

T7 - SIMULACIONES DE SOJA EN ARGENTINA. II. RENDIMIENTOS VS. LLUVIAS.

L. R. Salado Navarro * (1); T.R. Sinclair (2); R. Rodríguez (3); G.F. Abascal (4).
(1)* Facultad de Agron. y Zoot., Univ. Nac. de Tucumán, Ada. Roca 1900. S.M. Tucumán, Argentina. Tel. 0381 4251915. Irsaladonavarro@yahoo.com.ar (2) University of Florida, U.S.A. (3) CNIA –INTA Castelar. Argentina. (4) Univ. Nac. de Tucumán.

Palabras clave: Soja – Modelo – Simulación – Rendimiento –Lluvia - Agua.

INTRODUCCIÓN

La cantidad y distribución de las lluvias durante el período de cultivo en secano, es la causa principal de la variación interanual del rendimiento de las especies anuales (Boyer, 1982; Purcell et al. 2003). En el caso de la soja, esto se cumple para zonas productoras de EEUU. (Purcell y Specht, 2004), lo cual también es válido para Argentina, donde la soja de secano ocupa millones de hectáreas. La existencia de un modelo de simulación mecanístico del cultivo de soja (Sinclair et al., 2006), permitió, simulando la tecnología actual del cultivo, analizar la dependencia de los rendimientos, con la variación de las lluvias y la disponibilidad de agua útil, durante 30 años, en tres localidades de la región núcleo sojera de Argentina.

La soja es especialmente vulnerable a déficit hídricos moderados, por la gran sensibilidad de la fijación de N_2 a dicho estrés, lo que influye en el rendimiento (Serraj et al. 1999). Sinclair et al. (1992), analizaron con la primera versión del citado modelo (Sinclair 1986; Muchow y Sinclair, 1986) la influencia de las lluvias en los rendimientos de soja en Argentina. Pero hace más de tres lustros, no estaban difundidas tecnologías actuales como: Siembra Directa (SD), siembras de primavera (octubre), y el uso de cultivares del grupo de madurez IV. Estas técnicas modernas, permiten un mejor aprovechamiento del agua útil disponible e inciden positivamente en el rendimiento. Recientemente, Sinclair et al. (2006), volvieron a analizar la influencia de la disponibilidad hídrica en el rendimiento de soja en Argentina, incorporando al modelo funciones que permiten simular SD y los cultivares actuales. Salado Navarro et al. (2006), mostraron que aun bajo SD, en siembras del 20 de octubre y utilizando el cultivar DM 4800 RR, existió una amplia variación interanual en los rendimientos simulados de soja a lo largo de tres décadas, en Marcos Juárez, Oliveros y Pergamino, tres localidades diferentes e importantes, de la región núcleo sojera de Argentina.

El objetivo de este trabajo fue analizar, con el citado modelo mecanístico del cultivo de soja, la dependencia de los rendimientos simulados con las precipitaciones durante 30 campañas agrícolas, en dichas localidades productoras de Argentina. Se estimó también a través de simulaciones, las eficiencias del uso del agua y el balance hídrico durante los períodos de barbecho y cultivo bajo SD, en siembras del 20 de octubre, con el cultivar DM 4800 RR.

MATERIAL Y MÉTODOS

La metodología empleada en este trabajo, fue la utilizada por Salado Navarro et al. (2006). Nuevamente, en las simulaciones se asumió que, no existían limitantes de fertilidad, por lo que el análisis se centró fundamentalmente en el efecto de la disponibilidad hídrica en el cultivo. En las simulaciones se usaron las temperaturas máximas y mínimas, precipitaciones y radiaciones solares diarias, desde 1973 hasta 2003 inclusive, provenientes de las estaciones meteorológicas de las Estaciones Experimentales de INTA, en las localidades de Marcos Juárez, Oliveros y Pergamino. La evapotranspiración potencial de referencia diaria (ETFAO), de cada lugar, durante ese lapso, fue estimada siguiendo la metodología de FAO basada en la fórmula de Penman-Monteith (Allen et al., 1998). La evapotranspiración diaria estimada por el modelo de simulación (ETMOD), fue la suma de la evaporación y transpiración durante el período de cultivo, mientras que, durante el barbecho, solo incluyó la evaporación estimada, ya que se asumió la existencia de un barbecho limpio de malezas, por ser una práctica usual en la región. Se calcularon dos eficiencias del uso del agua para el cultivo: a) Eficiencia del

Uso del Agua Transpirada (EUATR), como el cociente entre los kilogramos de rendimiento y los milímetros transpirados y b) Eficiencia del Uso del Agua evapo-transpirada (EUAET), que incluyó además en el denominador el agua evaporada. El balance del agua útil diario a 1,4 m de profundidad del perfil del suelo, se calculó para cada localidad, sumando la precipitación y restando la evaporación del suelo y la transpiración del cultivo, a partir del contenido de agua útil inicial de 125 mm, en el primer año. Los valores superiores a 224 mm se computaron como percolación, ya que superaron la capacidad de campo, para un perfil de suelo de esa profundidad. En los tres casos, se usó el valor volumétrico de 0,16 para el agua del suelo. La fracción de agua útil diaria disponible para el cultivo (FAU), para el perfil de 1,4 m, se calculó como el cociente entre el agua útil actual y el valor máximo de 224 mm.

