




¿Cuál es el impacto en el rendimiento de soja por atraso de fecha de siembra según cultivares y distanciamiento entre hileras?

Girón, P.; Barraco, M.; Miranda, W.; Rampo, M.
EEA INTA General Villegas

 **Palabras clave:** soja, fecha de siembra, rendimiento, cultivares, hileras.

Introducción

La elección de la fecha de siembra (FS) es una de las prácticas agronómicas de mayor importancia en la determinación de los rendimientos de los cultivos, ya que establece el ambiente que explorará, lo cual repercute en la duración del ciclo y en la capacidad de interceptar radiación solar, determinando consecuentemente la producción de biomasa total y el rendimiento en grano (Otegui y López Pereira, 2003). Dentro de los límites que definen la estación de crecimiento, un aspecto clave del manejo es que la ontogenia del cultivo esté sincronizada con la disponibilidad de recursos, evitando la coincidencia de condiciones desfavorables con las etapas más críticas del ciclo (Lawn y Imrie, 1994). La identificación de los estados de desarrollo que definen el rendimiento resulta, por lo tanto, indispensable para definir tanto la adaptación del cultivo al ambiente como para establecer su rendimiento potencial.

El distanciamiento entre hileras (DEH) es una variable de manejo que puede tener, en determinadas situaciones, un importante efecto en el rendimiento de los cultivos. Un espaciamiento que permita una distribución más equidistante de las plantas produce un cierre más temprano del canopeo que asegura una adecuada cobertura del suelo durante los períodos críticos de determinación de rendimiento (Shibles y Weber, 1966). Otro aspecto importante es que se disminuye la competencia intraespecífica por luz, agua y nutrientes durante

las primeras etapas del cultivo (Andrade y Sadras, 2000). En el caso de soja, no todos los cultivares (CV) responden por igual al espaciamiento entre surcos. Los CV más precoces y con menor cantidad de ramificaciones presentan mayor respuesta a la reducción de la distancia entre surcos (Baigorri, 2004).

La combinación de los factores FS, CV y DEH constituye el aspecto fundamental a considerar en la planificación del cultivo ya que permite ubicar el período crítico en ambientes más favorables en cuanto al riesgo de estrés hídrico y con máxima intercepción de la radiación, contribuyendo a una alta tasa de crecimiento y por ende alto rendimiento. En este sentido, elecciones incorrectas de FS, DEH y CV pueden determinar longitudes de ciclo extremadamente cortas con pérdidas de rendimiento potencial; o demasiado largas exponiendo al cultivo a ambientes con escasa radiación durante el llenado de granos.

El objetivo de este trabajo fue evaluar las bases ecofisiológicas de la determinación del rendimiento en cuatro cultivares de soja y tres distanciamientos entre hileras en distintos ambientes termo-fotoperiódicos resultantes de cambios en la fecha de siembra.



Materiales y métodos

El ensayo fue conducido en la campaña 2019-2020 en la EEA INTA General Villegas (34° 52' 00" S - 62°45'53"O) sobre un suelo clasificado taxonómicamente como Hapludol típico.

Se evaluaron cuatro FS: 15 de octubre (FS1), 5 y 28 de noviembre (FS2 y FS3, respectivamente), y 19 de diciembre (FS4). En cada FS se evaluaron tres DEH: 0,20, 0,40 y 0,52 m y cuatro CV: DM3312, DM3815 IPRO STS, DM40R16 STS y DM4612. Los ensayos fueron sembrados sobre rastrojo de maíz y cada unidad experimental (UE) contó con 3 réplicas.

Se registró fenología en Emergencia (E), R1 (inicio de floración), R3 (inicio de formación de vaina, vaina de 5 mm de longitud en alguno de los últimos cuatro nudos), R5 (inicio de llenado de granos en alguna de las vainas de los últimos cuatro nudos), R7 (madurez fisiológica) y R8 (madurez de cosecha; Fehr y Caviness, 1977).

En los estadios R1, R3, R5 y R7 se realizaron cortes de material vegetal en cada UE para determinar el contenido de biomasa aérea; para esto se realizaron cortes de 1 m lineal y luego se colocaron en estufa con ventilación forzada a 100°C hasta alcanzar peso seco constante. Se midió radiación interceptada con un ceptómetro (Cadavedices®) de 1 m de longitud de zona sensora cada 14 días desde R1 y se calculó la radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAi) diaria, realizando una interpolación entre los periodos nombrados y una extrapolación entre E y R1. La Eficiencia en el Uso de la Radiación (EUR) se

calculó como la relación entre el rendimiento y la RFAi acumulada hasta R7 (EUR, g grano MJ-1 m-2, respectivamente, Sinclair y Muchow, 1999).

