

Variabilidad espacio-temporal del número de plantas y su efecto sobre el rendimiento de soja

Pereyra M.V.2, Maltese N.1, 2, Appelhans S.C.1,2, Melchiori R.J.M.1
1 Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)
Estación Experimental Agropecuaria Paraná
Departamento Producción
2 FCA UNER - CONICET.

Introducción

La soja es un cultivo con gran plasticidad vegetativa y reproductiva (Vega et al., 2000), y alta estabilidad en el rendimiento, dada las características de su floración e intensidad de ramificación (Sadras, 1998).

Existen numerosos estudios sobre los efectos del espaciamiento y la densidad de plantas en el rendimiento y sus componentes ecofisiológicos (Melchiori y Peltzer, 2001). Sin embargo, otros aspectos como la falta de uniformidad en el número de plantas por unidad de superficie, definidas como variabilidad espacial y temporal (Andrade y Abbate, 2005), y su efecto sobre el rendimiento, ha recibido muy poca atención.

Estudios sobre la calidad de implantación y su efecto sobre la variabilidad espacio-temporal en el número de plantas, son relevantes para promover el uso de semilla de alta calidad con tratamientos especiales, o útiles ante el surgimiento de normas regulatorias del mercado de semillas para proteger eventos biotecnológicos que aumenten el costo de la semilla y motiven reducciones en la densidad de siembra. Esta información puede contribuir a impulsar la siembra de precisión en el cultivo de soja, dado que mejoras en la calidad de siembra permitirían reducir la densidad, y con esto, incrementar la capacidad operativa de las máquinas y disminuir los costos.

Existen antecedentes sobre la temática, pero son escasos y no concluyentes respecto a la reducción o no de rendimiento por heterogeneidad espacio temporal en el número de plantas, debido a la capacidad de compensación vegetativa y reproductiva del cultivo, sugerida en algún caso. En este sentido, se han informado reducciones en el rendimiento entre 1 y 15 % por efectos de la variabilidad espacio-temporal (Stivers y Swearingin, 1980), y mayores efectos negativos de la falta de uniformidad en sitios con mayores rendimientos (Moore, 1991). Estudios sobre variabilidad temporal en el crecimiento de las plantas determinaron que una alta heterogeneidad en la biomasa entre plantas, puede ser compensada por el crecimiento y rendimiento por unidad de superficie (Egli, 1993). En el mismo sentido, Andrade y Abbate (2005) determinaron que incrementos en la variabilidad de biomasa vegetativa no afectaron el rendimiento por planta en soja, a diferencia de lo que ocurre en maíz. Sin embargo, trabajos recientes de Masino et al. (2018), determinaron que la variabilidad espacial produjo pérdidas de rendimiento en soja de grupo de madurez más corto (GIII), mientras que no afectó el rendimiento en un grupo de madurez más largo (GIV). Por otro lado, el efecto de la variabilidad temporal, condujo a pérdidas de rendimiento en ambos grupos de madurez. Cabe señalar, que en los estudios referidos (Egli, 1993 y Masino et al., 2018) la variabilidad espacial y temporal fueron obtenidas mediante tratamientos manipulativos (raleos y resiembras), que pueden no reflejar las condiciones reales del número de plantas en condiciones de producción comercial, por lo cual los rangos de variabilidad referidos podrían superar a los observados en condiciones de campo.

Este trabajo tuvo como objetivo determinar el efecto de la variabilidad espacial y temporal sobre el rendimiento de soja a nivel de planta y cultivo bajo condiciones productivas de siembra.

¿Cómo se realizó la experiencia?

Se realizaron experimentos en los ciclos agrícolas 2018/19 y 2019/20 en el campo del INTA EEA Paraná (31°48' S 60°32' O) sobre sitios con suelos Argiudoles con uso agrícola bajo siembra directa y una secuencia de cultivos con trigo/soja-maíz continua. Se evaluaron cultivos de soja que fueron sembrados con una máquina Giorgi Precisa 8000, equipada con dosificador neumático. Las fechas de siembra fueron el 5 de diciembre y 20 de noviembre en 2018 y 2019, respectivamente. En la Fig. 1 se muestran las condiciones climáticas de ambas campañas estudiadas.