RESULTADOS

En las tres localidades, la ETFAO anual superó ampliamente las precipitaciones durante casi todos los 30 años. Por ejemplo, en ese lapso en Marcos Juárez, la precipitación media anual y la ETFAO fueron 911 y 1435 mm, respectivamente (Fig. 1). La medias anuales de la ETMOD y de la percolación estimadas por el modelo fueron respectivamente 837 y 75 mm, lo que totaliza un valor similar a las lluvias anuales. En la Figura 2, se presentan para Marcos Juárez, los valores simulados de transpiración y evaporación del cultivo, a lo largo de las tres décadas, así como la evaporación durante el barbecho. Sus medias anuales fueron respectivamente, 395, 165 y 277 mm. Para la estimación de la evaporación se usó el modelo de dos etapas propuesto por Ritchie (1972). El valor relativamente bajo para el período de barbecho, se debe probablemente a que éste se mantuvo libre de malezas, como es una práctica habitual, durante los siete meses y medio de su duración. En esta localidad, el consumo total anual medio de la soja fue 560 mm. Las lluvias superiores al consumo de la soja, servirían para el trigo, que se siembra como doble cultivo, usualmente en la región.

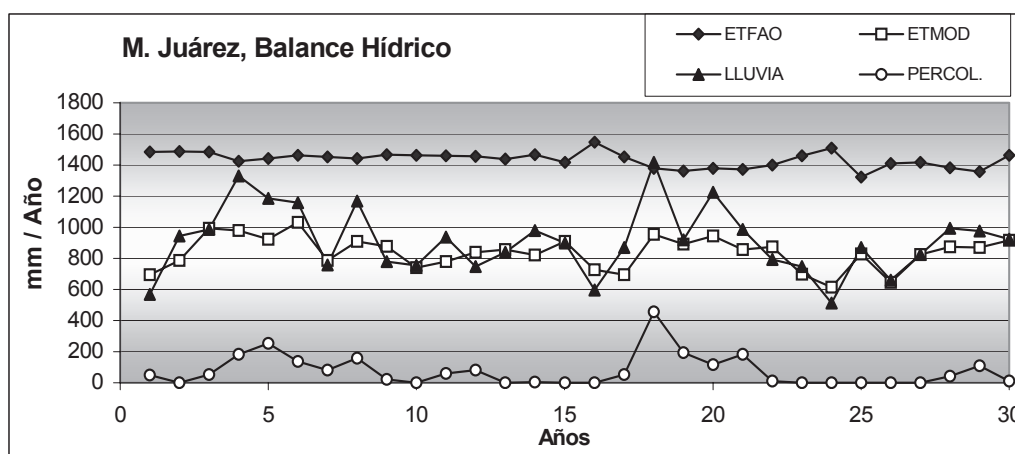


Fig. 1. Balance Hídrico Simulado de Marcos Juárez, Periodo 1973/2002.

Las lluvias medias durante el ciclo del cultivo de la soja fueron 519, 541 y 537 mm en Marcos Juárez, Oliveros y Pergamino, respectivamente. Pero las variaciones interanuales fueron grandes, como lo señalan las desviaciones estándar de alrededor de 160 mm, y pueden apreciarse en Oliveros (Fig. 3), por ejemplo. Dichas lluvias explicaron una porción significativa, de la variabilidad del rendimiento simulado, a través de los 30 años. Los R^2 fueron 0.58, 0.39 y 0.37, respectivamente. Probablemente dichos valores no fueron mayores, debido a que las lluvias no están bien distribuidas, ya que son usualmente menores durante enero y febrero, en la región. Esto se aprecia en las FAU mensuales de Pergamino (Fig. 5). Además, la cantidad de agua útil acumulada en el perfil del suelo a la siembra, también puede influir en los rendimientos, según Sinclair et al (2006).

