

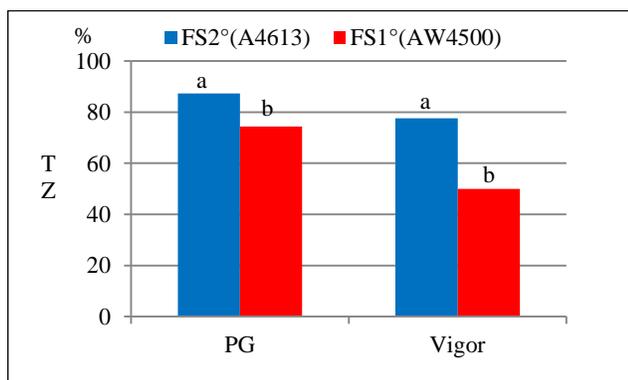


Figura 7: Porcentaje de germinación (PG) y vigor del Test de tetrazolio (TZ), según FS1° (AW 4500) y FS2° (A 4613).

Para cada variable letras distintas indican diferencias significativas al 5 % del test de Duncan.

Las diferencias encontradas entre las FS (Figura 7) pueden ser explicadas por los resultados presentados en la Figura 8 donde se graficó el porcentaje de cada tipo de daño observados en las semillas por medio del TZ. Analizando estos datos se puede decir que el principal daño fue debido a la humedad -por diferencias significativas- resultando más afectada la FS1° (32,6 %) superando en un 27,9% a la FS2° con un 4,6 % en la escala 1-8 (Figura 8). Por otro lado, algunos autores (Pereira da Costa *et al.*, 2003) observaron que los porcentajes de

deterioro por humedad, detectados por TZ, están directamente relacionados con los porcentajes de semillas verdes presentes en el lote.

Se observó también otros tipos de daños, como el mecánico y por chinche, pero estos no presentaron diferencias significativas.

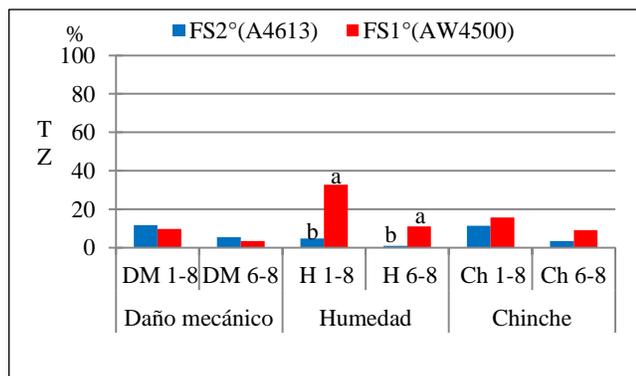


Figura 8: Porcentaje de daño mecánico (DM), daño por humedad (H) y daño por chinche (Ch) según el Test de tetrazolio (TZ), según FS1° (AW 4500) y FS2° (A 4613).

Para cada variable letras distintas indican diferencias significativas al 5 % del test de Duncan.

Al comparar los resultados del TPG con los test de vigor (TF, EA, CE y TZ) (Figura 9), se encontró diferencias significativas a favor de la FS2° que superó a la FS1° en el PG (21,3%); el TF (26,3%); el EA (30,6%) y el TZ (27,6%), y también demostrado por la CE con valores inversos, debido a que un alto valor implica menor vigor.

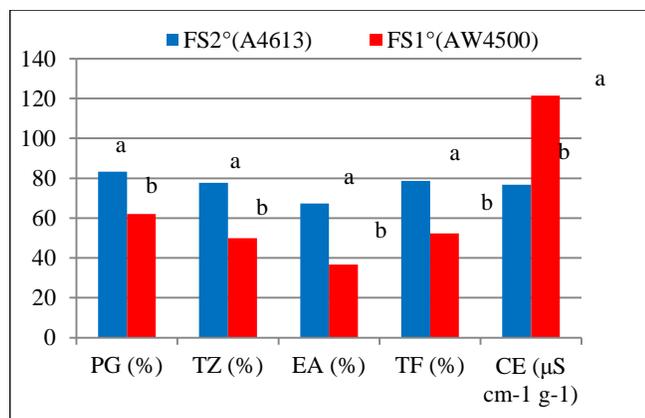


Figura 9: Porcentaje de germinación (PG) del Test Patrón de Germinación (TPG), porcentaje de vigor por test de tetrazolio (TZ), envejecimiento acelerado (EA), test de frio (TF) y conductividad eléctrica (CE), según FS1° (AW 4500) y FS2° (A 4613).