En cada campaña estudiada, el cultivar de soja utilizado fue AW5815 IPRO, empleándose semilla con tratamiento profesional con PG certificado > a 90 según etiquetas en bolsa de semillas. El tratamiento de semilla incluyó el uso de insecticida (tiаметoxam, 0,06 l cada 100 kg de semilla) y fungicida (trifloxistrobin + metalaxil, 0,1 l cada 100 kg de semilla). Se evaluaron cuatro tratamientos de densidades de siembra (100, 230, 360 y 550 mil semillas ha⁻¹) dispuestos en un diseño en bloques (2 ambientes productivos por lote), y tres repeticiones. Las unidades muestrales fueron de veinte plantas consecutivas para cada tratamiento dentro de cada ambiente.

El número de plantas dentro de la unidad muestral, fue medido en los estados fenológicos de emergencia (VE), cotiledonar (VC) y 5 hojas desarrolladas (V5) (Fehr y Caviness, 1977).

El distanciamiento entre plantas fue medido en R2, calculando como estimador de la variabilidad espacial el coeficiente de variación (CV) del espaciamiento entre 20 plantas. La variabilidad temporal, se determinó mediante el registro del número de nudos por planta en el estadio R2 (Rotundo, comunicación personal) y el CV de la variable. En madurez de cosecha (R8), se recolectaron las 20 plantas de cada unidad experimental, y se obtuvo rendimiento individual y el número de granos por planta. Adicionalmente, se calcularon los valores medios y sus coeficientes de variación. Los rendimientos individuales por planta y la superficie ocupada por las 20 plantas, se utilizaron para estimar el rendimiento por unidad de superficie.

Los resultados se analizaron mediante estadísticas descriptivas y las comparaciones de medias mediante pruebas de t.

Los resultados de variabilidad espacio-temporal se clasificaron en dos grupos de alta y baja densidad, estableciéndose el límite entre los grupos en 300 000 pltas ha⁻¹. Dentro de cada grupo de densidad (<300 000 y >300 000 pltas ha⁻¹), los resultados se clasificaron en alta y baja variabilidad espacial y temporal. El criterio utilizado para la clasificación fue el CV promedio de la variabilidad espacial, y temporal, por encima y por debajo del cual la variabilidad fue clasificada como alta y baja, respectivamente. Los valores medios y CV del rendimiento por planta, y rendimiento por unidad de superficie de cada categoría, se compararon mediante pruebas de t. Adicionalmente, para evaluar los efectos de los tratamientos sobre las variables estudiadas, se realizaron análisis de regresión y correlación. Los datos se procesaron utilizando el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2017).