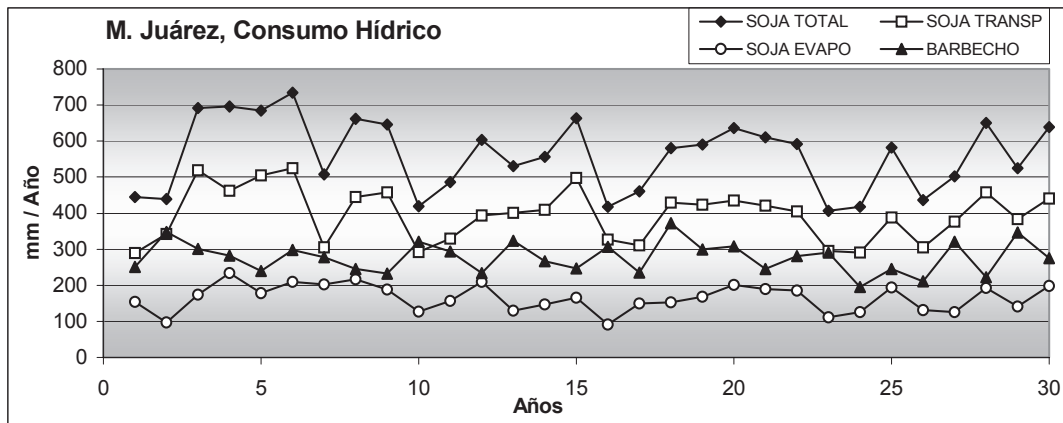


Fig. 2. Consumo Hídrico Simulado en Marcos Juárez, Periodo 1973/2002.

El agua transpirada en cambio, fue un excelente indicador del rendimiento simulado en Oliveros $R^2=0.80$ (Fig. 4), como así también en Marcos Juárez y Pergamino con $R^2 = 0,78$ y $0,69$, respectivamente. Sin duda, en ausencia de limitantes de fertilidad, como en estas simulaciones, el rendimiento es una función lineal del agua utilizada por el cultivo, a lo largo de su ciclo.

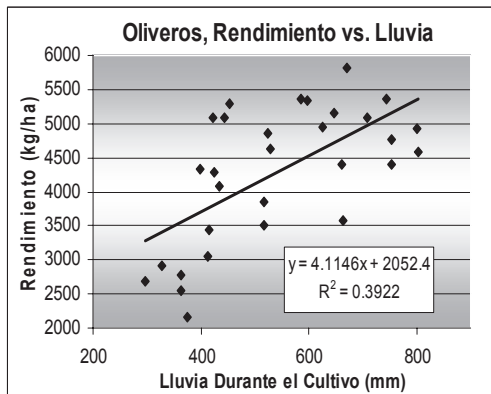


Fig. 3. Rendimientos Simulados vs. Lluvias Durante el Cultivo, Oliveros. 1973/2002.

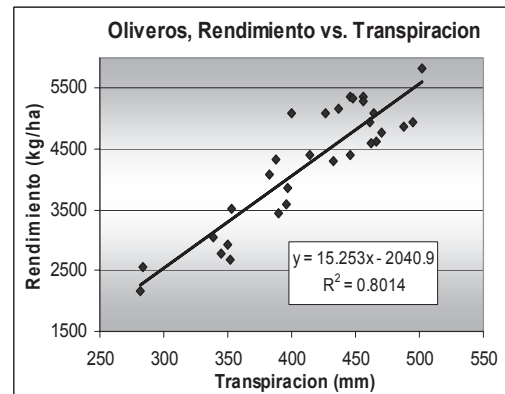


Fig. 4. Rendimientos Simulados vs. Transpiración, Oliveros. 1973/2002.

Las tendencias de las FAU medias mensuales, registradas en Pergamino (Fig. 5), fueron similares a las de las otras localidades. Pero Oliveros, tuvo mayores valores, especialmente en enero y febrero. Los rendimientos ligeramente superiores de esta última localidad, podrían deberse a esos mayores tenores hídricos, en momentos que el cultivo tiene un alta demanda. La fijación de N_2 probablemente se ve afectada significativamente, como lo señalaron Serraj et al. (1999), cuando se registran estas menores FAU, en el perfil explorado por las raíces.

Las eficiencias del uso del agua tuvieron una amplia variación interanual, en las tres localidades. Los años de mayores lluvias y rendimientos, fueron los de eficiencias del uso del agua más altas, como se ilustra para Pergamino (Fig. 6). Las EUAET medias fueron similares en las tres localidades a saber: 7,3; 7,3 y 6,8 kg/mm en Marcos Juárez, Oliveros y Pergamino, respectivamente.

Cabe destacar, que el modelo de simulación utilizado, estima diariamente, la influencia combinada sobre las funciones fisiológicas del cultivo, de variables climáticas tales como: precipitaciones, temperaturas, radiación solar, déficit de presión de vapor y la duración del

día, en ausencia de otros factores limitantes como: fertilidad, enfermedades y/o plagas.

