

SIMULACIÓN A LARGO PLAZO DE DIFERENTES ALTERNATIVAS DE DOBLE CULTIVO TRIGO-SOJA EN EL SUDESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Juan Pablo MONZON¹, Octavio CAVIGLIA², Víctor Osvaldo SADRAS³

Introducción

El doble cultivo trigo-soja en el sudeste bonaerense habitualmente se realiza sembrando la soja luego de la cosecha del trigo, retrasándose la fecha de siembra más allá del óptimo (CALVIÑO, 2000). Esto tiene como consecuencia una drástica caída de los rendimientos de la soja debido a que se desplaza el crecimiento reproductivo a un ambiente menos favorable y existe el riesgo de que heladas tempranas finalicen anticipadamente el ciclo el cultivo (CALVIÑO, 2000).

Otra modalidad de doble cultivo es intercalar la soja dentro del trigo. El período de crecimiento de la soja se alarga y el rendimiento podría mejorar al disponer de mejores condiciones ambientales en los períodos críticos de determinación del rendimiento.

Ambas modalidades de doble cultivo se pueden llevar a cabo sin inconvenientes cuando se dispone de riego. En condiciones de secano la variabilidad climática, hace necesario el análisis a largo plazo para determinar la viabilidad y los rendimientos factibles de ambas modalidades de doble cultivo.

Una forma de capturar las variaciones climáticas y poder evaluar el riesgo asociado con un determinado tipo de manejo es el uso de modelos de simulación y registros climáticos históricos (SINGH *et al.*, 1999). Estos modelos deben ser calibrados y validados localmente. La calibración consiste en modificar parámetros del modelo para lograr un mayor ajuste entre los datos observados y los simulados; la validación consiste en comparar los datos simulados con datos observados que no hayan sido utilizados en la calibración (BOOTE *et al.*, 1996).

Los objetivos de este trabajo son calibrar y validar los modelos de simulación CERES-Wheat (RITCHIE, 1985) y CROPGRO-Soybean (BOOTE *et al.*, 1998) y estimar los rendimientos de ambas modalidades de doble cultivo en Balcarce.

Materiales y métodos

Se llevó a cabo un ensayo en la estación experimental de la Unidad Integrada Balcarce INTA-Balcarce, Buenos Aires, ARGENTINA (latitud: 37° 45' S, longitud: 58° 18' W y altitud 130m) desde julio 2000 a mayo 2001 para obtener parte de los datos para la calibración. Se compararon tres tratamientos: 1) trigo a 17,5cm entre surcos (testigo) + soja de segunda a 70cm entre surcos; 2) trigo a 17,5cm entre surcos, dejando un surco sin sembrar cada tres surcos sembrados (3:1) + soja

intercalada a 70cm entre surcos; 3) soja de primera a 66cm entre surcos. El diseño fue de bloques completos aleatorizados con tres repeticiones. Se utilizó un cultivar de ciclo corto de trigo (Prointa Imperial) y una variedad de soja indeterminada de grupo de madurez III (Asgrow 3901).

Los modelos fueron calibrados y validados según la metodología de MAVROMATIS *et al.* (2001), para las condiciones locales empleando la información experimental obtenida y los datos de diferentes cultivares de la red oficial de ensayos territoriales (ROET). Para poder simular el tratamiento 2 se modificaron los archivos de entrada de los modelos, utilizando datos obtenidos en el ensayo.

La capacidad de los modelos para simular el sistema en estudio se evaluó comparando rendimientos medidos y simulados utilizando a) análisis de regresión, b) la raíz media del cuadrado del error (RMCE) y c) el error relativo, $ER = RMCE \cdot 100 / \text{promedio de los valores observados}$.

