

## **Calibración del modelo SWAP- WOFOST para simular cultivos agrícolas en la Cuenca Alta Picasa (Argentina)**

Alejandra Macchiavello<sup>1</sup>, Horacio Videla Mensegue<sup>1\*</sup>, Joop G. Kroes<sup>2</sup>, Albert A. Veldhuizen<sup>2</sup>, José Corigliano<sup>3</sup>, Timo Kroon<sup>4</sup>, Betsy Romero Verastegui<sup>4</sup>, Javier Alvarez<sup>5</sup>, Sebastián López<sup>5</sup>, and Nicolás Federico Guillen<sup>5,6</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Argentina  
(\*videla.horacio@inta.gob.ar)

<sup>2</sup>Wageningen Environmental Research, Netherlands

<sup>3</sup>Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina

<sup>4</sup>Deltares, Netherlands

<sup>5</sup>Universidad Nacional de Córdoba, Argentina

<sup>6</sup>Universidad Católica de Salta, Argentina

### **Resumen**

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. El objetivo del presente trabajo fue calibrar 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. El procedimiento de calibración del modelo se realizó en dos etapas: i) recopilación de datos de campo de meteorología, suelos, capa freática y cultivos agrícolas en la cuenca Alta de La Picasa, y ii) calibración de los parámetros de cultivo y capa freática para simular el crecimiento de los cultivos. Los variables evaluadas en la calibración fueron: días después de la siembra (DDS) a floración y cosecha, rendimiento en grano, fracción de interceptación de la radiación solar (FI) y profundidad de la capa freática. El rendimiento actual de trigo, soja y maíz simulado por SWAP-WOFOST concuerdan con los valores promedios históricos de la 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.

**Palabras claves:** modelación agro hidrológica, capa freática, trigo, soja y maíz.

### **1 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 [1]. 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 [2] está diseñado para simular el movimiento de agua en el suelo con estrecha interacción con un cultivo en crecimiento combinado con información geografía 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 Pícosa.

## 2 Materiales y Métodos

### 2.1 Área de estudio

El área de estudio comprende una fracción de la Cuenca de La Pícosa denominada Cuenca Alta de La Pícosa (Fig. 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.

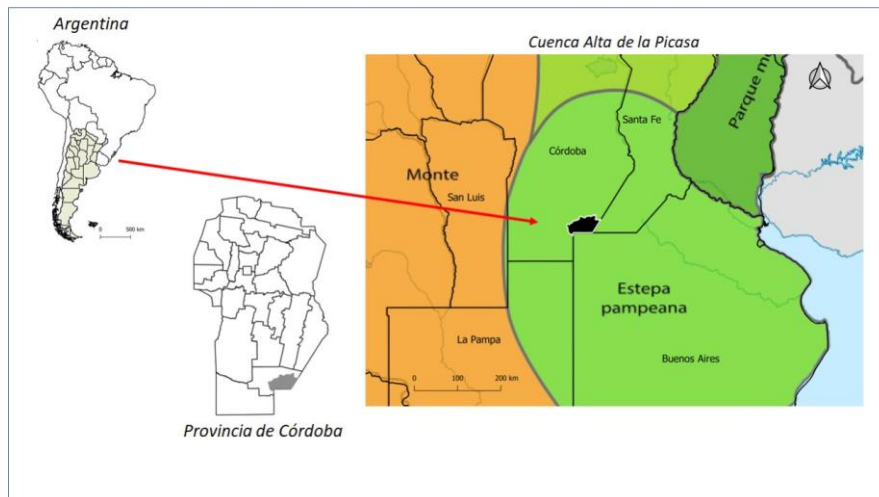


Fig. 1. Área de estudio.

## 2.2 Calibración del modelo SWAP-WOFOST

El modelo SWAP-WOFOST [2] es una integración de dos modelos que está diseñados para simular procesos de flujo y transporte de agua y solutos (SWAP, [3]) usando la ecuación de Richards y el crecimiento de los cultivos a distintas escalas espaciales (WOFOST, [4]).

