

## RELACIÓN ENTRE EL RENDIMIENTO DE LA SOJA Y LAS VARIABLES CLIMÁTICAS EN LA PAMPA HÚMEDA ARGENTINA

M. Laura BETTOLLI<sup>1</sup>, Olga C. PENALBA<sup>2</sup>, Walter M. VARGAS<sup>3</sup>

### Introducción

En los últimos tiempos, la soja se ha posicionado entre los cultivos más importantes de la Argentina. La demanda internacional de esta oleaginosa y las condiciones ambientales óptimas encontradas en la región pampeana argentina han sido los pilares para su crecimiento expansivo.

El clima, y su variabilidad, es uno de los factores decisivos en el rendimiento final del cultivo. En este sentido, la variabilidad interanual de los factores climáticos, como la temperatura y la precipitación, en combinación con otros factores, como los tecnológicos y económicos, se ven reflejados en la producción del cultivo. En este contexto, el objetivo de este trabajo es identificar las variables climáticas de mayor importancia en el rendimiento de la soja en la zona de mayor producción de este cultivo en Argentina. Asimismo, se trata de estimar un modelo estadístico que represente la influencia del factor climático en el rendimiento del cultivo, destinando los otros efectos a los residuos.

Entre los antecedentes bibliográficos sobre modelos regresivos en Argentina, se puede citar a MINETTI & LAMELAS (1995) quienes estudiaron la respuesta del rendimiento de la soja en Tucumán a la variabilidad climática mediante un método de regresión múltiple. Los autores encontraron que la precipitación regional de diciembre y la amplitud térmica media de San Miguel de Tucumán del mes de febrero son las variables más relacionadas con el rendimiento del cultivo. En escala estacional encontraron que en los meses de diciembre, enero y febrero es mayor la dependencia hídrica y en enero, febrero, marzo y abril, es mayor la dependencia de la disponibilidad de humedad del aire (húgrica). Por otro lado, CALVIÑO & SADRAS (1999) estudiaron la respuesta del rendimiento de la soja en la provincia de Buenos Aires a la interacción entre la lluvia, la profundidad del suelo y las prácticas de manejo, utilizando distintos tipos de ajustes. Los autores encontraron que existe una asociación positiva entre el rendimiento y la disponibilidad de agua en el suelo con ajustes no lineales. En Estados Unidos, ALEXANDROV & HOOGENBOOM (2001) han encontrado que los desvíos de precipitación de julio y agosto y los desvíos de temperatura máxima de septiembre en Georgia son las variables que mejor explican el rendimiento de la soja a través de un modelo de regresión stepwise. Mientras que, HUFF & NEILL (1982) han encontrado como variables más explicativas del rendimiento de la soja a la precipitación mensual y la temperatura media de julio y agosto con un ajuste lineal de la tendencia tecnológica, en una región del noreste de los Estados Unidos.

### Material y métodos

En este estudio, se trabajó con datos mensuales de precipitación, temperaturas máxima, mínima y amplitud térmica de 11 estaciones meteorológicas distribuidas en la región central de Argentina (Figura 1), procedentes del Servicio Meteorológico Nacional. Conjuntamente, se trabajó con las series de rendimiento de soja correspondientes a los 11 partidos o departamentos provinciales más cercanos a las estaciones meteorológicas, suministrados por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación de la Nación. El período analizado fue 1973/1974 a 1999/2000.

Los meses analizados fueron aquellos que se consideran dentro del ciclo promedio del cultivo (Noviembre a Mayo del año siguiente) incluyendo la pre-siembra (Octubre).

El hecho de utilizar, en este estudio, las variables meteorológicas precipitación, temperaturas y amplitud térmica (representando la humedad) y no las derivadas de ellas, como por ejemplo la disponibilidad hídrica en el suelo la evapotranspiración potencial, se basa en que el productor agropecuario dispone de ellas en forma inicial y directa. Por otro lado, en este estudio se evita introducir el error que trae aparejada la estimación de las variables derivadas.

Para todos los meses y en las 11 estaciones se analizó la existencia de tendencia lineal en las variables meteorológicas, la cual fue filtrada en aquellos casos en los que se hizo presente. La misma tarea se realizó con las series de rendimiento.