Luego de calibrar y validar los modelos se simularon los rendimientos a largo plazo (1970-2001) de los diferentes tratamientos experimentales en condiciones de secano para la localidad de Balcarce. La humedad inicial a la siembra para trigo y soja se fijó en un 80% del contenido de agua útil. Para soja intercalada se tomó como humedad inicial la calculada por el modelo para ese momento del ciclo del trigo y para soja de segunda se tomó la humedad que calculó el modelo al finalizar el ciclo del trigo.

Con los resultados de la simulación a largo plazo se calculó el equivalente de uso de la tierra (EUT), i.e. la suma de las fracciones de rendimiento de los cultivos múltiples (doble cultivo trigo-soja) relativo al rendimiento del cultivo único (FRANCIS, 1986). El EUT representa la fracción de tierra necesaria para que un único cultivo en el año produzca el mismo rendimiento que un cultivo múltiple.

Resultados y discusión

Experimento en Balcarce. El rendimiento del trigo en el arreglo 3:1 se redujo un 7% con respecto al tratamiento testigo (Tabla 1). La soja intercalada rindió 12% menos que la soja de primera, y la reducción fue de 31% para la soja de segunda.

Evaluación de los modelos. En la simulación de trigo se utilizaron coeficientes calculados para el cultivar Prointa Isla Verde que es de ciclo similar a Prointa Imperial. Los modelos calibrados simularon de forma adecuada el rendimiento de trigo y soja en los distintos arreglos de cultivo (Figuras 1, 2). La RMCE entre los rendimientos observados y los simulados para trigo fue de 512kg/ha y el ER de 14%. La reducción en rendimiento de trigo en el arreglo 3:1, i.e. 8% (3394 vs.

¹ Alumno de Postgrado en Agronomía, Universidad Nacional de Mar del Plata. Becario CONICET. cc 276 Ruta 226 km. 73.5 Balcarce, Bs. As. ARGENTINA. email: jpmonzon1978@hotmail.com.

² INTA-EEA Parana. Facultad de Ciencias Agrarias-Universidad Nacional de Entre Ríos.

³ CSIRO & APSRU, Adelaide AUSTRALIA.

3702kg/ha) fue similar a la determinada experimentalmente (Tabla 1).

Tabla 1. Rendimientos (kg/ha, seco) obtenidos en el ensayo y en la simulación. Entre paréntesis se muestra el error estándar.

Tratamiento	Rendimiento ensayo	Rendimiento simulado
Trigo testigo	4044 (688)	3702 (495)
Trigo 3:1	3769 (206)	3394 (510)
Soja de primera	2739 (145)	2189 (1091)
Soja intercalada	2432 (82)	1973 (928)
Soja de segunda	1938 (163)	1304 (779)

La RMCE entre los rendimientos observados y los simulados para soja fue de $499\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ y el ER de 21%. Se simularon reducciones del 11% (2189 vs. 1973kg/ha) y del 29% (2189 vs. 1304kg/ha) en el tratamiento de soja intercalada y soja de segunda respectivamente, en comparación a la soja de primera. Estos valores son consistentes con los resultados experimentales (Tabla 1).

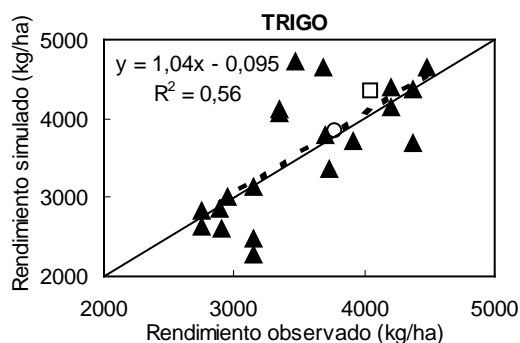


Figura 1. Rendimientos simulados y observados para trigo (kg/ha, seco). Los triángulos llenos indican los datos de la ROET. El cuadrado y el círculo vacíos indican para el ensayo el testigo y el tratamiento 3:1 respectivamente.