En las variedades DM3312 y DM4612 se midió humedad edáfica a la siembra hasta 2 m de profundidad en estratos cada 0,20 m y en R7 hasta 1,4 m de profundidad. Se calculó el uso consuntivo (UC) como la diferencia entre el agua disponible en R7 y el agua disponible en la siembra a hasta 1,4 m de profundidad más las precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo. La eficiencia en el uso del agua para grano (EUA) se calculó como el cociente entre el rendimiento y el UC (kg grano mm-1).

El diseño experimental para cada FS fue en parcelas divididas, donde la parcela principal fue el DEH y la subparcela los CV. Los datos de rendimiento fueron analizados con ANOVA y las diferencias entre medias con LDS Fisher ($\alpha < 0,05$) con el software InfoStat (Di Rienzo et al., 2019). Se realizaron regresiones lineales simples ($\alpha < 0,05$). Para el caso de rendimiento y biomasa en función a la RFAi acumulada para los periodos R1, R3, R5 y R7 se realizaron comparaciones de modelos donde se comparó el modelo completo de las 4 regresiones vs un modelo reducido con una única regresión con el objetivo de evaluar si la EUR difiere entre los periodos analizados.

Se registraron las precipitaciones (PP expresadas en mm) y la temperatura media (T° en °C), entre octubre del 2019 y abril del 2020, por quincena (Tabla 1). Las mediciones se realizaron en estación meteorológica automática ubicada a 1500 m de distancia del ensayo.



Tabla 1: Temperatura media (T°) y precipitaciones (Pp) por quincena desde Noviembre del 2019 a Abril del 2020.

	Octubre		Noviembre		Diciembre		Enero		Febrero		Marzo		Abril
Quincena	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
T° (°C)	15,9	14,9	22,7	22,8	23,2	23,8	23,5	24,1	24,0	21	24,0	21,9	16,3
Pp (mm)	19,5	49,7	12,3	71,7	12,5	94,0	141,8	22,1	38,5	35	91,5	103,4	13,6



Resultados y discusión

En todos los CV el atraso en la FS determinó una reducción creciente en el ciclo total del cultivo (Figura 1). Las duraciones E-R7 máximas y mínimas fueron de 119 y 95, 121 y 96, 126 y 98, y 128 y 99 días para DM3312, DM3815, DM40R16 y DM4612, respectivamente. A su vez, para una misma FS se observó que el grupo de madurez (GM) IV (promedio DM40R16 y DM4612) presentó mayor duración de etapa E-R7 que el GM III (promedio de DM3312 y DM3815), sin embargo, a medida que la FS se

atrasó estas diferencias fueron menores (9 días entre FS1 DM3312 y DM4612 vs 4 días FS4 DM3312 y DM4612).

La reducción promedio de la duración del ciclo de desarrollo desde siembra a R8 por cada día de atraso en la FS fue de 0,45 días (Figura 2), no existiendo diferencias significativas ($p > 0,05$) entre cultivares. Resultados similares fueron reportados por Pagnan (2019) en la campaña 2015/16 en Monte Buey (Córdoba), encontró un valor de 0,48 días de reducción de ciclo por día de retraso de FS.