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 representativas 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 2<sup>a</sup> – 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.

Los variables evaluadas en la calibración fueron: días después de la 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 [5]. El NDVI se obtuvo de imágenes Sentinel 2<sup>a</sup>[6] y LandSat TM 8 [7] durante el período crítico de cada cultivo. La profundidad de la capa freática fue registrada para el período 2013 – 2019 con mediciones mensuales.

## 2.3 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, [5]), Índice de agregación de Willmott (d, [8]) y raíz del error medio cuadrático relativo (RRMSE).

# 3 Resultados y Discusión

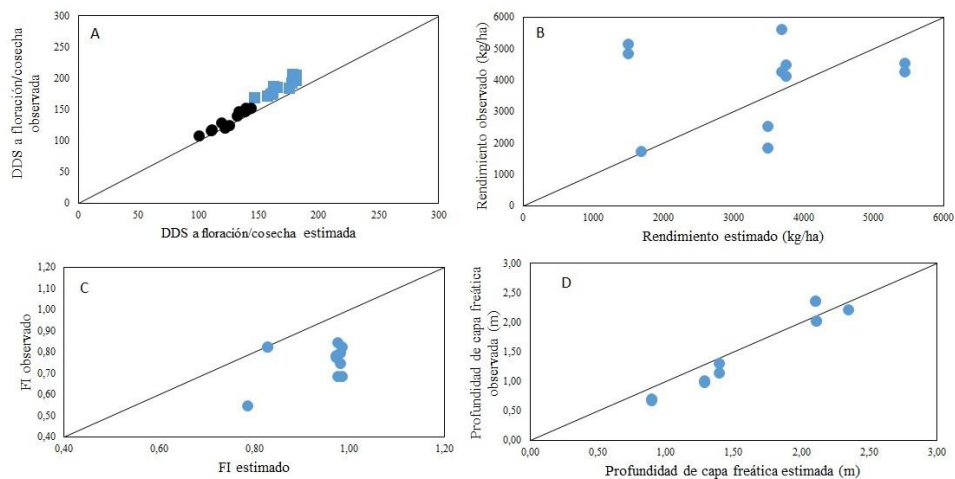
## 3.1 Calibración de SWAP-WOFOST

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 rendi-

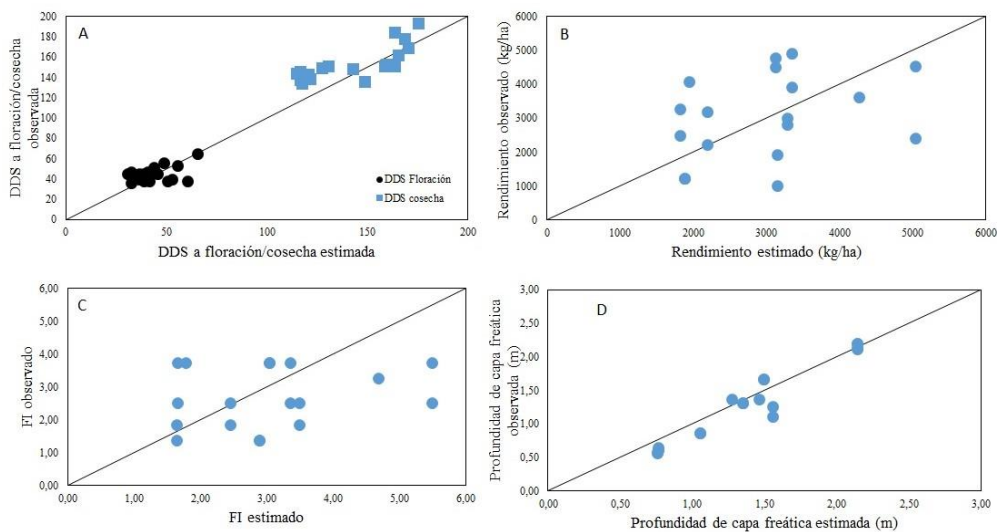
miento en grano fue 1771, 1298 y 1273 kg ha<sup>-1</sup> para trigo, soja y maíz, respectivamente. Los valores de  $d$  y RRMSE para el rendimiento en grano de trigo, soja y maíz fueron 0.59 y 34%, respectivamente. Si bien la diferencia entre el valor observado y simulado promedio tiene una pequeña diferencia (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 0.18m 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 intercepción 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.