Para cada variable letras distintas indican diferencias significativas al 5 % del test de Duncan.

La emergencia a campo de la FS2° (80,4%) fue 30,3 % superior a la FS1° (50,1%) (Figura 10). Esta diferencia encontrada es debido a la similitud de estos resultados con los encontrados en laboratorio con el TPG (Figura 2), siendo la diferencia entre estos test de 2,85% en la FS2° y de 11.9% en la FS1°.

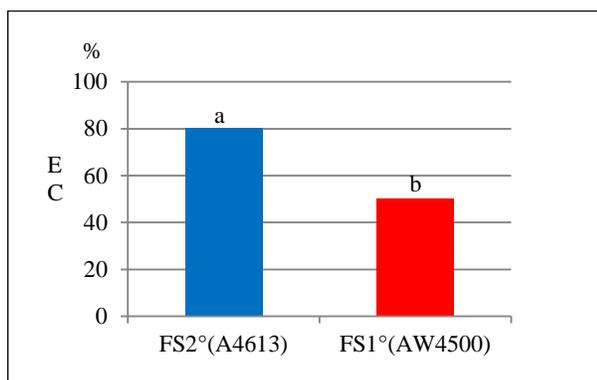


Figura 10: Porcentaje de emergencia a campo (EC), según FS1° (AW 4500) y FS2° (A 4613).

Letras distintas indican diferencias significativas al 5 % del test de Duncan.

Comparación de la calidad fisiológica de semillas de cultivares de soja de diferentes grupos de madurez en la misma fecha de siembra.

Considerando el grupo de madurez (GM) en una misma fecha de siembra, el TPG tuvo valores semejantes entre cultivares sin diferencia significativa (A 4613: 83,3 % y A 6445: 79,5 %), aunque, su conformación fue diferente entre genotipos; las plántulas vigorosas fueron mayores en A 6445 (87,7 %) que en A 4613 (61,8 %) superándolo en 18,3 %, lo que explica -en parte- la mayor EG (26,7 %) (Figura 11). Estos dos parámetros de vigor son muy importantes al momento de decidir el lote a sembrar cuando ambos tienen el mismo TPG.

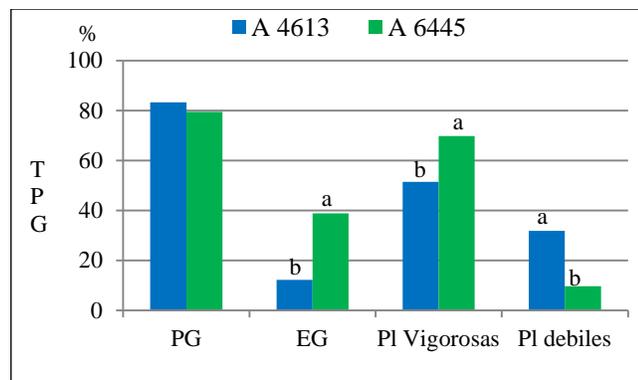


Figura 11: Porcentaje de germinación (PG), energía germinativa (EG), plántulas (PI) vigorosas y plántulas (PI) débiles del Test Patrón de Germinación (TPG), según cultivar A 4613 y A 6445.

Para cada variable letras distintas indican diferencias significativas al 5 % del test de Duncan.