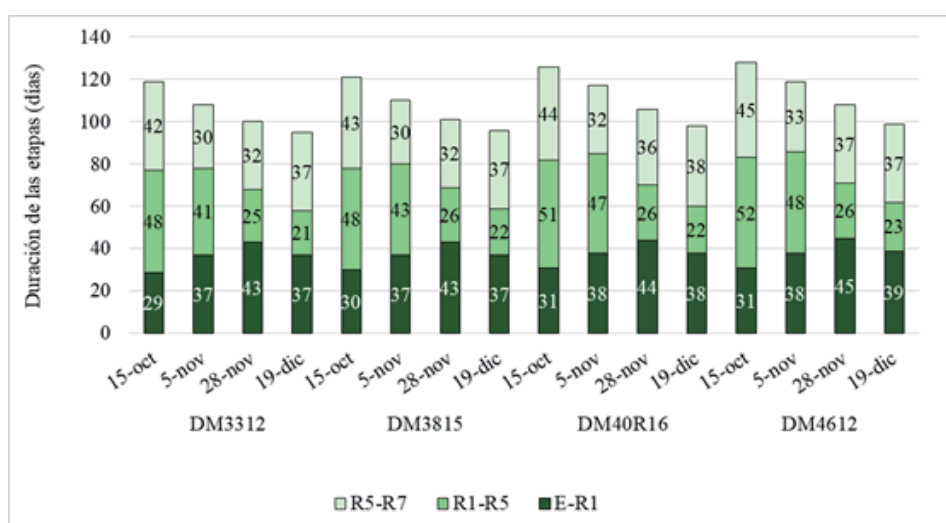


Figura 1: Duración de las etapas de desarrollo Emergencia-R1, R1-R3 y R5-R7 en cuatro cultivares de soja sembrados en cuatro fechas de siembra.

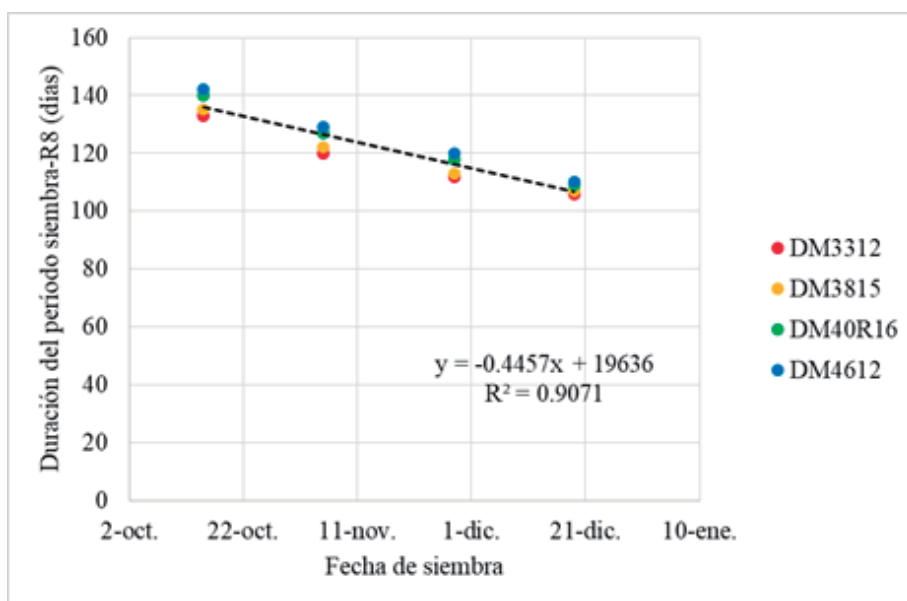


Figura 2: Duración del período siembra-R8 en cuatro cultivares de soja que difieren en la longitud de su ciclo sembrados en cuatro fechas de siembra desde octubre a diciembre.



El agua disponible en el suelo al momento de la siembra difirió entre FS ($P=0,03$). En promedio, las tres primeras fechas tuvieron 275 mm de agua disponible hasta 2 m de profundidad, mientras que el FS4 presentó 209 mm lo que representó -24% (Tabla 2). También se encontraron diferencias significativas entre el UC ($P=0,03$) y EUA ($P<0,01$). Si bien la FS4 fue la que mayores precipitaciones recibió durante su ciclo (Tabla 1, 526 mm desde E a R7) presentó un UC de 503 mm, -12% que en promedio

de la FS1 y FS3, de las cuales se diferenció significativamente. La EUA se redujo en un 50% en la FS4 con respecto a las otras 3 FS (Tabla 2).

En cuanto al efecto de la elección de CV o DEH sobre la EUA, sólo se encontró diferencias significativas para en la FS2 para la variable DEH ($P=0,02$, Tabla 3). El distanciamiento de 0,20 m presentó +13% de EUA que el promedio de 0,40 y 0,525 m.



Tabla 2: Agua disponible al momento de la siembra (AD siembra), uso consuntivo (UC) y eficiencia del uso del agua (EUA) para las cuatro fechas de siembra (FS). Promedio de 2 cultivares (DM 3312 y DM 4612) y 3 distanciamientos entre hileras

FS	AD siembra (mm)	UC (mm)	EUA
1	288 a	547 ab	8,4 a
2	275 a	536 bc	8,4 a
3	261 a	592 a	9,0 a
4	209 b	503 c	4,4 b



Tabla 3: Eficiencia en el uso del agua (EUA) para cuatro fechas de siembra (FS) de soja, FS1: 15/10/19, FS2: 5/11/19, FS3: 28/11/19 y FS4: 19/12/19, tres distanciamientos entre hileras (DEH) y dos cultivares (CV).