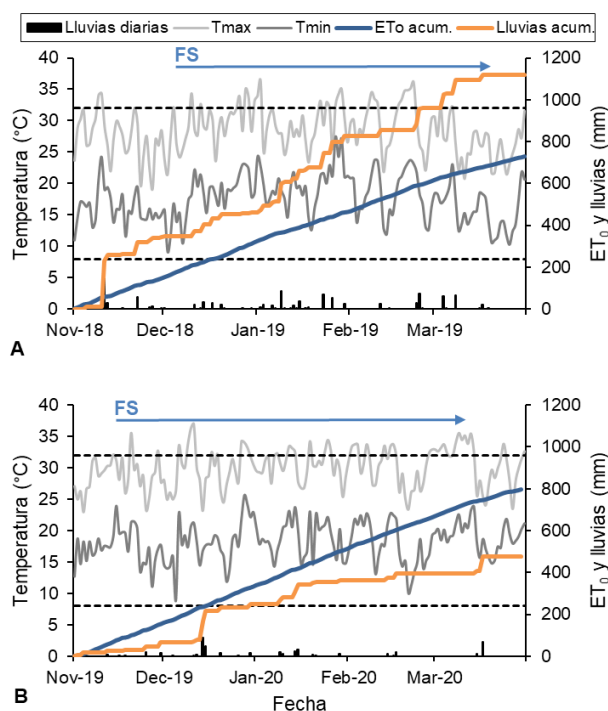


Fig. 1. Lluvias diarias (Lluvia diaria) y acumuladas (Lluvias acum.), Evapotranspiración acumulada (ETo acum.), temperatura máxima y mínima diaria (Tmax y Tmin, respectivamente) durante las campañas 2018/19 (A) y 2019/20 (B). Datos provenientes del observatorio agrometeorológico del INTA EEA Paraná. Las líneas negras cortadas indican la temperatura base (8°C) y máxima (33°C) de crecimiento. Las flechas superiores representan la estación de crecimiento del cultivo de soja, desde la fecha de siembra (FS) hasta cosecha.

¿Qué resultados obtuvimos?

El número de plantas logradas en el año 2018/19 varió entre 66 445 y 645 161 pltas ha⁻¹, con una media de 216 636 pltas ha⁻¹. Mientras que en 2019/20 varió entre 49 798 y 458 979 plantas ha⁻¹, con una media de 179 710 pltas ha⁻¹. Esto evidencia que en 2018/19, las densidades de plantas efectivamente alcanzadas fueron, en promedio, un 20% menor que las densidades objetivo (semillas ha⁻¹ sembradas), mientras que en 2019/20 el número de plantas logradas fue aún menor respecto de la densidad objetivo, alcanzándose densidades un 33% menores a las densidades objetivo.

La emergencia del cultivo, se observó a los 8 y 9 días desde la siembra en ambas campañas, mientras que el número de plantas emergidas se estabilizó muy rápidamente en los 5 días siguientes al inicio de la emergencia. La Fig. 2, muestra la evolución del número de plantas logrado por hectárea para las diferentes densidades evaluadas durante los dos años de estudio. En el año 1 el número de plantas logradas fue mayor para todas las densidades evaluadas con respecto al año 2, debido posiblemente, a las mejores condiciones de implantación y humedad al momento de la siembra en la primera campaña y a las menores precipitaciones alrededor de la siembra durante la segunda campaña.

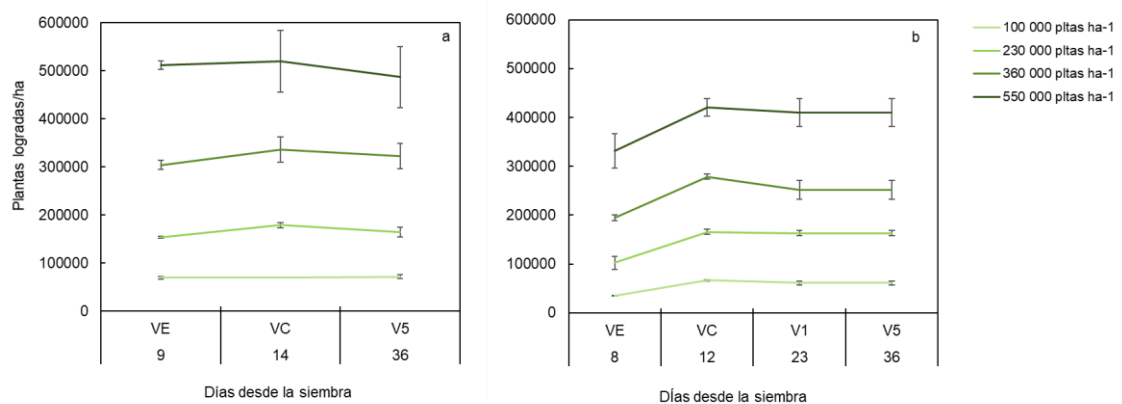


Fig. 2. Evolución del número de plantas logradas en las distintas densidades de siembra evaluadas (promedio de los dos ambientes por ciclo agrícola), durante 2018/19 (a), 2019/20 (b), en el INTA EEA Paraná. Las barras indican el desvío estándar. VE: emergencia, VC: estado cotiledonar, V1 y V5: 1 y 5 hojas trifoliadas completamente desarrolladas.

