

## T6 - SIMULACIONES DE SOJA EN ARGENTINA. I. VARIACIÓN INTERANUAL DEL RENDIMIENTO

L. R. Salado Navarro \* (1); T.R. Sinclair (2); R. Rodríguez (3); M. Dilascio (4).

(1)\* Facultad de Agron. y Zoot., Univ. Nac. de Tucumán, Ada. Roca 1900. S.M. Tucumán, Argentina. Tel. 0381 4251915. [lsaladonavarro@yahoo.com.ar](mailto:lsaladonavarro@yahoo.com.ar) (2) University of Florida, U.S.A. (3) CNIA -INTA Castelar. Argentina. (4) Univ. Nac. de Tucumán.

**Palabras clave:** Soja - Rendimiento - Simulación - Modelo.

### INTRODUCCIÓN

Los cultivares actuales de ciclo corto y las técnicas de manejo como Siembra Directa (SD), y siembras de primavera, aumentaron la productividad y estabilidad de los rendimientos de soja en Argentina, en los últimos años. Sería interesante, conocer la variación interanual del rendimiento, en la región núcleo sojera de Argentina, a lo largo de las últimas décadas, en el caso que se hubieran usado siempre, estas nuevas tecnologías. Un modelo mecanístico de simulación relativamente simple, del cultivo de soja, permitió estudiar dicha variación a lo largo de tres décadas pasadas, para tres localidades representativas de la región.

Las variaciones interanuales del rendimiento, en cultivos de secano como la soja en Argentina, son hechos comunes que se repiten en las principales regiones productoras del mundo. Varios estudios estadísticos se realizaron para analizar la respuesta del rendimiento ante variables climáticas (Thompson, 1986; Hayes et al., 1999). Sin embargo, la dificultad de los mismos radica en que las variables climáticas interactúan entre sí y no indican que caracteres fisiológicos de los cultivos son los afectados por la variación climática.

Existe un modelo mecanístico de simulación del cultivo de soja, que predice el rendimiento y permite estudiar el crecimiento y desarrollo de la soja en función de la interacción de las variables climáticas, fundamentalmente la disponibilidad hídrica (Sinclair, 1986; Muchow y Sinclair, 1986; Sinclair et al. 2003). Con la primera versión (1986) de dicho modelo, se examinó la influencia de las precipitaciones en el rendimiento de la soja en Argentina (Sinclair et al. 1992). Este trabajo señaló la existencia de déficits hídricos que inhibieron el crecimiento y limitaron los rendimientos en todos los casos. Recientemente, se incorporaron al modelo funciones que permiten estimar el balance hídrico del suelo bajo SD, así como la fenología de las variedades de soja, más cultivadas en Argentina, de distintos ciclos (Sinclair et al. 2006). Con el mismo, se simuló los rendimientos de los ensayos de la RECSO de INTA en Marcos Juárez, para seis cultivares en cuatro ensayos. La mayor parte de la variabilidad del rendimiento de los ensayos fue explicada por las simulaciones  $R^2 = 0.86$  (Fig. 1).

El objetivo de este trabajo, fue analizar la variabilidad y magnitud de los rendimientos de soja a lo largo de treinta campañas agrícolas (1973/4 a 2002/3), en Marcos Juárez, Oliveros y Pergamino, mediante simulaciones seriadas de una variedad actual (DM 4800 RR), bajo SD en siembras del 20 de octubre, sobre rastrojo de soja.

### MATERIAL Y MÉTODOS

Se simuló el cultivar DM 4800 RR del grupo de madurez IV, por estar ampliamente adaptado y difundido en la región bajo estudio. Las simulaciones se hicieron utilizando la última versión del modelo, realizada por Sinclair et al. (2006), quienes usaron el cultivar citado, (Fig. 1). Las modificaciones incorporadas al modelo por dichos autores fueron:

A) **Fenología:** Se derivaron ecuaciones mediante regresiones para predecir los estadios R1 y R5 en función de la temperatura y de la duración del día, con la metodología descrita por Grim et al. (1993). La floración del cultivar DM 4800 RR, no mostró sensibilidad al fotoperiodo, por lo que se usó una regresión lineal en función de la temperatura. En cambio, la duración del periodo R1 a R5, no resultó sensible a la

temperatura, pero si respondió al fotoperíodo, por lo que se usó una regresión lineal para estimarla.