FS	CV	EUA (kg grano mm ⁻¹)			Promedio CV
		DEH (m)			
		0,20	0,40	0,525	
1	DM3312	7,6	8,0	9,6	8,3
	DM4612	7,9	8,3	9,2	8,5
	Promedio DEH	7,8	8,2	9,2	8,4
2	DM3312	9,2	8,0	8,0	8,4
	DM4612	8,9	8,5	7,9	8,4
	Promedio DEH	9,1 A	8,3 B	7,9 B	8,4
3	DM3312	9,4	8,4	9,2	9,0
	DM4612	9,6	9,2	8,0	9,0
	Promedio DEH	9,5	8,8	8,6	9,0
4	DM3312	4,1	4,6	5,3	4,7
	DM4612	4,6	4,5	3,5	4,2
	Promedio DEH	4,4	4,6	4,4	4,4



Se encontró una relación lineal entre biomasa y RFAi acumulada, sin embargo las pendientes de estas relaciones fueron estadísticamente diferentes ($P > 0,05$) en periodo vegetativo y reproductivo (Figura 3). En el primero, la pendiente fue de 7,69, es decir, que por cada unidad de aumento de RFAi el aumento de biomasa fue de 7,69 kg ha⁻¹, pero en periodo reproductivo la EUR para convertirla en biomasa fue de prácticamente el doble, alcanzando un valor de 15,4 kg ha⁻¹ por unidad de RFAi. La pendiente fue estadísticamente igual para todo el estadio reproductivo.

No se encontró interacción DEH*CV para la variable EUR en ninguna FS ($P = 0,10; 0,60; 0,30$ y $0,78$ para las FS1, FS2, FS3 y FS4, respectivamente). En todas las FS se hallaron diferencias significativas entre cultivares ($P < 0,01$); en general los CV del GM III tuvieron mayor EUR que los de GM IV (Tabla 4). Esto se debió principalmente a que, aunque el GM IV haya tenido mayor RFAi acumulada el rendimiento alcanzado no fue proporcional a esa mayor RFAi acumulada (Figura 4). Por otro lado, en las FS2 y FS4 se encontró diferencia significativa en DEH ($P < 0,01$), el distanciamiento de 0,525 m presentó +5 y +21% de EUR que el promedio de los distanciamientos más estrechos.