Los rendimientos medios por unidad de superficie, durante la campaña 2018/19 variaron entre 2,36 y 3,74 t ha⁻¹, con una media de 3,0 t ha⁻¹; y durante la campaña 2019/20, entre 1,74 y 4,25 t ha⁻¹, con una media de 2,6 t ha⁻¹. El análisis en conjunto para los tratamientos de densidades de siembra en las dos campañas, no mostró diferencias concluyentes respecto a las densidades, dado que solamente se observaron diferencias estadísticamente significativas para el rendimiento entre los tratamientos con 230 000 y 360 000 plta ha⁻¹.

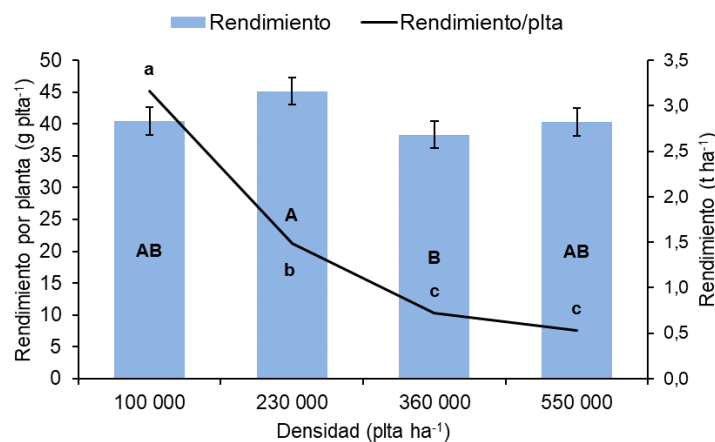


Fig. 3. Rendimiento medio (t ha⁻¹) y por planta (g plta⁻¹) en el cultivo de soja, con distintas densidades de siembra en soja. Campaña 2018-2019 en el INTA EEA Paraná.

La variabilidad temporal (CV del número de nudos) en la emergencia, varió en un rango de 6,8 y 27,1%, con una media de 13,8 % para la campaña 2018/19, y entre 8,4 y 21,5 %, con una media de 14,8 % en la campaña 2019/20. Respecto del espaciamiento entre plantas, durante la campaña 2018/19 mostró valores medios de 26,4, 12,2, 5,8 y 3,8 cm para las densidades de 100 000, 230 000, 360 000 y 550 000 semillas ha⁻¹, respectivamente. La variabilidad espacial (CV del espaciamiento) se incrementó con el aumento en la densidad siembra, con valores de 37, 48, 53 y 69 %, para las mismas densidades de siembra mencionadas anteriormente. Siguiendo el mismo criterio, durante la campaña 2019/20, el espaciamiento medio entre plantas fue de 32,8, 12,3, 7,9 y 4,5 cm, y la variabilidad espacial estuvo en valores de 45, 44, 51 y 56 %, para las mismas densidades anteriormente referidas.

Los efectos de la alta y baja variabilidad temporal y espacial, evaluados sobre el rendimiento del cultivo (t ha⁻¹) y a nivel de planta (g plta⁻¹), y sobre el CV del rendimiento por planta, analizado para agrupamientos de los datos en altas y bajas densidades, son presentados en la Tabla 1. La variabilidad espacial no afectó de manera significativa ninguna de las variables en estudio en bajas ni altas densidades, mientras que la variabilidad temporal tuvo efectos en ambas densidades. En alta densidad, el CV del rendimiento por planta fue significativamente mayor con alta (49,34 %) versus baja (38,89 %) variabilidad temporal. En baja densidad, el rendimiento se vio afectado negativamente ante incrementos en la variabilidad temporal (2,65 versus 3,08 t ha⁻¹, p=0,059). A su vez, el CV del rendimiento por planta fue significativamente mayor con alta variabilidad temporal (44,6 %) respecto a la baja (38,18 %).

