

CALIBRACIÓN DEL MODELO SWAP- WOFOST PARA SIMULAR CULTIVOS AGRÍCOLAS EN LA CUENCA ALTA PICASA (ARGENTINA)

Alejandra Macchiavello^{1*}, Horacio Videla Mensegue², Joop G. Kroes³, Albert A. Veldhuizen³, José Corigliano⁴, Timo Kroon⁵, Betsy Romero Verastegui⁵, Javier Alvarez⁶, Sebastián López⁶, y Nicolás Federico Guillen⁶

¹INTA EEA General Villegas (INTA), ²INTA AER Laboulaye, ³Wageningen Environmental Research, Netherlands, ⁴Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad

Nacional de Río Cuarto, ⁵Deltares, Netherlands, ⁶Universidad Nacional de Córdoba.

*macchiavello.alejandra@inta.gov.ar

PALABRAS CLAVE:

modelación agro hidrológica, capa freática, trigo, soja y maíz.

INTRODUCCIÓN

La región centro sudeste de la provincia de Córdoba en las últimas décadas sufrió un ascenso generalizado de sus niveles freáticos, debido principalmente al cambio en el uso de la tierra y al registro de abundantes precipitaciones provocando modificaciones en los escenarios hídricos de la región (Videla Mensegue, 2017). En estas áreas, donde se observan modificaciones en sus dinámicas hídricas, es necesario incorporar el uso de modelos para determinar los posibles escenarios y evaluar distintas alternativas de acciones productivas.

Los modelos de simulación de cultivos se utilizan en la actualidad para planificar posibles estrategias de manejo, ya que permiten interpretar y predecir necesidades hídricas de los mismos, sus posibles desarrollo y rendimiento. En este sentido, el modelo de simulación SWAP-WOFOST (Kroes, 2017) está diseñado para simular el movimiento de agua en el suelo con estrecha interacción con un cultivo en crecimiento combinado con información geográfica del área.

El objetivo del presente trabajo fue calibrar de modo preliminar el modelo SWAP-WOFOST para simular los cultivos de trigo, soja y maíz en ambientes con influencia de la capa freática de la cuenca Alta Picasa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio comprende una fracción de la Cuenca de La Picasa denominada Cuenca Alta de La Picasa (Figura 1), abarcando 243.500 ha dentro del territorio de la provincia de Córdoba. Esta región tiene características climáticas, edáficas, hidrológicas, productivas y socioeconómicas representativas de la Pampa húmeda y subhúmeda Argentina.

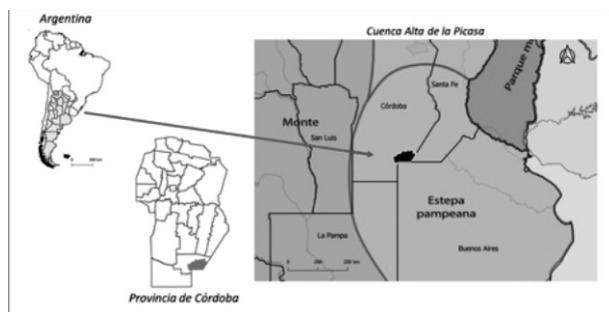


Figura 1. Área de estudio.

Calibración del modelo SWAP-WOFOST

El modelo SWAP-WOFOST (Kroes, 2017) es una integración de dos modelos que está diseñados para simular procesos de flujo y transporte de agua y solutos (SWAP, Van Dam 2008) usando la ecuación de Richards y el crecimiento de los cultivos a distintas escalas espaciales (WOFOST, De Wit, 2019).

El procedimiento de calibración de SWAP-WOFOST se realizó en 2 etapas: i) recopilación de datos de campo de meteorología, suelos,