B) **Agua del suelo:** La estimación de la evaporación bajo SD, es difícil de cuantificar debido a la cantidad, tipo y color del rastrojo, entre otras características, las que modifican el albedo del suelo, su balance energético y temperatura (Jalota et al., 2000). Por lo tanto, se adoptó una simplificación asumiendo que bajo un rastrojo de soja, durante el periodo de barbecho y cultivo de todos los años estudiados, la evaporación fue un 70% de la que se registraría en un suelo desnudo. El contenido volumétrico de agua útil del suelo usado fue 0.16 de acuerdo a mediciones realizadas por Marelli (2002), para un suelo Argiudol típico, que sería representativo de las tres localidades estudiadas. Dardanelli et al. (2004), reportó tasas de extracción de agua por las raíces a más de dos metros, pero las mismas disminuyen en profundidad de acuerdo a la densidad de las raíces y varían con el cultivar usado. Para simplificar esta compleja interacción, se asumió que la tasa de extracción de agua por las raíces era uniforme, pudiendo llegar hasta una profundidad máxima de 1,40m.

Se debe destacar, que el modelo de simulación citado, asume que no existen limitantes de fertilidad del suelo. Por consiguiente, el análisis se focaliza en la influencia del clima y de la disponibilidad hídrica para el cultivo. Las simulaciones para cada localidad comenzaron el 20 de octubre de 1973, prosiguiendo en forma ininterrumpida hasta fin del 2003. En todos los años, la fecha de siembra fue el 20 de octubre. La cantidad de agua útil inicial en el perfil del suelo hasta un metro de profundidad, para el primer año, fue 125 mm para las tres localidades, de acuerdo a observaciones efectuadas por Marelli (2002) en Marcos Juárez. El modelo estimó el balance hídrico durante el periodo de cultivo en cada año. Una vez que en las simulaciones se alcanzaba la madurez fisiológica de la soja, el modelo proseguía estimando el balance hídrico durante el barbecho, hasta alcanzar nuevamente el 20 de octubre subsiguiente, cuando se simulaba la próxima siembra. En estas fechas de cada año, el agua inicial era la que correspondiera a la efectivamente estimada por el modelo.

## RESULTADOS

El rendimiento promedio estimado del periodo de treinta años bajo las condiciones simuladas en siembras del 20 de octubre, de soja sobre rastrojo de soja, en SD fue 4169, 4278 y 4064 kg/ha respectivamente, para las localidades de Marcos Juárez, Oliveros y Pergamino. Si bien estos promedios son similares, se registró una amplia variación interanual en cada localidad (Fig. 2). Oliveros tuvo una menor variabilidad en los rendimientos simulados, ya que la desviación estándar fue 999 kg/ha.

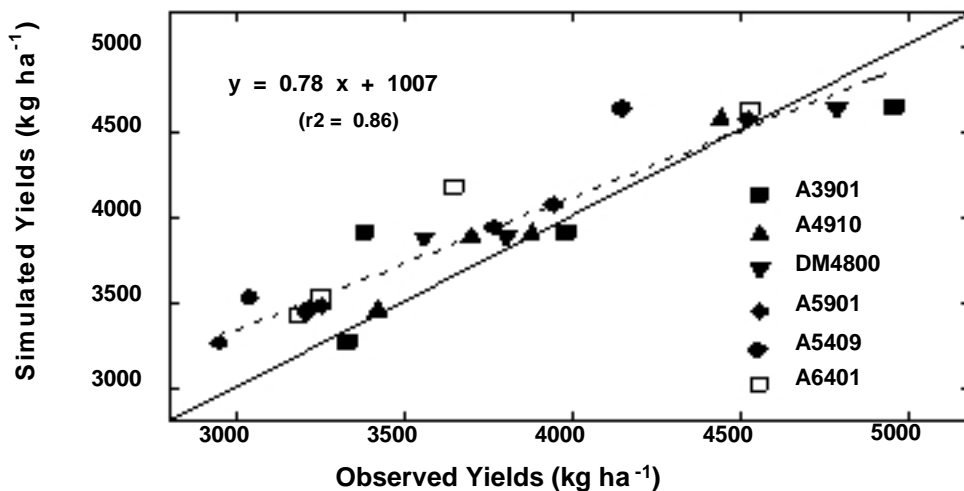


Fig. 1. Rendimientos simulados vs. observados de seis cultivares de soja en Marcos Juárez, durante la campaña 2001/2002. Reproducido de Sinclair et al. (2006).

Mientras que para Marcos Juárez y Pergamino fue de 1219 y 1241 kg/ha., respectivamente. En general, las tres localidades simuladas tuvieron rendimientos parecidos en los peores años. En cambio, en algunos años de altos rendimientos, existieron diferencias marcadas entre localidades. El análisis pormenorizado de los rangos de rendimientos simulados para las tres localidades a lo largo de tres décadas, muestra que solo en Marcos Juárez se superaron levemente los 60 q/ha. en dos oportunidades (Fig. 3). En Oliveros en ocho años se lograron rangos de rendimientos entre 50 y 55 q/ha, mientras que en Pergamino, los rendimientos simulados estuvieron en cuatro años en el rango de 55 a 60 q/ha. Los dos rangos menores de rendimiento fueron mas frecuentes en Marcos Juárez y Pergamino, respectivamente.