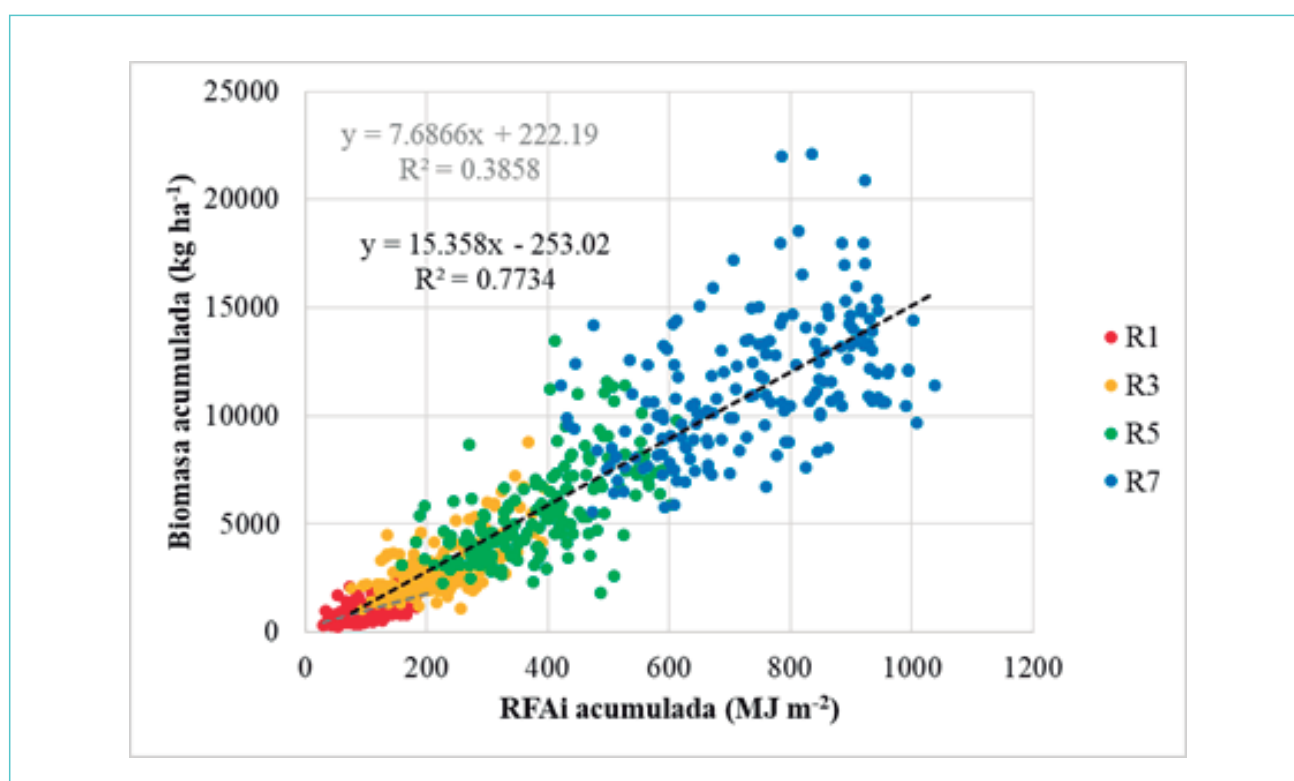


Figura 3: Biomasa acumulada de soja en función de la radiación fotosintéticamente activa interceptada acumulada (RFAi) para cuatro fechas de siembra, cuatro cultivares de soja y en tres distanciamientos entre hileras para los estadios fenológicos de inicio de floración (R1, círculos rojos), inicio de formación de vaina (R3, círculos naranjas), inicio de llenado de granos (R5, círculos verdes) y madurez fisiológica (R7). Línea punteada y ecuación gris indican el ajuste en estado vegetativo y la línea punteada y ecuación negra el ajuste en estado reproductivo.





Tabla 4: Eficiencia en el uso de la radiación (EUR) para cuatro fechas de siembra (FS) de soja: FS1: 15/10/19, FS2: 5/11/19, FS3: 28/11/19 y FS4: 19/12/19, tres distanciamientos entre hileras (DEH) y cuatro cultivares (CV). Letras diferentes en minúscula negrita indican diferencias significativas entre CV y letras mayúsculas negrita diferencias significativas entre DEH.

FS	CV	EUR (g grano MJ ⁻¹ m ⁻²)			Promedio CV
		DEH (m)			
		0,20	0,40	0,525	
1	DM3312	0,40	0,52	0,60	0,54 ab
	DM3815	0,58	0,53	0,59	0,57 a
	DM40R16	0,54	0,55	0,48	0,52 bc
	DM4612	0,47	0,48	0,51	0,48 c
	Promedio DEH	0,52	0,52	0,55	0,53
2	DM3312	0,56	0,57	0,62	0,58 a
	DM3815	0,52	0,54	0,55	0,54 b
	DM40R16	0,52	0,51	0,52	0,52 bc
	DM4612	0,47	0,51	0,51	0,50 c
	Promedio DEH	0,52 C	0,53 B	0,55 A	0,53
3	DM3312	0,58	0,67	0,66	0,64 a
	DM3815	0,62	0,60	0,66	0,63 a
	DM40R16	0,53	0,55	0,60	0,56 b
	DM4612	0,55	0,58	0,57	0,56 b
	Promedio DEH	0,57	0,60	0,62	0,60
4	DM3312	0,42	0,43	0,53	0,46 a
	DM3815	0,43	0,37	0,46	0,42 a
	DM40R16	0,38	0,25	0,41	0,34 b
	DM4612	0,33	0,31	0,38	0,34 b
	Promedio DEH	0,39 AB	0,34 B	0,44 A	0,39