capa freática y cultivos agrícolas en la Cuenca Alta de La Picasa (período 2013-2019), y ii) calibración de los parámetros de cultivo y capa freática de SWAP-WOFOST para simular el crecimiento de trigo, soja, y maíz. Las observaciones de campo se recopilaron de cuatro sitios representativos del área de estudio. Los datos meteorológicos usados en las simulaciones son los mismos para las cuatro situaciones mientras que los parámetros de suelos corresponden a la Serie Laboulaye, en tres sitios, y Rosales, en uno de ellos. El período simulado fue 2013 – 2019 con un paso diario. Cada cultivo fue simulado en forma continua en cada sitio respetando la secuencia de cultivos observada. Estas secuencias fueron en general trigo/soja 2ª – maíz – soja de primera. Las fechas de siembra de los cultivos fueron: 25/05, 15/12, 25/09 y 01/11 para trigo, soja de 2a, maíz y soja de primera, respectivamente. Las variables evaluadas en la calibración fueron: días desde siembra (DDS) a floración y cosecha, rendimiento en grano, fracción de intercepción de la radiación solar (FI) y profundidad de la capa freática. La FI fue calculada a partir de valores de índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI) a través de las relaciones propuestas por Tenreiro et al. El NDVI se obtuvo de imágenes Sentinel 2ª y LandSat TM 8 durante el período crítico de cada cultivo. La profundidad de la capa freática fue registrada para el período 2013 – 2019 con mediciones mensuales.

Análisis estadístico

La evaluación estadística del ajuste del modelo SWAP-WOFOST se realizó con la comparación de los valores observados y estimados, raíz del error medio cuadrático (RMSE, Tenreiro, 2021), Índice de agregación de Willmott y raíz del error medio cuadrático relativo (RRMSE).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Calibración de SWAP-WOFOST

La calibración de SWAP-WOFOST muestra resultados buenos para simular el desarrollo de trigo, soja y maíz (Tabla 1). El ajuste para estimar los días después de la siembra (DDS) a floración fue RMSE = 7 días y $d=0,86$ y a cosecha RMSE=13 días y $d=0,78$ para trigo, soja y maíz. (Fig. 2A, Fig. 3A, y Fig. 4A). El RMSE para el rendimiento en grano fue 1771, 1298 y 1273 kg ha⁻¹ para trigo, soja y maíz, respectivamente. Los valores de d y RRMSE para el rendimiento en grano de trigo, soja y maíz fueron 0,59 y 34%, respectivamente. Si bien la diferencia entre el valor observado y simulado promedio tiene una pequeña diferencia (3%) la dispersión de los valores evaluada con los estadísticos de dispersión es alta (Fig. 2B, Fig. 3B y Fig. 4B). La simulación de la FI muestra un ajuste aceptable siendo mejor para maíz (RMSE=0,21 y $d=0,93$, Fig. 4C). El ajuste de la simulación del FI de soja y trigo fue regular (RMSE=0,15 y RRMSE=19%) con una dispersión importante ($d=0,42$, Fig. 2D y Fig. 4D). La simulación de la profundidad de la capa freática mostró un alto ajuste entre valores observados y estimados (Tabla 1). La desviación media entre valores observados y simulados fue 0,18 m siendo mejor para soja. El bajo valor de RRMSE (18%) y alto valor de d (0,93) reflejan el buen ajuste en la dispersión de los valores (Fig. 2D, Fig. 3D. y Fig. 4D).

Tabla 1. Estadísticos de ajuste de SWAP-WOFOST para estimar los días después de la siembra (DDS) a floración y cosecha, rendimiento en grano, fracción de interceptación de radiación (FI) y profundidad de la capa freática (CF) para los cultivos de trigo, soja y maíz. N: número de datos, Prom. Obs.: promedio de valores observados, DE Obs.: desvío estándar de valores observados, Prom. Est.: promedio de valores estimados, DE Est.: desvío estándar de valores estimados, d: índice de agregación de Willmott, RMSE: raíz del error medio cuadrático, y RRMSE: raíz del error medio cuadrático relativo.

Cultivos		DDS Floración	DDS cosecha	Rendimiento en grano	FI	CF
Trigo	N	11	11	11	11	11
	Prom. Obs.	131	185	3912	0,75	1,51
	DE Obs.					
	Prom. Est.	126	169	3415	0,94	1,64
	DE Est.					
	d	0,94	0,66	0,47	0,35	0,96
	RMSE	6,8	17,5	1771	0,21	0,22
	RRMSE	5%	9%	45%	27%	15%
Soja	N	18	18	18	18	18
	Prom. Obs.	44	153	3043	0,89	1,31
	DE Obs.					
	Prom. Est.	44	144	3005	0,88	1,41
	DE Est.					
	d	0,67	0,80	0,58	0,50	0,97
	RMSE	9,4	16,7	1298	0,10	0,18
	RRMSE	21%	11%	43%	11%	14%
Maíz	N	6	6	6	6	6
	Prom. Obs.	94	172	8559	0,73	1,19
	DE Obs.					
	Prom. Est.	91	173	8925	0,74	1,45
	DE Est.					
	d	0,97	0,87	0,73	0,93	0,85
	RMSE	4,6	4,6	1273	0,06	0,31
	RRMSE	5%	3%	15%	8%	26%