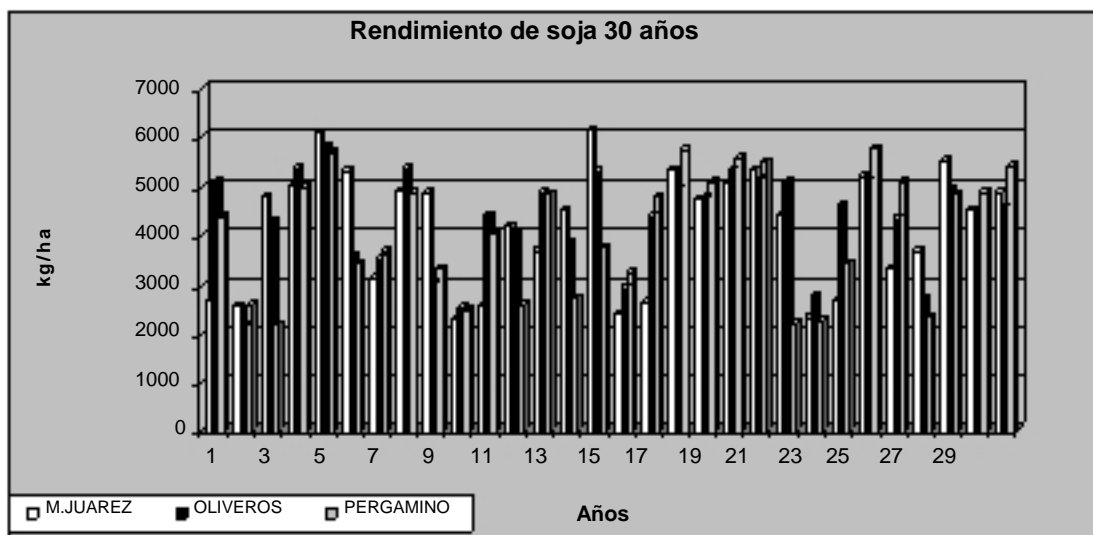


Fig. 2. Variación de los rendimientos simulados de soja del cultivar DM 4800 RR desde 1973/4 hasta 2002/3, en tres localidades de Argentina.

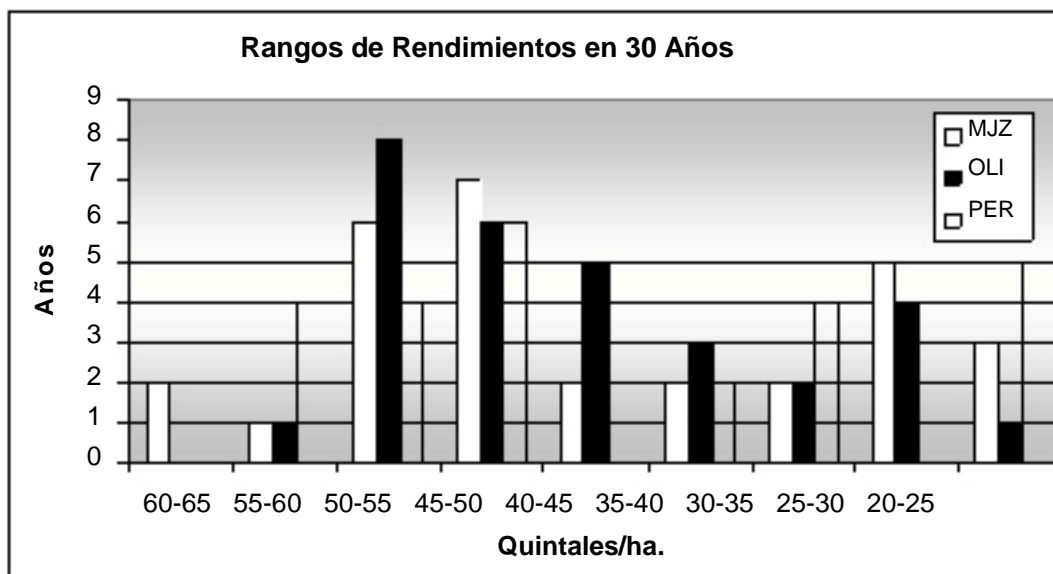


Fig. 3. Rangos de rendimientos simulados del cultivar de soja DM 4800 RR en Marcos Juárez, Oliveros y Pergamino, en las campañas 1973/74 a la 2002/03 inclusive.

En el lapso simulado de treinta campañas, las probabilidades de obtener rendimientos iguales o superiores a los 4500 kg/ha. fueron de un 50 % para las tres localidades estudiadas.