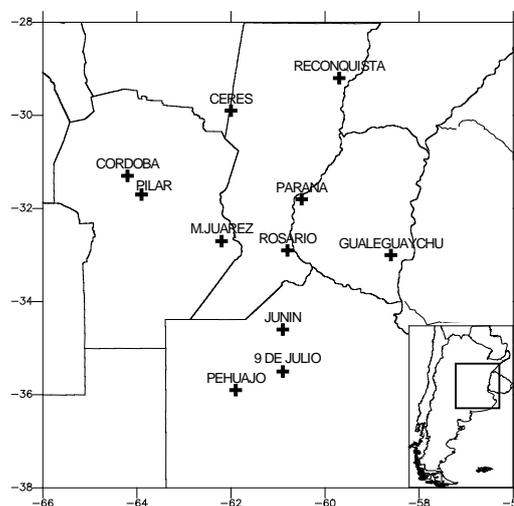


Figura 1. Ubicación de las estaciones meteorológicas utilizadas.

### Resultados y discusión

Como una primera exploración en la asociación entre las variables climáticas y el rendimiento se calcularon las matrices de correlación entre ellas para los 11 puntos considerados. En forma general, no se observa un patrón regional marcado de relación entre las variables aunque sí un patrón definido en los signos de la correlación (ya sea significativas o no) con las distintas variables a lo largo de los meses. Como ejemplo de este estudio, en la Tabla 1 se muestran las correlaciones significativas entre las variables climáticas y el rendimiento en tres localidades ubicadas en la región núcleo sojera (Marcos Juárez, Rosario y Junín). Dentro de las características más destacables se observa que el rendimiento presenta asociación positiva con la precipitación de noviembre a marzo en los puntos de la franja central de la región considerada. Mientras que, en abril y mayo esta asociación se vuelve indirecta, resultando significativa en estaciones de los extremos norte y sur de la región. Esto manifiesta que el exceso de precipitación en la época de maduración-cosecha produce un impacto negativo en el rendimiento final del cultivo (PASCALE et al., 1983) y que por lo tanto, la variable precipitación en sí resultaría un buen indicador del rendimiento resultante. La relación del rendimiento con

la temperatura máxima se manifiesta en forma negativa y no uniforme a lo largo de enero a abril en las distintas localidades de la región. Mientras que, la correlación con la temperatura mínima se destaca principalmente en los primeros meses en algunas localidades y en forma positiva. La asociación con la amplitud térmica es indirecta pero distribuida casi a lo largo de los distintos meses del ciclo según la localidad que se considere, manifestándose la dependencia del cultivo con la humedad.

**Tabla 1.** Correlaciones simples entre las variables meteorológicas y el rendimiento. Coeficientes de correlación significativos al 95% (\*) y 90% (\*\*).

Marcos Juárez								
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
PP	.22	.36*	.41**	.25	.41**	.23	-.07	-.22
Tmax	.03	-.15	-.07	-.50**	-.36*	-.21	-.44**	-.12
Tmin	.32	.32	.36*	-.06	.09	.15	-.15	-.33*
DT	-.23	-.37*	-.37*	-.63**	-.44**	-.39**	-.21	.27

Rosario								
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
PP	.30	.55**	.55**	.28	.09	.37*	-.15	-.17
Tmax	.06	-.33	-.29	-.65**	-.35*	.00	-.55**	.05
Tmin	.49**	.28	.20	-.30	.06	.29	-.24	-.30
DT	-.39*	-.45**	-.46**	-.49**	-.33*	-.34*	-.13	.42**

Junín								
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
PP	.25	.51**	.22	.22	.13	.19	-.34*	-.27
Tmax	.30	.15	-.28	-.19	-.13	-.41**	-.36*	-.01
Tmin	.59**	.51**	.20	-.08	.28	.04	-.08	-.17
DT	-.23	-.24	-.40**	-.12	-.34*	-.49**	-.20	.18

Con el fin de estimar el efecto conjunto de las distintas variables climáticas se utilizó un modelo de regresión múltiple setpwise (DRAPER & SMITH, 1981). Este modelo estadístico selecciona las variables predictoras de acuerdo a su orden de importancia y sólo si producen una contribución significativa a la varianza explicada por la regresión. Debido a que el método depende del número de variables de entrada y de la longitud de las series en cuestión, se realizaron distintos ajustes con diferentes grupos de variables de entrada a fin de analizar las respuestas del modelo.