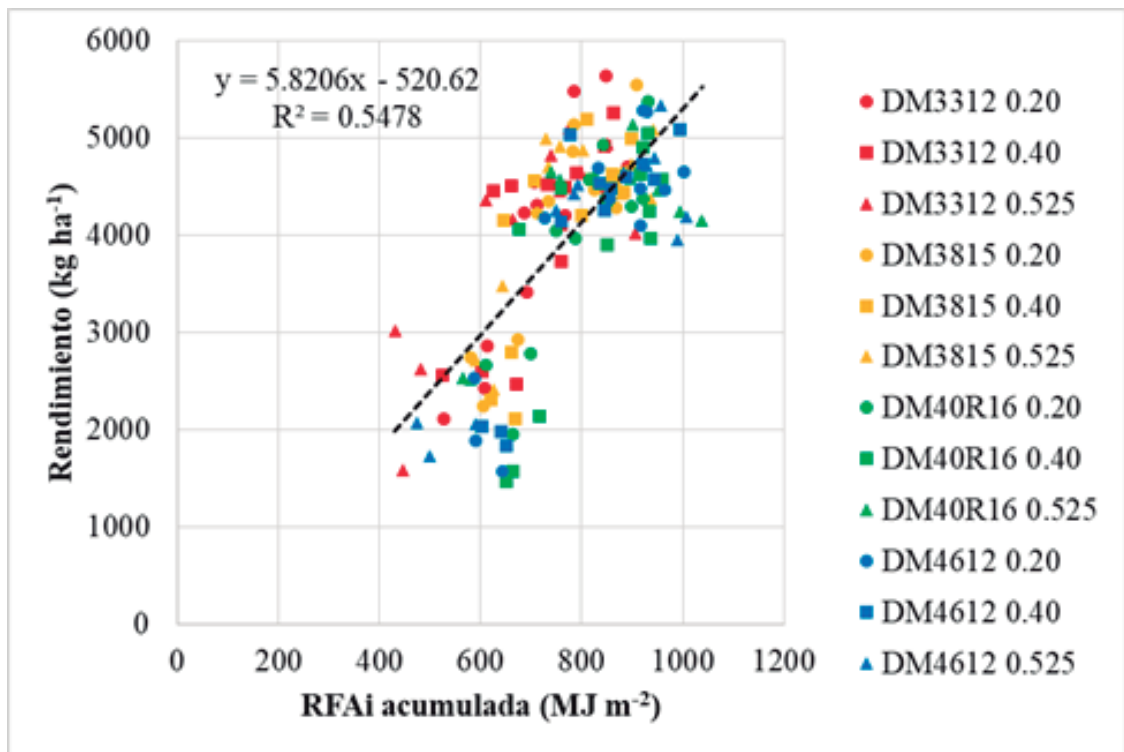


Figura 4: Rendimiento de soja en función de la radiación fotosintéticamente activa interceptada acumulada (RFAi) para cuatro fechas de siembra: 15/10/19, 5/11/19, 28/11/19 y 19/12/19 para cuatro cultivares de soja: DM3312 (símbolos rojos), DM3815 (símbolos naranjas), DM40R16 (símbolos verdes) y DM4612 (símbolos azules), en tres distanciamientos entre hileras: 0,20 (círculos), 0,40 (cuadrado) y 0,525 m (triángulo).





El retraso en la FS implicó una pérdida de rendimiento de 6 kg ha⁻¹ por día de retraso de FS entre mediados de octubre (FS1) y fines de noviembre (FS3), no obstante esta pérdida se acentuó desde la FS3 a FS4 a razón de 101 kg ha⁻¹ (Figura 5). Resultados similares fueron reportados por Vicente et al. (2020) para la campaña 2018/2019 en General Villegas, que encontraron que la pérdida de rendimiento por día de retraso de FS fue de 106 kg ha⁻¹ a partir del 12 de diciembre. De acuerdo con Cirilo y Andrade (1994) el retraso de la siembra desplaza el período reproductivo hacia momentos de menor radiación y temperatura, por lo tanto el potencial de rendimiento en grano generalmente disminuye en respuesta a dicho retraso.

Sin embargo, según la FS se observó variabilidad en el rendimiento desde 500 a 1500 kg ha⁻¹, es decir, que dentro de cada fecha hay combinaciones de

variables de CV y DEH que maximizan rendimientos (Tabla 3). En la FS1 no se encontró interacción CV*DEH (P=0,89), ni efecto de factor principal, el promedio de rendimiento de esta fecha fue de 4691 kg ha⁻¹.

En la FS2, se encontró diferencias significativas en DEH (P<0,01), el DEH de 0,525 m presentó +3% que el DEH de 0,40 m y +7% que el de 0,20 m.