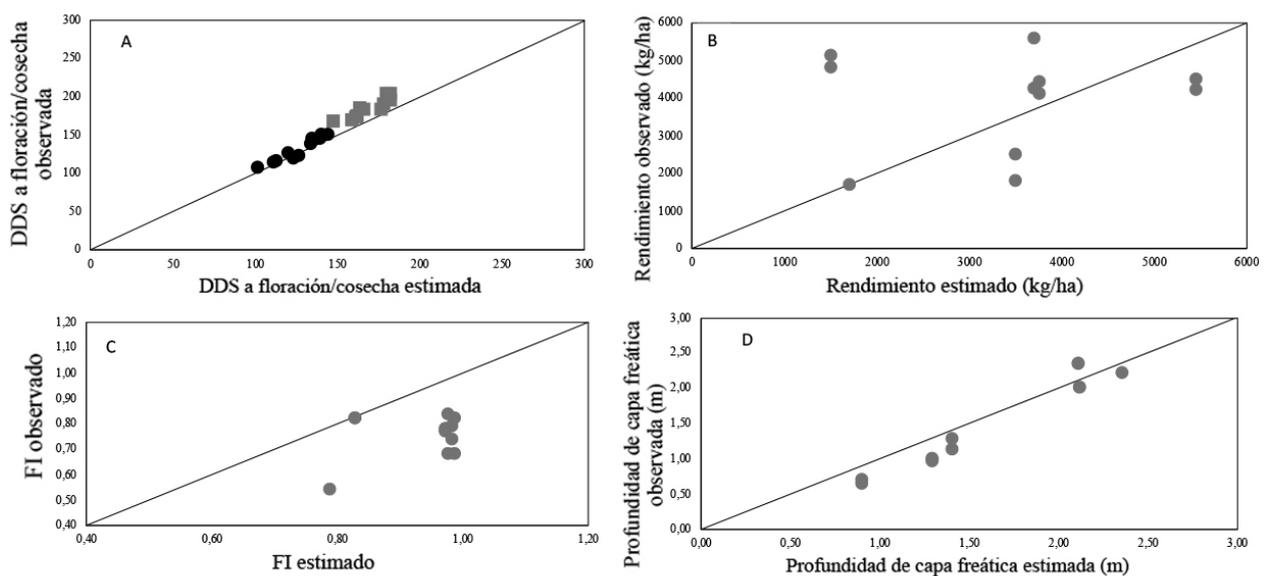


Figura 2. Valores observados y estimados para días desde la siembra (DDS) a floración y cosecha (A), rendimiento en grano (B), fracción de interceptación de radiación (FI, C) y profundidad de la capa freática (D) para trigo.