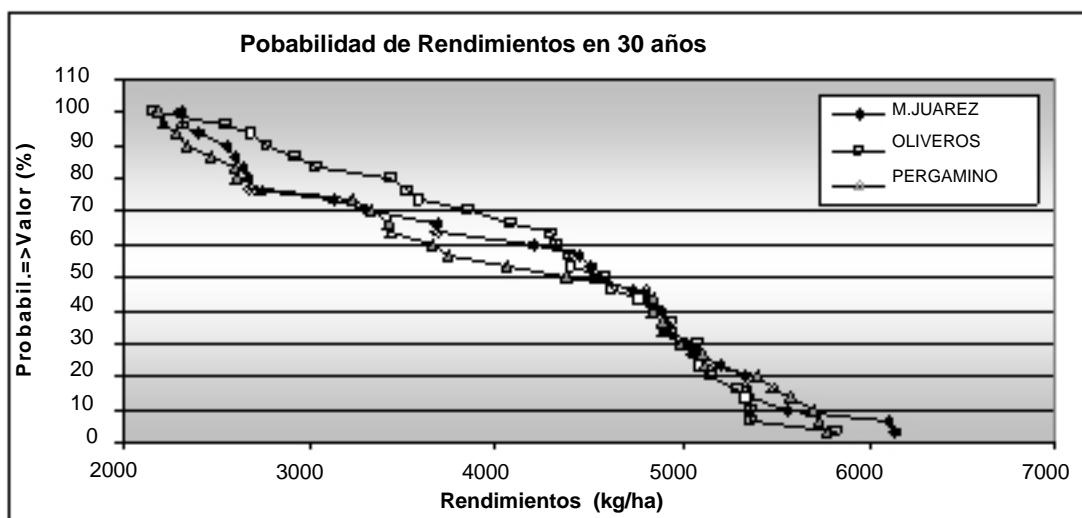


Fig. 4. Probabilidad de Rendimientos Simulados de Soja del cultivar DM 4800 RR, en 30 años y tres localidades de Argentina.

Se aprecia además en la Figura 4, que Oliveros fue la localidad donde la probabilidad de rendimientos más bajos resultó menor. Por ejemplo, el 80 % de los años los rendimientos en Oliveros fueron superiores a 3300 kg/ha, mientras que en Marcos Juárez y Pergamino solo en el 65% de los años se superó dicha cifra. Recíprocamente, en Oliveros solo el 20 % de los años tuvieron rendimientos inferiores a 3300 kg/ha. En cambio, en las otras dos localidades ese porcentaje fue del 35 %.

En conclusión, los rendimientos simulados con un modelo mecanístico del cultivo de soja para las últimas tres décadas, en tres localidades importantes de la región núcleo sojera de Argentina, tuvieron una gran variación interanual y una media anual ligeramente mayor de 40 q/ha. La mediana, es decir el rendimiento del 50 % de los años, fue de 45 q/ha. Este estudio se realizó, emulando técnicas modernas de manejo del cultivo, tales como: SD sobre un rastrojo de soja, el uso de un cultivar altamente productivo difundido en la región, de ciclo de madurez IV (DM 4800 RR), y siembras del 20 de octubre de cada año.

## BIBLIOGRAFIA

- Dardanelli, J.L., J.T. Ritchie, M. Calmon, J.M. Andriani, D.J. Collino. 2004. An empirical model for root water uptake. *Field Crops Res.* 87:59-71.
- Grimm, S.S., Jones, J.W., Boote, K.J., Hesketh, J.D., 1993. Parameter estimation for predicting flowering date in soybean cultivars. *Crop Sci.* 33, 137-144.
- Hayes, M.J., M.D. Svoboda, D.A. Wilhite, and o.V. Vanyarkho. 1999. Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. *Bull. Am. Meteorological Soc.* 80:429-538.
- Jalota, S.K., Arora, V.K., Singh, O., 2000. Development and evaluation of a soil water evaporation model to assess the effects of soil texture, tillage and crop residue management under field conditions. *Soil Use and Management.* 16, 194-199.
- Marelli, H.; Arce, J.; Masiero, B. 2002. Ensayos de larga duración de soja. (Ciclo 2001/2002). In: *SOJA Actualización 2002*. Baigorri, H.; Segura, L. Ed. Ediciones Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). p.B14-20.
- 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.
- 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 Analysis. En revision por las Univ. of Florida and Arkansas.
- Sinclair, T.R., Farias, J.R., Neumaier, N., and Nepomuceno, A.L., 2003. Modeling nitrogen accumulation and use by soybean. *Field Crops Res.* 81, 149-158.
- 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.
- Thompson, L.M. 1986. Climatic change, weather variability, and corn production. *Agron. J.* 78:649-653.