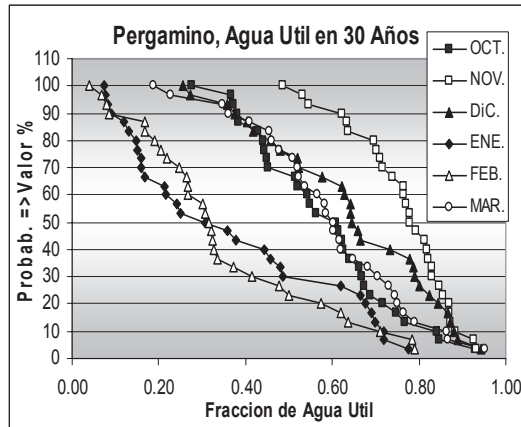


Fig. 5. Fracción de agua útil media mensual hasta 1,40 m expresada en probabilidad.

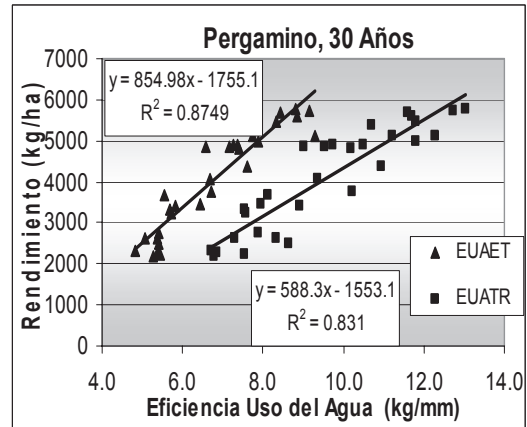


Fig. 6. Eficiencias del uso del agua transpirada y evapotranspirada en Pergamino.

En conclusión, los resultados de las simulaciones efectuadas señalaron, que el rendimiento de soja de secano, esta limitado por la cantidad y oportunidad de la provisión de agua al cultivo durante su ciclo, dado que sus demandas usualmente son parcialmente satisfechas, en la región núcleo sojera de Argentina. Las lluvias posteriores a la madurez de la soja, en condiciones de baja evapotranspiración, dejan un remanente de agua útil que puede ser aprovechado por el trigo, que se implanta en sucesión. Por consiguiente, la realización de un solo cultivo anual de soja, resulta ineficiente, teniendo en cuenta el agua útil anual remanente al final del ciclo de la soja. El modelo de simulación utilizado, es una herramienta, que estima en forma precisa el balance hídrico en ambientes con una gran amplitud de precipitaciones.

BIBLIOGRAFIA

- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1998. Crop evapo-transpiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrig. and Drainage Paper 56. FAO. Rome.
- Boyer, J.S., 1982. Plant productivity and environment. Science. 218:443-448.
- Muchow, R.C, and T.R. Sinclair. 1986. Water and nitrogen limitations in soybean grain production. II. Field and model analyses. Field Crops Res. 15:143-156.
- Purcell, L.C., and J.E. Specht. 2004. Physiological traits for ameliorating water-deficit stress. In H.R. Boerma and J.E. Specht (ed.) Soybean: Improvement, production, and uses. 3rd ed. Agron. Monogr. 16. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
- Purcell, L.C., T.R. Sinclair, and R.W. McNew. 2003. Drought avoidance assessment fo summer annual crops using long-term weather data. 2003. Agron. J. 95: 1566-1576.
- Ritchie, J.T., 1972. Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. Water Resource Res., 8:1204-1213.
- Salado Navarro, L.R., T.R. Sinclair y Rafael Rodriguez. 2006. Simulaciones de Soja en Argentina. I. Variación Interanual del Rendimiento. MERCOSOJA. Rosario. Argentina. Junio 2006.
- Serraj, R.J., T.R. Sinclair, L.C. Purcell. 1999. Symbiotic N2 fixation response to drought. J. Exp. Botany. 50:143-155.
- Sinclair, T. R. 1986. Water and nitrogen limitations in soybean grain production. I. Model Development. Field Crops Res. 15:125-141.
- Sinclair, T.R., L.R. Salado Navarro, G. Salas, and L. Purcell. 2006. Soybean yields and soil water status in Argentina: Simulation Análisis. En revision por las Univ. of Florida and Arkansas.
- Sinclair, T.R., Salado-Navarro, L., Morandi, E.N., Bodrero, M.L., Martignone, R.A., 1992. Soybean yield in Argentina in response to weather variation among cropping seasons. Field Crops Res. 30, 1-11.