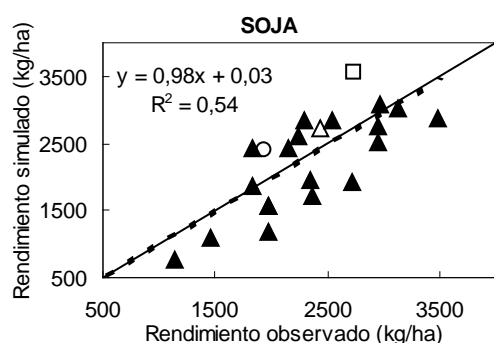


Figura 2. Rendimientos simulados y observados para soja (kg/ha, seco). Los triángulos llenos indican los datos de la ROET. El cuadrado, el triángulo y el círculo vacíos indican para el experimento ensayo la soja de primera; intercalada y de segunda respectivamente.

Evaluación de doble cultivo a largo plazo.

Cálculos de EUT a largo plazo indican un aumento en productividad para el doble cultivo tradicional (1,63) y para el doble cultivo intercalado (1,84) (Tabla 2). Estos valores son similares a los obtenidos en el experimento, i.e. 1,69 y 1,81, respectivamente. Los datos de la simulación indican que en un 5, 15 y 25% de los años los rendimientos

de la soja de primera, intercalada y de segunda respectivamente serían menores a 500kg/ha.

La combinación de experimentos y simulación indican que sería posible aumentar de manera considerable la producción de una hectárea agrícola de la zona sudeste de la provincia de Buenos Aires.

Tabla 2. Rendimientos relativos y Equivalente de uso de la tierra (EUT). Promedio de los 30 años de simulación.

	Rendimiento relativo			EUT	
	Trigo testigo o soja de primera	Trigo 3:1 o soja intercalada	Soja de segunda	DCT *	DCI
Trigo	1	0,92			
Soja	1	0,92	0,63	1,63	1,84

*DCT: doble cultivo tradicional; DCI: doble cultivo intercalado

Conclusión

Los modelos de simulación CERES-Wheat y CROPGRO-Soybean calibrados para representar cultivos múltiples en distintos arreglos mostraron una predicción aceptable para el rendimiento del cultivo de trigo y de soja.

La probabilidad de obtener rendimientos menores a 500kg/ha son: soja segunda>soja intercalada>soja de primera.

Los resultados obtenidos experimentalmente y en la simulación indican que las alternativas de doble cultivo trigo-soja permitirían incrementar la productividad según se cuantifica con el EUT.

El doble cultivo intercalado logró la mayor producción en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$. La soja intercalada presentaría mayor rendimiento que la soja de 2da pero menos que la soja de 1ra, mientras que el trigo en el arreglo 3:1 rendiría menos que el trigo convencional.

Bibliografía

- BOOTE, K.J.; J.W. JONES; G. HOOGENBOOM. 1998. Simulation of crop growth: CROPGRO Model. Chapter 18, p. 651-692. *In* R.M. Peart and R.B. Curry (ed.) **Agricultural systems modeling and simulation**. Marcel Dekker, Inc., New York.
- BOOTE, K. J, J.W. JONES; N.B. PICKERING. 1996. **Agronomy. Journal**. 88:704-716.
- CALVIÑO, P.A. 2000. **Anticipación del momento de cosecha de trigo por aplicación de herbicidas**. Tesis Magister Scientiae. FCA UNMdP. 65pp.
- FRANCIS, C.A. 1986. **Introduction: Distribution and importance of multiple cropping**. *In*: Francis, C.A. (Ed) MAVROMATIS, T.; *et al.* 2001. **Crop Science**. 41:40-51.
- RITCHIE, J.T. 1985. *In* W. Day and T.K. Atkins (ed.) **Wheat growth and modeling**. NATO-ASI Series. Plenum Press, New York. p. 293-306.
- SINGH, P.; *et al.* 1999. **Field Crops Research** 63:225-236.