Tabla 1. Efecto de la variabilidad espacial y temporal (Alta y Baja), sobre el rendimiento por unidad de superficie (t ha⁻¹) y por planta (g plta⁻¹) y sobre el CV del rendimiento por planta, para densidades de plantas altas (>300 000 pltas ha⁻¹), y bajas (<300 000 pltas ha⁻¹). Paraná, ciclos agrícolas 2018/19 y 2019/20

	Variabilidad espacial			Variabilidad temporal			
	Alta	Baja	p-valor	Alta	Baja	p-valor	
Alta densidad (>300,000 plta ha ⁻¹)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	2,91	2,66	0,288	2,74	3,00	0,298
	Rendimiento por planta (g plta ⁻¹)	9,2	7,61	0,172	8,66	8,43	0,858
	CV rendimiento por planta	46	47	0,658	49	39	0,005
Baja densidad (<300,000 plta ha ⁻¹)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	2,92	2,92	0,999	2,65	3,08	0,059
	Rendimiento por planta (g plta ⁻¹)	30,1	30,9	0,927	27,7	32,6	0,409
	CV rendimiento por planta	44	39	0,364	45	36	0,020

Se observó que el rendimiento por planta se relacionó negativamente con el CV del número de nudos (p=0,002), A su vez, el rendimiento por planta también se asoció negativamente con el CV del espaciamiento entre plantas (p=0,02). De forma adicional, el rendimiento a nivel de superficie (t ha⁻¹), se relacionó de forma negativa con el CV del rendimiento por planta (p=0,01), Por último, el CV del rendimiento por planta y CV del número de nudos se relacionaron positivamente (p<0,001), por lo cual, incrementos en la variabilidad del número de nudos (variabilidad temporal), originan incrementos en la variabilidad del rendimiento entre plantas (Tabla 2)

Tabla 2. Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables en estudio y significancia de las mismas. Solamente valores significativos son reportados (p-valor=0,1), NS= no significativo.

Correlación de Pearson: Coeficientes \ probabilidades	Rendimiento (t ha ⁻¹)	CV número de nudos	CV espaciamiento entre plta	Rendimiento por planta (g plta ⁻¹)	CV rendimiento por planta
Rendimiento (t ha ⁻¹)	1	NS	NS	NS	0,01
CV número de nudos	-0,2	1	NS	0,002	<0,001
CV espaciamiento entre plta	-0,07	0,05	1	0,02	NS

Rendimiento por planta (g plta⁻¹)	0,19	-0,43	-0,34	1	0,02
CV rendimiento por planta	-0,36	0,59	0,17	-0,34	1

Los valores de variabilidad espacial del número de plantas en soja obtenidos con siembra neumática en este estudio fueron considerablemente menores a los reportados por Masino et al. (2018), en el cual se obtuvieron CV espaciales de hasta 113%. A su vez, reportan pérdidas de rendimiento del orden del 6%, asociadas a la variabilidad espacial, en solo uno de dos experimentos y para un cultivar de ciclo corto (GM III).

En cuanto a la variabilidad temporal, Massino et al. (2018) reportaron CV temporales de hasta 43% lo que explicaría las reducciones en el rendimiento de 7,5 % promedio. Los valores de variabilidad obtenidos en el presente estudio se encuentran por debajo de los valores referidos. No obstante, se observaron pérdidas del rendimiento del 14 % para densidades menores a 300 000 pltas ha⁻¹, pero no se encontró efecto en densidades mayores. Las densidades utilizadas por Masino et al. (2018), se asemejan a nuestro rango de bajas densidades (<300 000 semillas ha⁻¹), donde se observaron efectos sobre el rendimiento. Esto sugiere que a mayores densidades el cultivo logra compensar el rendimiento aun en condiciones de alta variabilidad temporal. Adicionalmente, el CV del rendimiento por planta fue afectado por la variabilidad temporal en ambas densidades (altas y bajas). Sin embargo, dicho efecto fue trasladado al rendimiento a nivel de superficie solo en situaciones de bajas densidades, posiblemente debido al efecto del menor desarrollo de la cobertura en estos tratamientos con baja densidad que no lograron un cierre de la canopia. Egli (1993), fundamenta la falta de respuesta a la heterogeneidad en el número de plantas a la compensación del crecimiento, situación que pudo ser observada en los tratamientos con mayores densidades en esta experiencia, donde se lograron cierres anticipados de la canopia.