Se puede inferir que el ambiente durante el periodo de desarrollo de las semillas del cultivar A 4613 fue más estresante, porque si bien las precipitaciones fueron mayores que para A 6445 superó a éste en el número de días con temperaturas $> 30^{\circ}\text{C}$ lo que disminuye la humedad relativa. Estos ambientes afectan negativamente la calidad fisiológica de las semillas (Gibson y Muller, 1996, França Neto *et al.*, 2005; Craviotto *et al.*, 2006 b; Padua *et al.*, 2009). Según Gibson y Muller (1996), el vigor de las plántulas es más susceptible que el TPG, pues es reducido con temperaturas diurnas superiores a 30°C y nocturnas de 20°C . El aumento de 20 a 30°C de la temperatura nocturna disminuye el vigor de las plántulas cuando la temperatura diurna alcanza los 30°C . Esta situación ocurrió en el desarrollo de las semillas de ambos genotipos debido a la diferencias del ciclo que expuso a las semillas a diferentes condiciones ambientales (Figura 1).

Si bien se encontraron diferencias significativas en los porcentajes de semillas muertas y plántulas anormales de ambos genotipo (Figura 12) los valores fueron muy bajos, con una diferencia de 3,5 % y 3,2 % de semillas muertas y plántulas anormales, respectivamente, en el cultivar A 6445 con respecto al cultivar A 4613. Estos valores explican los resultados similares en los porcentajes de TPG de ambos genotipos.

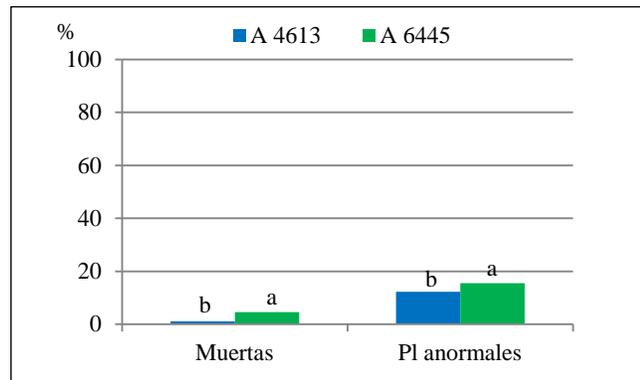


Figura 12: Porcentaje de semillas muertas y plántulas (Pl) anormales, según cultivar A 4613 y A 6445.

Para cada variable letras distintas indican diferencias significativas al 5 % del test de Duncan.

En la evaluación de vigor de las semillas, el TF no presentó diferencias significativas entre los cultivares analizados (A 4613: 78,6% y A 6445: 75,3%) (Figura 13). Este parámetro de calidad estuvo conformado por 82 % de plántulas vigorosas (A 4613: 64,5% y A 6445: 62%) y 18 % de plántulas débiles (A 4613: 14,1% y A 6445: 13,3%), en ambos genotipos. El porcentaje de vigor de la variedad A 6445 se ubica dentro del rango 70-75% con lo que se la puede calificar como “buena” según los parámetros de calidad establecidos por Casini *et al.* (1997).

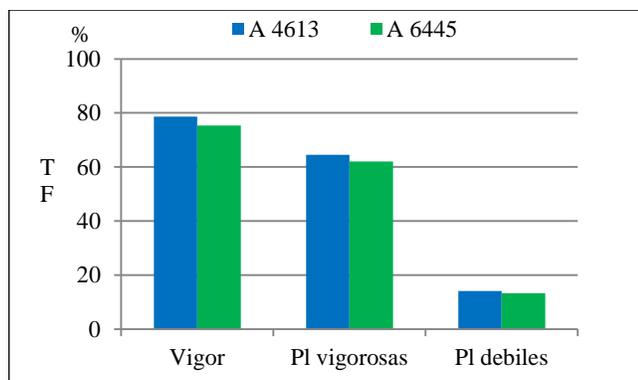


Figura 13: Porcentaje de vigor, plántulas (Pl) vigorosas y plántulas (Pl) débiles del Test de frío (TF), según cultivar A 4613 y A 6445.

Los resultados encontrados con el test de EA fueron similares a los del TF (Figura 14), con la excepción del porcentaje de plántulas vigorosas que en este test fueron significativamente diferentes (A 6445 10,2 % mayor que A 4613), posiblemente debido a que en el EA las semillas de menor tamaño son menos vigorosas, independientemente de la calidad del lote (Arango *et al.*, 2006 a).