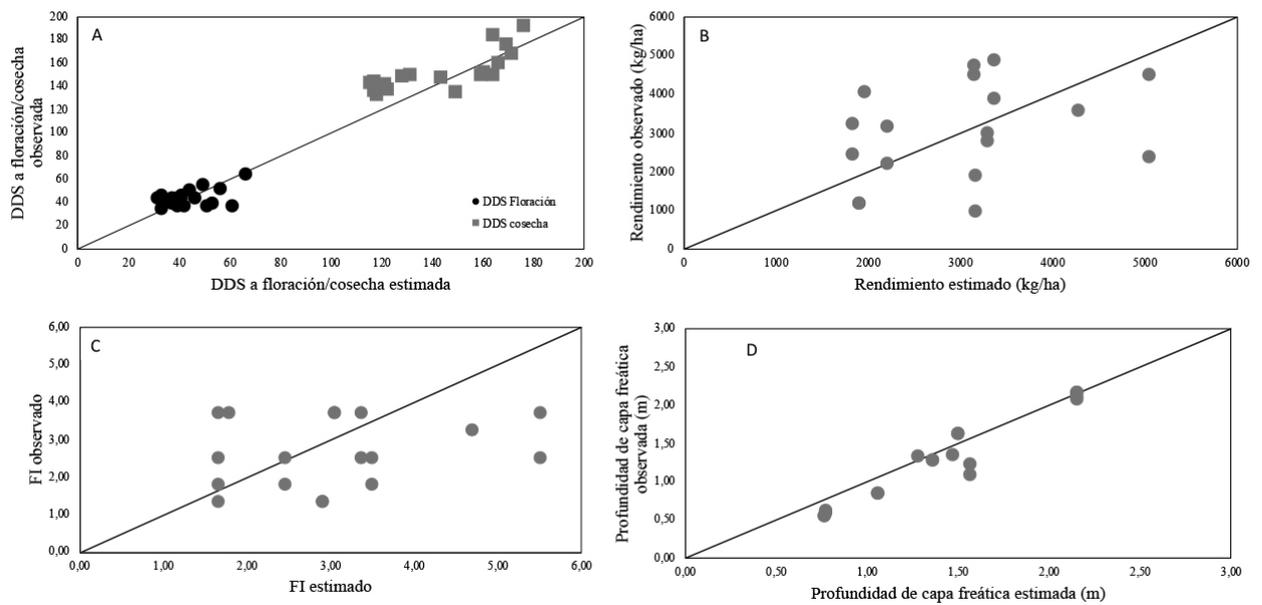


Figura 3. Valores observados y estimados para días desde la siembra (DDS) a floración y cosecha (A), rendimiento en grano (B), fracción de intercepción de radiación (FI, C) y profundidad de la capa freática (D) para soja.

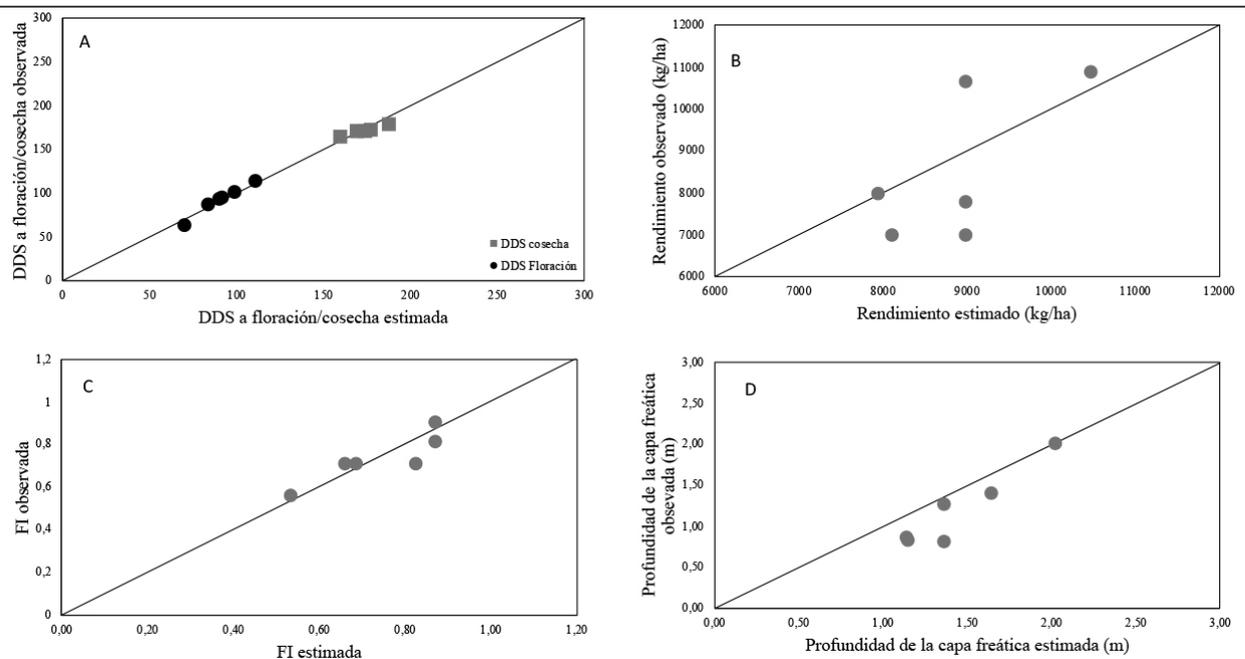


Figura 4. Valores observados y estimados para días desde la siembra (DDS) a floración y cosecha (A), rendimiento en grano (B), fracción de intercepción de radiación (FI, C) y profundidad de la capa freática (D) para maíz.

CONCLUSIÓN

El modelo SWAP- WOFOST simuló aceptablemente el crecimiento y desarrollo de los cultivos de trigo, soja y maíz en los ambientes con presencia de napa en la cuenca Alta Píscas. Este modelo proporcionó informaciones útiles sobre el movimiento de agua en el suelo y parámetros de crecimiento de los distintos cultivos para futuras simulaciones agro hidrológicas de dicha región. Los resultados brindados por el modelo mostraron un buen nivel de ajuste para las oscilaciones de la capa freática y ajustes aceptables para los rendimientos de los cultivos analizados.