Bajo las condiciones evaluadas en el presente estudio, en siembras de fin de noviembre y diciembre, situación algo retrasada para el cultivar en estudio, el efecto de la variabilidad temporal fue más fuerte que el observado en estudios precedentes, aun cuando la heterogeneidad temporal fue aún mayor (Masino et al., 2018). Cabe destacar que en trabajos previos las condiciones de heterogeneidad temporal se generaron sembrando escalonadamente en V1 (aproximadamente 10 -15 días desde la primera siembra) en el caso de Masino et al. (2018), quienes también reportaron reducciones en el rendimiento, mientras que en el caso de Egli (1993), con siembras escalonadas entre 4 a 7 días desde la primera siembra, no observó reducciones en el rendimiento.

Los resultados obtenidos en este trabajo, como la reducción del rendimiento por efecto de la variabilidad temporal en bajas densidades, enfatiza la necesidad de lograr un número de plantas uniformes. En esta situación, podría ser relevante la adopción de equipos de siembra de precisión. Estos resultados, aun no son concluyentes dado que representan solo dos experiencias, podrían ampliarse las condiciones de evaluación y validarse en condiciones de siembras más restrictivas, como sojas de segunda, y en fechas tardías donde el ambiente es más limitante y es más común observar condiciones de implantación regulares.

Agradecimientos

Los resultados obtenidos, complementan experiencias realizadas en un convenio de vinculación tecnológica entre INTA Parana y Monsanto Argentina SAIC (26048), y forman parte del trabajo de Tesis de grado de Valentina Pereyra Picabea. Las actividades reportadas, se asocian a tematicas vinculadas al proyecto I177, de INTA.

Para seguir leyendo...

ANDRADE F.H., and P.E. ABBATE 2005, Response of maize and soybean to variability in stand uniformity. Agron. J. 97. 1263–1269.

Di RIENZO J.A., CASANOVES F., BALZARINI M.G., GONZALEZ L., TABLADA M., y C.W. ROBLEDO 2017. InfoStat versión 2017. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

EGLI D.B. 1993. Relationship of uniformity of soybean seedling emergence to yield. J. Seed Tech. 17. 22–28,

FEHR W.R., and C.E., CAVINESS 1977. Stages of soybean development. Spec. Rep. 80. Coop. Ext. Ser. and Home Econ. Exp. Sta. Iowa State Univ., Ames. IA. 11 p.

MASINO A., RUGERONI P., and L, BORRÁS 2018, Spatial and temporal plant-to-plant variability effects on soybean yield. European Journal of Agronomy. 98. 14-24.

MELCHIORI R.J.M., y H.F. PELTZER. 2001. Distanciamiento entre surcos, densidad de siembra y hábitos de crecimiento de soja de segunda, INTA EEA Paraná, Actualización Técnica – Soja, Serie Extensión Nº 21:58-64.

MOORE S.H.1991. Uniformity of plant spacing effect on soybean population parameters, Crop Sci. 31, 1049–1051.

SADRAS V.O., 1998. Variation in apical dominance and its implications for herbivory resistance, competitive ability and biomass partitioning. In: Otegui ME., Slafer GA., eds. Proceedings of the international workshop on physiological bases for maize improvement, Buenos Aires. 71-81.

STIVERS R.K., and M.L. SWEARINGIN. 1980. Soybean yield compensation with different populations and missing plant patterns. Agron. J. 72. 98–102.

VEGA C.R.C., SADRAS V.O., and F.H. ANDRADE 2000. Reproductive allometry in soybean, maize and sunflower. Annals of Botany. 85. 461-468.

Para más información:

melchiori.ricardo@inta.gob.ar

maltese.nicolas@inta.gob.ar

appelhans.stefania@inta.gob.ar

valentinapereyra@ksu.edu