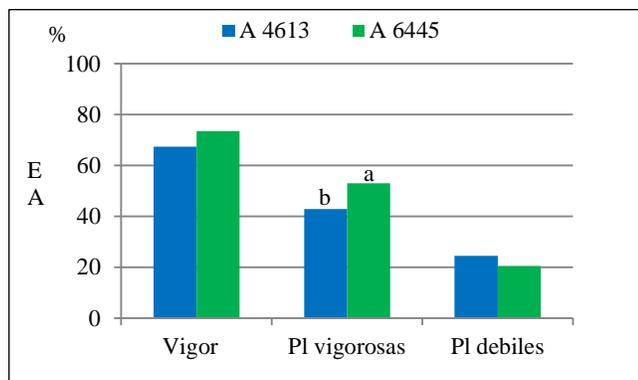


Figura 14: Porcentaje de vigor, plántulas (Pl) vigorosas y plántulas (Pl) débiles del Test de envejecimiento acelerado (EA), según cultivar A 4613 y A 6445.

Letras distintas indican diferencias significativas al 5 % del test de Duncan.

Por otro lado no se encontraron diferencias significativas en el test de CE (Figura 15). Se registraron valores de $76,7 \mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ y $66,7 \mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ en los cultivares A 4613 y A 6445, respectivamente. Estos valores son inferiores a los definidos por Viera *et al.* (2004) ($>110 \mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) para que el lote sea usado para la siembra.

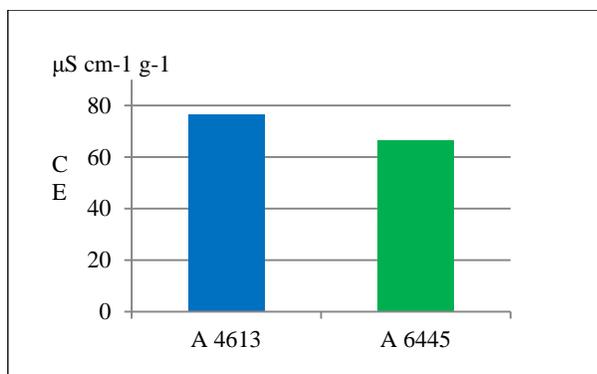


Figura 15: Test de conductividad eléctrica (CE), según cultivar A 4613 y A 6445.

El vigor evaluado con TZ (Figura 16) demostró una diferencia significativa entre cultivares, siendo A 4613 9% superior a A 6445. Mientras que en los valores de PG no se encontraron diferencias significativas, mostrando resultados similares a los obtenidos en el test de PG (Figura 11).

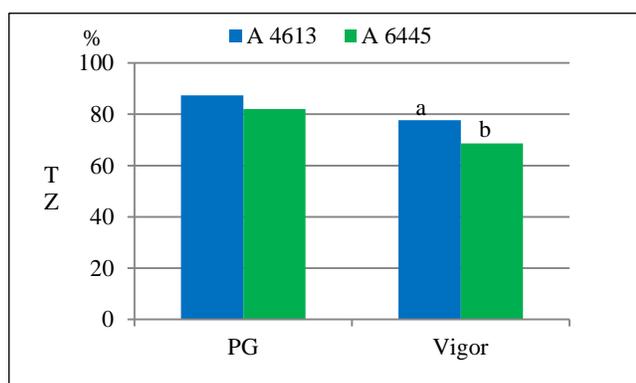


Figura 16: Porcentaje de germinación (PG) y vigor del Test de tetrazolio (TZ), según cultivar A 4613 y A 6445.

Letras diferentes indican diferencias significativas al 5 % del test de Duncan.