BIBLIOGRAFÍA

- De Wit, A., Boogaard, H., Fumagalli, D., Janssen, S., Knapen, R., Kraalingen, D. van, ... Diepen, K. van. 2019. 25 years of the WOFOST cropping systems model. *Agricultural Systems*,

168, 154–167. Retrieved from <https://doi-org.ezproxy.library.wur.nl/10.1016/j.agsy.2018.06.018>

- European Commission. 2018. Copernicus Open Access Hub. Missions: [https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products\('de108251-9aed-463e-91dc-1c5b8d8109d0'\)/\\$value](https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('de108251-9aed-463e-91dc-1c5b8d8109d0')/$value).
- Kroes, J.G., Van Dam, J.C., Bartholomeus, R.P., Groenendijk, P., Heinen, M., Hendriks, R.F.A., Mulder, H.M., Supit, I., Van Walsum, P.E.V., 2017. SWAP Version 4, Theory Description and User Manual. Wageningen Environmental Research, ESG Report 2780. <https://edepot.wur.nl/416321b>
- Tenreiro, T. R. et al. 2021 "Using NDVI for the assessment of canopy cover in agri-cultural crops within modelling research," *Computers and Electronics in Agriculture*, 182(November 2020). doi: 10.1016/j.compag.2021.106038.
- USGS b. 2019. United States Geological Survey, Using

the USGS Landsat Level-1 Data Product. Recuperado el 11 de 11 de 2020, de Landsat 98. Mis-sions:https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/using-usgs-landsat-level-1-data-product

• Van Dam, J. C., Groenendijk, P., Hendriks, R. F. A., & Kroes, J. G. 2008. Advances of Modeling Water Flow in Variably Saturated Soils with SWAP. *Vadose Zone Journal*, 7(2), 640–653. https://doi.org/10.2136/vzj2007.0060

• Videla Mensegue, H.; Avedano, L.; Degioanni, A. & O.P. Caviglia. 2017. Change of soil use and water balance in southern Cordoba (Argentina). 7th World Congress on Conservation Agriculture - XXV Congreso AAPRESID. Rosario, Argentina.

*Trabajo presentado en el 13° Congreso de Agroinformática, Argentina. Octubre 2021.

CÓMO CARACTERIZAR LA VARIACIÓN EN EL CARÁCTER STAYGREEN DE MAÍZ Y ANÁLISIS DE POSIBLES VENTAJAS EN ALTAS DENSIDADES DE SIEMBRA

Mariana Antonietta^{1*}, Paula Girón², Juan José Guiamet¹

¹Instituto de Fisiología Vegetal (INFIVE), CONICET-UNLP, ²EEA INTA General Villegas

* antoniettamariana@gmail.com

PALABRAS CLAVE:

maíz, densidad, senescencia, intercepción de luz, rendimiento.

INTRODUCCIÓN

En maíz, el mejoramiento genético ha estado acompañado de cambios en el manejo, entre los que se destaca un aumento en la densidad de plantas a un ritmo de aproximadamente 1000 pl ha⁻¹ año⁻¹ (Duvick, 2005). Además, los híbridos modernos presentan una demora en la senescencia foliar o carácter staygreen (SG) (Rajcan & Tollenaar, 1999; Duvick, 2005) y entre ellos existe variabilidad para este rasgo (Kosgey et al., 2013; Acciaresi et al., 2014; Antonietta et al., 2014, 2016). Dado que el aumento de la densidad implica un estrés que acelera la senescencia foliar (Borrás et al., 2003; Antonietta et al., 2014) cabe preguntarse en qué medida la demora en la senescencia foliar del canopeo puede representar una ventaja en términos de rendimiento en contextos de alta densidad de siembra.