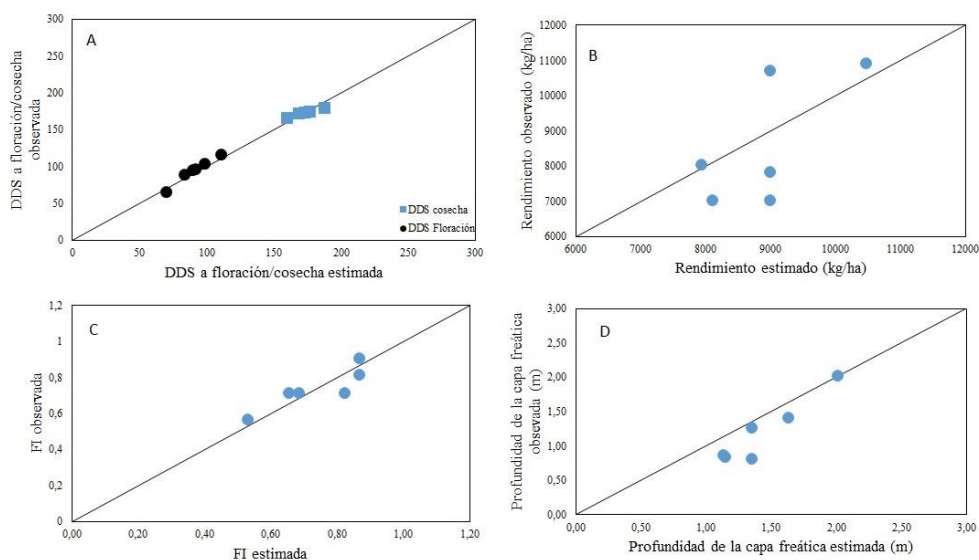
Cultivos		DDS Floración	DDS cosecha	Rendimiento en grano	FI	CF
Trigo	N	11	11	11	11	11
	Prom. Obs.	131	185	3912	0.75	1.51
	DE Obs.	15.9	12.9	1311	0.09	0.67
	Prom. Est.	126	169	3415	0.94	1.64
	DE Est.	13.8	11.5	1375	0.08	0.53
	$d$	0.94	0.66	0.47	0.35	0.96
	RMSE	6.8	17.5	1771	0.21	0.22
	RRMSE	5%	9%	45%	27%	15%
Soja	N	18	18	18	18	18
	Prom. Obs.	44	153	3043	0.89	1.31
	DE Obs.	7.6	17.1	1252	0.06	0.57
	Prom. Est.	44	144	3005	0.88	1.41
	DE Est.	10.1	22.5	1031	0.09	0.50
	$d$	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.	17.1	4.6	1771	0.11	0.47
	Prom. Est.	91	173	8925	0.74	1.45
	DE Est.	13.8	9.4	900	0.14	0.34
	$d$	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%



**Fig. 2.** Valores observados y estimados para días después de 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 trigo.



**Fig. 3.** Valores observados y estimados para días después de 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.



**Fig. 4.** Valores observados y estimados para días después de 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.

## 4 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 Picasa. 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.

## Referencias

- [1] Videla Mensague, 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.

- [2] 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>
- [3] 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>
- [4] 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>
- [5] Tenreiro, T. R. et al. (2021) "Using NDVI for the assessment of canopy cover in agricultural crops within modelling research," *Computers and Electronics in Agriculture*, 182(November 2020). doi: 10.1016/j.compag.2021.106038.
- [6] 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).
- [7] 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. Missions: <https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/using-usgs-landsat-level-1-data-product>