La diferencia de vigor entre genotipos detectada con TZ (figura 16) puede ser debida a los daños observados en las semillas (Figura 17). El principal daño cuantificado con diferencias significativas fue el producido por chinche donde el cultivar más perjudicado fue A 6445 superando en 9,7 % a A 4613 en la escala de 1-8. Es importante destacar que los daños en el cultivar más afectado por las chinches alcanzaron valores de 21% y se ubicaron en regiones de las semillas que no afectaron su potencial para desarrollar una plántula (ver daño de chinche 6-8)

Hay una relación positiva entre el daño por chinche (TZ 6-8) y el vigor (TZ 1-3) (Pereira da Costa *et al.*, 2003).

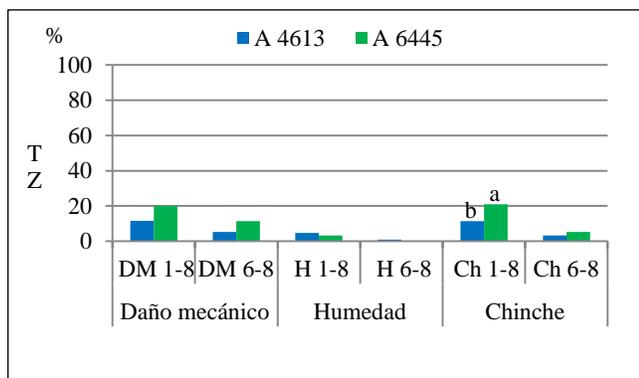


Figura 17: Porcentaje de daño mecánico (DM), daño por humedad (H) y daño por chinche (Ch) según el Test de tetrazolio (TZ), según cultivar A 4613 y A 6445.

Letras distintas indican diferencias significativas al 5 % del test de Duncan.

Comparando los resultados del TPG con los test de vigor, se puede observar que sólo el TZ logró detectar diferencias entre genotipos (Figura 18), posiblemente debido a que este test identifica el tipo de daño que sufrieron las semillas durante el crecimiento.

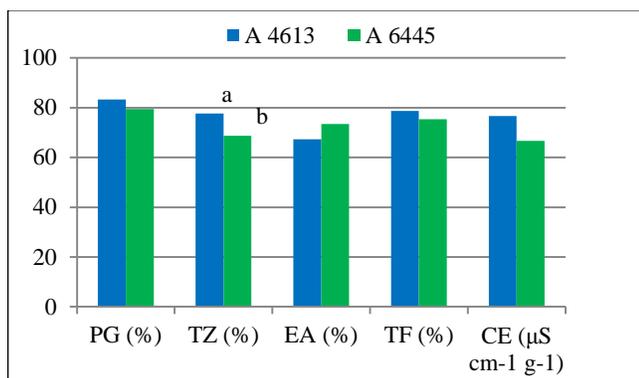


Figura 18: Porcentaje de germinación (PG) del Test Patrón de Germinación (TPG), porcentaje de vigor por test de tetrazolio (TZ), envejecimiento acelerado (EA), test de frío (TF) y conductividad eléctrica (CE), según cultivar A 4613 y A 6445.

Letras distintas indican diferencias significativas al 5 % del test de Duncan.

En la evaluación de emergencia a campo no se manifestaron diferencias significativas entre los cultivares en estudio (Figura 19), estos valores son similares a los resultados obtenidos con el TPG realizado en laboratorio (Figura 11). Esta similitud de los resultados es explicada por las condiciones ambientales, principalmente alta temperatura, que generaron un ambiente óptimo para la germinación y emergencia a campo. Debido a que no se registraron diferencias significativas en los test de vigor es de esperar que ambos cultivares se comporten de manera similar ante condiciones menos favorables para la emergencia como lo sería una fecha de siembra temprana.

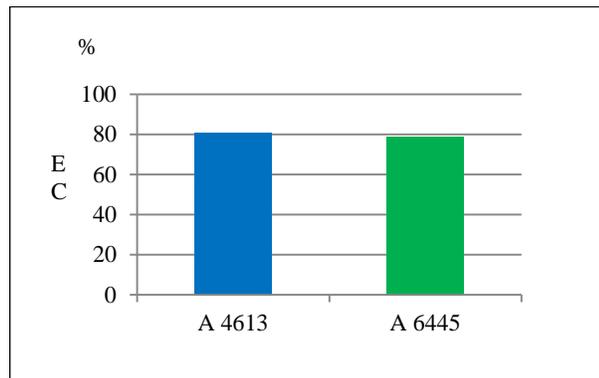


Figura 19: Porcentaje de emergencia a campo (EC), según cultivar A 4613 y A 6445.