A fin de analizar las posibles ventajas del carácter SG, trabajos previos han intentado cuantificar este rasgo de distintas maneras. Para este fin, la caída del área foliar durante el período reproductivo puede ajustarse a una relación bilineal, con una fase inicial más lenta seguida de otra fase de caída del área foliar más rápida (Borrás et al., 2003). Así, entre otros parámetros relacionados al carácter SG se ha utilizado el momento en que cambia la tasa de senescencia (en sorgo, Borrell et al., 2000), y la velocidad de senescencia relativa durante la fase rápida (Borrás et al., 2003). Sin embargo, estos parámetros podrían no ser suficientes para reflejar situaciones donde el índice de área foliar (IAF) máximo es superior al IAF crítico. En este sentido, incluso a las densidades recomendadas (i.e., 8 pl m⁻² para zona núcleo en Buenos Aires) una demora en la senescencia foliar no se traduce en aumentos en la intercepción de luz sino a partir de estadios tardíos del llenado (Acciaresi et al., 2014) debido a que el IAF máximo supera ampliamente al IAF por debajo del cual se afecta la intercepción de luz.

Los objetivos de este trabajo son (i) detectar la presencia de variación genotípica en el perfil de intercepción de luz y senescencia foliar frente al aumento de la densidad de plantas; (ii) desarrollar una metodología para cuantificar la variación genotípica detectada en la senescencia del canopeo y (iii) establecer si la demora en la senescencia representa una ventaja de rendimiento en altas densidades.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño experimental

El ensayo se sembró el 1 de diciembre de 2020 (fecha de siembra tardía) en la Estación Experimental Agropecuaria de INTA EEA General Villegas como repetición interanual de los ensayos realizados en las campañas 2017, 2018 y 2019. El cultivo se sembró con máquina experimental neumática. Los tratamientos consistieron en: (i) 2 densidades: 6,2 y 14 pl m⁻² y (ii) 4 híbridos con fenología similar: ACA470 y ACA473 (ACA) y AX7822 y AX7784 (Nidera).

Cada parcela consistió de 4 surcos distanciados a 0,525 m y de 12 m

de largo, resultando en una superficie de 25,2 m². Se realizaron 4 repeticiones (parcelas) por tratamiento (densidad x híbrido) distribuidas en bloques completos aleatorizados. El estudio se desarrolló sobre un suelo hapludol típico con contenidos medios de 2,42% de materia orgánica y sobre antecesor soja de primera. La fertilización consistió en: 200 kg N ha⁻¹ aplicados en V3. No se aplicó fertilización fosforada debido a los buenos niveles de fósforo (P) del suelo (29 ppm, P Bray). Para el control de malezas, previo a la siembra se aplicó 800 cc ha⁻¹ de bicopirona + 850 cc ha⁻¹ de S-metolaclo + 2 l de glifosato ha⁻¹. En V6 se aplicó 100 cm³ topramezone + 2 l de glifosato ha⁻¹. No se requirió aplicación para enfermedades. La fecha de floración femenina fue el 8 de febrero de 2021 para todos los híbridos.

Intercepción de luz

El perfil de intercepción de luz por el canopeo se midió con una barra (Cadavices®) de 1 m de longitud de zona sensora en días soleados y entre las 12 y las 14 hs. El sensor se ubicó paralelo a la superficie del suelo y en diagonal ocupando la distancia entre los 2 surcos centrales de cada parcela. Las medidas se tomaron a la altura de la espiga, y al nivel de la hoja verde más próxima al suelo (intercepción total) para evitar errores debido al sombreado de hojas secas. Además, se registró la irradiancia total fuera de las parcelas junto a cada medición por parcela de modo de calcular el porcentaje de radiación interceptada (%RI) como:

$$\%RI = 100 - \text{Transmitancia} * 100 / \text{Irradiancia total}$$

Registro de la senescencia foliar

En floración se identificaron 3 plantas por parcela (12 plantas por cada combinación densidad x híbrido) ubicadas en los surcos centrales a fin de realizar un registro no destructivo de la senescencia foliar. En estas plantas se midió la longitud (L) y el ancho máximo (A) de cada lámina, y estos valores se utilizaron para calcular el área foliar de cada hoja (AF):

$$AF = L \times A \times 0,75$$

A partir de floración se registró el avance de la senescencia del canopeo en las plantas marcadas a partir del conteo de hojas con al menos un 50% de su área verde. El registro de la senescencia se realizó cada 3-4 días desde floración y hasta madurez fisiológica (aprox. 60 días después de la floración, DDF). Con este registro y conociendo el AF de cada hoja en floración, se calculó el AF por planta en cada momento post-floración.

Cuantificación del carácter SG

A partir del registro periódico del AF por planta y de las mediciones de intercepción de luz, se construyeron correlaciones entre el índice de área foliar (IAF) y el %RI y se ajustaron funciones exponenciales para