En la FS4 se encontraron diferencias significativas entre cultivares (P=0,01), los CV pertenecientes al GM III presentaron en promedio +23% de rendimiento que los CV pertenecientes al GM IV. Esto se debió al estrés hídrico por el que atravesaron los CV del GM IV, ya que las precipitaciones ocurridas entre R3 y R5.5 para el GM III fueron de 73,5 mm (3 eventos) y en GM IV de 35 mm (un evento).

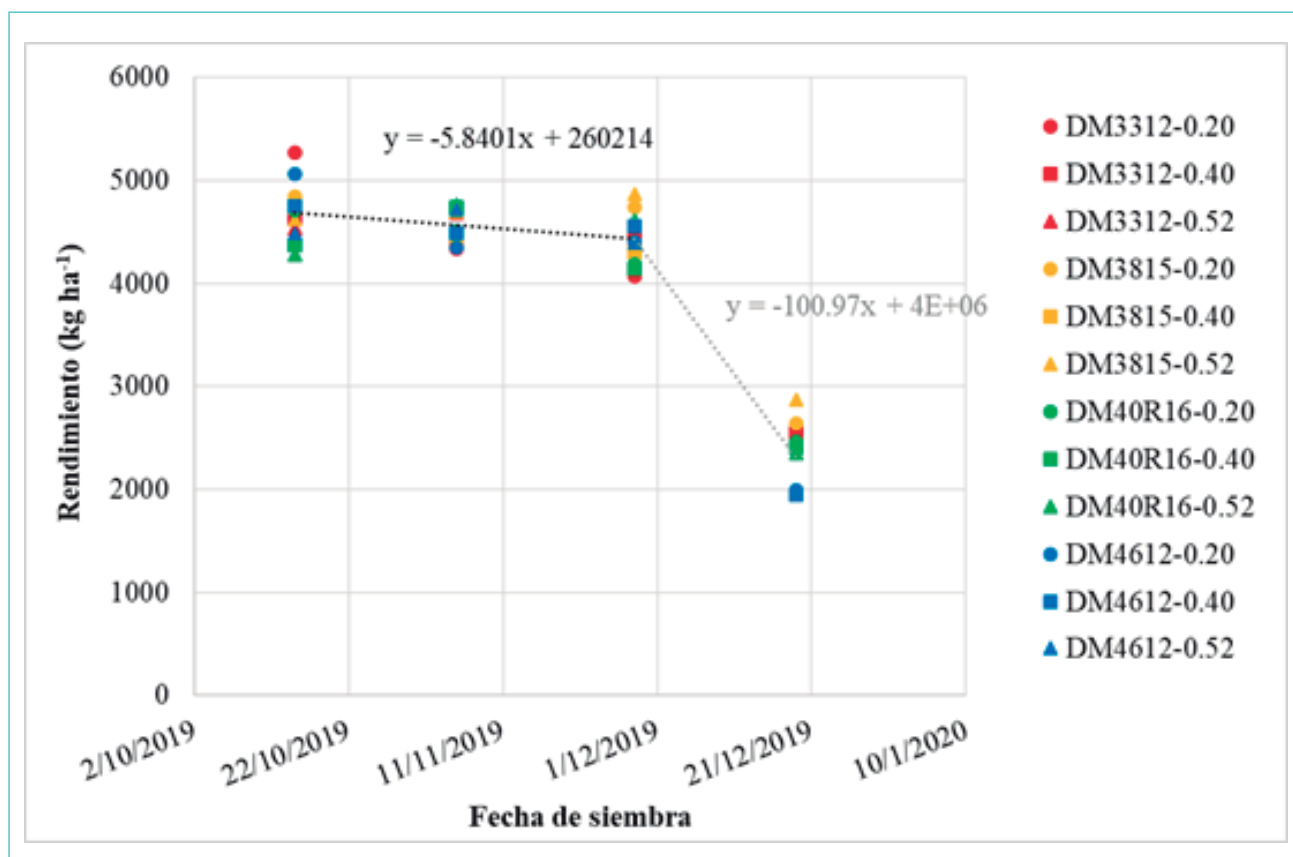


Figura 5: Rendimiento según 4 fechas de siembra: 15/10/19, 5/11/19, 28/11/19 y 19/12/19 para 4 cultivares de soja: DM3312 (símbolos rojos), DM3815 (símbolos naranjas), DM40R16 (símbolos verdes) y DM4612 (símbolos azules), en 3 distanciamientos entre hileras: 0,20 (círculos), 0,40 (cuadrado) y 0,525 m (triángulo)





Tabla 3: Rendimiento (kg ha⁻¹) para cuatro fechas de siembra (FS) de soja, FS1: 15/10/19, FS2: 5/11/19, FS3: 28/11/19 y FS4: 19/12/19, tres distanciamientos entre hileras (DEH) y cuatro cultivares (CV). Letras diferentes en minúscula negrita indican diferencias significativas entre CV y letras mayúsculas negrita diferencias significativas entre DEH.