CONSIDERACIONES FINALES

La germinación, considerando la fecha de siembra, de la FS2° (A 4613) fue superior a la FS1° (AW 4500), pero no hubo diferencias entre los cultivares de distinto grupo de madurez sembrados en la misma fecha de siembra (A 4613 y A 6445).

En todos los test de vigor la FS2° fue significativamente superior a la FS1° y no se encontraron diferencias significativas entre los cultivares A 4613 y A 6445 sembrados en la misma fecha.

En la emergencia a campo se observaron diferencias significativas entre FS2° y FS1°, pero A 4613 y A 6445 no mostraron diferencias.

El cultivar A 4613 (FS2°) es el único que, por su PG, resultó apto para ser utilizado como semilla.

CONCLUSIÓN

Se acepta la hipótesis de que la calidad fisiológica de la semilla de soja está condicionada por las condiciones ambientales en el periodo de llenado del grano, aunque los genotipos se comportan en forma diferente.

BIBLIOGRAFÍA CITADA:

- ARANGO M. R., C. GALLO y R. M. CRAVIOTTO. 2006 a. Evaluación de calidad de semillas de soja de diferentes calibres. En: www.cosechaypostcosecha.org/data/articulos/postcosecha/EvaluacionCalidadSemillassojaDiferentesCalibres.asp. Consultado: 17/03/2010.
- ARANGO, M., A. SALINAS, R. CRAVIOTTO, S. FERRARI, V. BISARO y M. MONTERO. 2006 b. Caracterización del daño ambiental en semillas de soja. *Revista análisis de semillas*. 1(1): 66-75.
- BAIGORRI, H., H. ROBINET., J.C. TOMASSO., J.C. SUÁREZ. 1997. Elección de cultivares. En: GIORDA, L. y H. BAIGORRI. *El Cultivo de la Soja en Argentina*. Ed. INTA. Cap.5. p. 106-114.
- BAUER, G., E. WEILENMANN DE TAU., A. PERETTI y G. MONTEERRUBIANESI. 2003. Germinación y vigor de semillas de soja del grupo de maduración III cosechadas bajo diferentes condiciones climáticas. En: www.scielo.br/pdf/rbs/v25n2/19649.pdf. Consultado: 15/03/10.
- BELLOSO, C. 2003. Criterios en la elección de cultivares de soja, su fecha de siembra y su distancia entre surcos en distintos ambientes. En: SATORRE, E. *El Libro de la Soja*. Cap. 3. p. 41-44.
- CASINI, R.M., R.M. CRAVIOTTO, y S. GIANCOLA. 1997. Calidad de la semilla. En: GIORDA, L. y H. BAIGORRI. *El Cultivo de la Soja en Argentina*. Ed. INTA. p. 91-102.
- CRAVIOTTO, R., A. SALINAS, M. ARANGO y C. GALLO. 2006 a. Diagnóstico por tetrazolio en semillas de soja verdes abolladas y arrugadas. En: www.planetasoja.com/trabajos/trabajos800.php. Consultado: 15/03/10.
- CRAVIOTTO, R., M. ARANGO, A. SALINAS, C. GALLO, S. FERRARI, V. BISARO, M. MONTERO y J.M. ENRICO. 2006 b. Cuantificación del daño ambiental por la prueba de tetrazolio en semillas de soja. En: www.acsoja.org.ar/mercosoja2006/trabajos_pdf/T20.pdf. Consultado: 16/03/10.
- FEHR, W.R. y C.E. CAVINESS. 1977. Stages of soybean development. Iowa Agric. Exp. Station. *Special Rep.* 80 p.
- FRANÇA-NETO J.B., G.P. PÁDUA., M.L.M. DE CARVALHO., O. COSTA., P.S.R. BRUMATTI., F.C. KRZYZANOWSKI., N.P. DA COSTA., A.A. HENNING. y D.P. SANCHES. 2005. Semente esverdeada de soja e sua qualidade fisiológica. EMBRAPA. *Circular Técnica* N° 38. ISSN 1516-7860. 8 p.