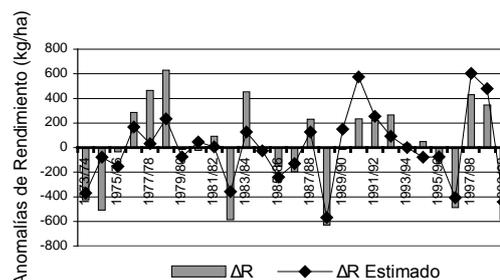
En la ecuación (1) se muestran los resultados obtenidos correspondientes a Rosario. De los distintos ajustes realizados al rendimiento, se fueron seleccionando las variables o la combinación de las mismas, que más varianza del rendimiento explicaban. Luego, se realizó un ajuste final utilizando como variables de entrada las que resultaron seleccionadas. El modelo de regresión resultante es:

$$\Delta R = -0.77 - 81.4\Delta T_{max1} + 2.1\Delta PP_{11} - 97.4\Delta T_{max4} + 1.5\Delta PP_{12} \quad (1)$$

Donde,  $\Delta R$  es el desvío del rendimiento con respecto a la línea de tendencia,  $\Delta T_{max1}$  y  $\Delta T_{max4}$  son las anomalías de temperatura máxima de enero y abril respectivamente, y  $\Delta PP_{11}$  y  $\Delta PP_{12}$  son los desvíos de los totales de precipitación de noviembre y diciembre respectivamente. En la Figura 2 se observan las anomalías de los rendimientos observados y estimados por la ecuación (1), la cual explica un 68% de la varianza del rendimiento, con la propiedad que las variabilidades de los rendimientos observados y estimados, a partir de este modelo, están en fase.

En este caso se observa que el rendimiento es función de la precipitación en los meses de noviembre y diciembre y de la temperatura máxima de enero, la cual representa en forma implícita a la precipitación del mismo mes debido a la asociación significativa entre

ambas. Este resultado indica la fuerte dependencia del rendimiento a la disponibilidad hídrica, determinada principalmente por la precipitación y la temperatura.



**Figura 2.** Series temporales de las anomalías de rendimiento observadas en Rosario (barras) y de las anomalías de rendimiento estimadas (línea) con el modelo de regresión.

La presencia de la temperatura máxima del mes de abril está relacionada con el hecho de que la misma presenta una asociación importante con la temperatura máxima en el mes de febrero y la humedad en el mes de marzo.

La asociación indirecta entre el rendimiento y la temperatura máxima de enero y la temperatura máxima de febrero (através de  $T_{max4}$ ) representada apropiadamente en la ecuación, describe el hecho de que en esos meses la planta de soja es muy sensible a las altas temperaturas (PALMER et al., 1995).

En las otras localidades analizadas, la combinación de variables predictoras del rendimiento fue distinta. Esto indica que el rendimiento responde en forma diferenciada a la variabilidad propia de los factores climáticos en escalas locales.

#### Referencias bibliográficas

- ALEXANDROV, V. A.; HOOGENBOOM G. Climate variation and crop production in Georgia, USA, during the twentieth century. *Clim Res*, v. 17, p.33-43, 2001.
- CALVIÑO, P. A.; SADRAS, V. O. Interannual variation in soybean yield: interaction among rainfall, soil depth and crop management. *Field Crops Research*, v.63, p.237-246, 1999.
- DRAPER, N. R.; SMITH, H. *Applied Regression Analysis*. 2º ed. New York: John Wiley & Sons, 1981. Cap6: Selecting the best regression equation. P.294-312.
- HUFF, F. A.; NEILL, J. C. Effects of natural climatic fluctuations on the temporal and spatial variation in crop yields. *J. Appl. Meteor.*, v.21, p.540-550, 1982.
- MINETTI, J. L.; LAMELAS, C. M. Respuesta regional de la soja en Tucumán a la variabilidad climática. Actas Primer Congreso Nacional de Soja. Segunda Reunión Nacional de Oleaginosos. Octubre 1995, Pergamino, Argentina. p.66-72.
- PALMER, J.; DUNPHY, E. J.; REESE, P. Managing Drought-Stressed Soybeans in the Southeast. North Carolina Cooperative Extension Service. *North Carolina State University*, 1995.
- PASCALE, A. J.; MIACZYNSKI, C. R. O.; RODRÍGUEZ, R. O.; TRIGO, E. R.. Actas VIII Reunión Técnica Nacional de Soja. Septiembre de 1983, Tucumán, Argentina. p.B1-B19.

#### Agradecimientos

Este trabajo de investigación fue solventado por los subsidios: Universidad de Buenos Aires 01X/102, AGENCIA BID 1201/OC-AR PICT 99 N° 07-06921, Proyecto IAI CRN 055.