FS	CV	Rendimiento (kg ha ⁻¹)			Promedio CV
		0.2	DEH (m) 0.4	0.525	
1	DM3312	5269	4629	4533	4811
	DM3815	4843	4748	4624	4738
	DM40R16	4705	4368	4281	4451
	DM4612	5058	4747	4489	4765
	Promedio DEH	4969	4623	4482	4691
2	DM3312	4332	4406	4683	4474
	DM3815	4418	4693	4722	4611
	DM40R16	4508	4741	4761	4670
	DM4612	4345	4488	4714	4516
	Promedio DEH	4401 C	4582 B	4720 A	4568
3	DM3312	4065	4492	4446	4334
	DM3815	4737	4302	4865	4635
	DM40R16	4189	4141	4612	4314
	DM4612	4406	4561	4395	4454
	Promedio DEH	4349	4374	4580	4434
4	DM3312	2467	2542	2409	2473 ab
	DM3815	2642	2404	2865	2637 a
	DM40R16	2463	1727	2354	2181 bc
	DM4612	1993	1950	1954	1966 c
	Promedio DEH	2391	2156	2395	2314



Conclusiones

En este estudio se mostró que altos rendimientos de soja son alcanzados en un amplio rango de fechas de siembra y que los mismos son explicados por el consumo de agua y por la RFAi acumulada en el ciclo del cultivo. Combinaciones óptimas de CV*DEH lograron alcanzar rendimientos superiores a 5000 kg ha⁻¹ en FS de octubre, mientras que en FS de fines de diciembre se encontró un efecto preponderante de la elección de CV para maximizar rendimientos.

Bibliografía

- Andrade, F.; Cirilo, A. G. 2000. Fecha de siembra y rendimiento de los cultivos. En: Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. F.H. Andrade y V.O. Sadras (Eds.), INTA-UIB. Capítulo 5, pp135-154. ISBN 987-521- 016-1.
- Baigorri, H. 2004. Criterios generales para la elección y el manejo de cultivares en el Cono Sur. En: Diaz Zorita M. y Duarte G. A. (Eds.). Manual Práctico para la producción de soja. Buenos Aires, Hemisferio Sur, pp 53-54.
- Di Rienzo J.A.; Casanoves, F; Balzarini, M.G; Gonzalez, L; Tablada, M; Robledo, C.W. InfoStat version 2019. Cordoba: Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Cordoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- Fehr, W.R.M; Caviness, C.E. 1977. Stages of soybean development. Special Report 80, Cooperative Extension Service, Agriculture and Home Economics Exp. Stn Iowa State University, Ames, Iowa. 11:929-931.
- Lawn R. J., Imrie, B. C. 1994. Exploiting Phenology in crop improvement: matching genotypes to the environment. Crop Physiol. Abstr. 20, 467-476.
- Otegui, M.E., López Pereira, M. 2003. Fecha de Siembra. En: Satorre, E.H.; Benech Arnold, R.L.; Slafer, G.A.; de la Fuente, E.B.; Miralles, D.J.; Otegui, M.E.; Savin, R (Eds.). Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. Buenos Aires, UBA pp 259-275.
- Pagnan, L.F. 2019. Variación del rendimiento y la calidad industrial de soja (*Glycine max* L. Merrill) ante cambios en la fecha de siembra y el genotipo en un ambiente con napa freática. Tesis, pp:16.
- Shibles, R. M.; Weber, C. R. 1996. Interception of solar radiation and dry matter production by various soybean planting patterns. Crop Sci. 6: 55-59.
- Sinclair T.R.; Muchow, R. 1999. Radiation Use Efficiency. Advances in Agronomy 65: 215-265.
- Vicente, C., Girón, P., Chamorro, A. 2020. Atrasar la fecha de siembra y modificar la distancia entre hileras ¿Cómo impacta en el rinde de soja? Memoria Técnica INTA General Villegas Campaña 2018-2019.