- GALLO C., R. CRAVIOTTO, M. ARANGO y L. GONZÁLEZ. 2007. ¿Qué hacer con las semillas verdes de soja? En: www.inta.gov.ar/oliveros/info/indices/tematica/Quehacerconlassemillasverdesdesoja.pdf. Consultado: 17/03/10.
- GALLO, C. 2008. Calidad fisiológica y efecto de la presencia de semillas verdes de soja (*Glycine max* (L.) Merr) en lotes destinados a simiente. Tesis. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina. 134p.
- GIBSON L. R., R. E. MULLEN. 1996. Soybean seed quality reductions by high day and night temperature. *Crop Science*, 36(6): 1615-1619.
- HAMPTON, J.G. y J. TE KRONY. 1995. *Seed vigor testing*. ISTA. 97p.
- INFOSTAT® Software Estadístico. 2007. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- INTA. 1979. Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja 3363 – 10 Bell Ville. Convenio INTA SEAG de Córdoba. 110 p.
- ISTA. 2008. *International Rules for Seed Testing*. ISTA. s/p.
- KANTOLIC, A. G., P. I. GIMÉNEZ y E.B. de la FUENTE. 2003. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en soja. En: SATORRE, E., R. BENECH ARNOLD., G. SLAFER., E. de la FUENTE., D. MIRALLES., M. OTEGUI., R. SAVIN. *Producción De Granos*. Ed. FAUBA. Cap. 9. p. 167-195.
- KRZYZANOWSKI, F.C., R.D. VIEIRA y J.B. FRANÇA NETO. 1999. *Vigor de Sementes*. ABRATES. (8.5: 26).
- PÁDUA G., J. B. FRANÇA-NETO., M. CARVALHO., F. C. KRZYZANOWSKI y R. MENDES GUIMARÃES. 2009. Incidence of green soybean seeds as a function of environmental stresses during seed maturation. *Revista Brasileira de Sementes*, 31(3): 150-159.
- PEREIRA DA COSTA, N., C. DE MELLO MESQUITA, A. MAURINA, J. B. FRANÇA NETO, F. KRZYZANOWSKI y A. HENNING. 2003. Qualidade fisiológica, física e sanitária de sementes de soja produzidas no Brasil. *Revista Brasileira de Sementes*, 25(1): 128-132.
- ROCA, C. 2003. Calidad de semilla en el cultivo de soja. En: SATORRE, E. *El Libro De La Soja*. Cap. 25. p. 249-253.
- ROSSI, C. y S. GONZALEZ. 2006. Problemas en la calidad de semillas de soja. En: www.inia.org.uy/publicaciones/documentos/ara/ara_220.pdf. Consultado: 15/03/10.
- SAGPYA. 2006. Tolerancia para semillas de clases fiscalizadas e identificadas RS. SAGPYA 2030/93 En: www.sagpya.mecom.gov.ar/17/pagweb/normas.htm. Consultado: 25/08/10.

- SALINAS, A., A. YOLDJIAN., R. CRAVIOTTO y V. BISARO. 2001. Pruebas de vigor y calidad fisiológica de semillas de soja. En: www.scielo.br/pdf/pab/v36n2/a22v36n2.pdf. Consultado: 16/03/10.
- VEGA, C. 2006. Ecofisiología del cultivo de soja. En: www.planetasoja.com/trabajos/trabajos800.php?id1. Consultado: 25/08/10.
- VIEIRA, RD., A. SCAPPA NETO, S. R. MUDROVITSCH DE BITTENCOURT, M. PANOBIANCO. 2004. Electrical conductivity of the seed soaking solution and soybean seedling emergence. *Sci. Agric.* (Piracicaba, Braz.), 61(2): 164-168.