

¿Cómo integramos la soja en los sistemas productivos?



Avances y perspectivas en Entre Ríos

¿Cómo integramos la soja en los sistemas productivos?

Avances y perspectivas en Entre Ríos



Ministerio de Agricultura,
Ganadería y Pesca
Presidencia de la Nación

Estación Experimental Agropecuaria Paraná del INTA
Centro Regional Entre Ríos del INTA
Septiembre 2021

¿Cómo integramos la soja en los sistemas productivos? Avances y perspectivas en
Entre Ríos
ISSN 0325 – 8874 - Serie de Extensión INTA Paraná - N°88 - Año 2021

Este documento es resultado del financiamiento otorgado por el Estado Nacional, por lo tanto,
queda sujeto al cumplimiento de la Ley N° 26.899.

© 2021, INTA Estación Experimental Agropecuaria Paraná
Todos los derechos reservados

ISSN 0325 – 8874

Serie de Extensión INTA Paraná - N°88 - Año 2021

**¿Cómo integramos la soja en los sistemas productivos?
Avances y perspectivas en Entre Ríos**

Editor

Estación Experimental Agropecuaria Paraná del INTA

Director

Ing. Agr. Rubén Isaurralde, MSc.

Editor

Ing. Agr. Diego Santos, MSc.

Compaginación y diseño

Lic. Bernardita Zeballos, MSc.

Comité Editorial

Comisión Asesora de Publicaciones de la EEA Paraná

Lic. Noelia Cecilia CALAMARI, Dra.
Ing. Agr. Leonardo COLL, MSc.
Ing. Agr. Alejandra CUATRIN
Lic. Marcela Elsa ESPÓSITO, MSc.
Ing. Agr. Maricel Andrea GALLARDO, Dra.
Ing. Agr. Walter Daniel KUTTEL
Ing. Agr. Sergio Luis LASSAGA, Dr.
Ing. Agr. Lucrecia Cristina LEZANA, MSc.
Ing. Agr. Gabriela María LITWIN, MSc.
Ing. Agr. Ernesto MASSA, MSc.
Ing. Agr. Oscar Rodolfo VALENTINUZ, Dr.
Ing. Agr. Pablo VELAZQUEZ, Dr.
Ing. Agr. Ignacio Gabriel VICENTIN, MSc.
Ing. Agr. Ana Beatriz WINGEYER, Dra.
Ing. Agr. Natalia WOUTERLOOD, MSc.

Sede Editorial

EEA INTA Paraná- Ruta 11 km 12,5, Oro Verde, Entre Ríos

Índice

Cultivares de soja: potencial y estabilidad de rendimiento en Entre Ríos y Corrientes. Actualización 2021	5
<i>Santos D.J., Arias N.M., Pereira M.M., Figueroa E, De Battista J.J.</i>	
Variabilidad espacio-temporal del número de plantas y su efecto sobre el rendimiento de soja	11
<i>Pereyra M.V., Maltese N., Appelhans S.C., Melchiori R.J.M.</i>	
Fertilización de soja en el Centro Oeste de Entre Ríos	17
<i>Pautasso J.M., Melchiori R. y Barbagelata P.</i>	
Bioestimulantes en el cultivo de soja: ¿verdad o mito?	22
<i>Pautasso J. M.</i>	
Manchas causadas por <i>Cercospora kikuchii</i> en vainas verdes de soja: importancia de un diagnóstico correcto para definir el destino de los granos	28
<i>Formento A.N.</i>	
Productividad de soja de segunda y comunidades de malezas en sistemas de intensificación sustentable y de transición ecológica	34
<i>Sangoy Puntin N., Poggio S.L. y Coll L.</i>	
Módulo Agroecológico de rotación agrícola extensiva. Resultados del cultivo de soja	41
<i>Rodriguez H., Rampoldi A., Oronel E.</i>	
¿Se puede hacer soja, maíz y trigo en labranza convencional con el incremento de las lluvias en el departamento La Paz?	45
<i>Manfredini G.M y Gvozdenovich J.J.</i>	

Cultivares de soja: potencial y estabilidad de rendimiento en Entre Ríos y Corrientes. Actualización 2021

Santos D.J.1, Arias N.M.5, Pereira M.M.2, Figueroa E.3, De Battista J.J.4
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)
1Estación Experimental Agropecuaria Paraná, Departamento Producción
2Estación Experimental Agropecuaria Corrientes
3Estación Experimental Agropecuaria Mercedes
4Estación Experimental Agropecuaria Concepción del Uruguay
5Actividad Privada

El área sembrada con soja entre los ciclos agrícolas 2017/18 a 2019/20 fue leve y progresivamente decreciente en Argentina, con 17,3, 17,0 y 16,9 millones de hectáreas. Los rendimientos, sujetos fuertemente a la condición hídrica en la gran superficie bajo secano, fueron 23, 33 y 29 q ha⁻¹, respectivamente.

En Entre Ríos 1,30, 1,18 y 1,16 millones de hectáreas se sembraron en esos tres ciclos agrícolas sucesivos, con rendimientos variables entre sí, de 12, 28 y 22 q ha⁻¹, respectivamente. En ambos distritos, nación y provincia, se observó una misma tendencia: aumentó progresivamente el porcentaje de soja de segunda; en Entre Ríos, el mismo fue 28, 37 y 39 % del área sojera en 2017/18, 18/19 y 19/20, respectivamente.

En Corrientes, en dichas campañas, se sembraron 2000, 5190 y 5190 ha en las campañas 2017/18, 2018/19 y 2019/20, respectivamente; en ese orden, los rendimientos fueron 20, 26 y 25 q ha⁻¹; y, recién en la última de esas campañas, se sembró soja de segunda (14% de la superficie total).

El **rendimiento potencial (RP)** de un cultivo en un ambiente se obtiene cuando al cultivar con mayor potencial de rendimiento se lo maneja de tal manera que le permita i) utilizar al máximo los recursos de dicho ambiente, ii) minimizar las limitaciones de agua y/o nutrientes y iii) neutralizar la incidencia de plagas, enfermedades, malezas, vuelco y otras limitantes. Apuntar al rendimiento potencial en un ambiente implica entonces a) encontrar el cultivar con máximo potencial de rendimiento y b) darle un manejo que lo conduzca a expresarlo. Cuando en una región se cultiva predominantemente en secano, se puede definir entonces, un nivel inferior a RP, que admita limitaciones de agua: el **rendimiento potencial en secano (RPs)**.

Tanto RP como RPs son dinámicos:

- cambian *en el espacio*: para un mismo cultivo y cultivar, en una misma campaña, distintas localidades determinan diferentes RP y RPs;

- y cambian *en el tiempo*: en una misma localidad, entre campañas, tanto pequeños cambios de mediano y largo plazo en la temperatura, radiación incidente y concentración de CO₂, como avances del mejoramiento, provocarán cambios en aquellos niveles teóricos.

El **rendimiento potencial de un cultivo** y el **potencial de rendimiento de un cultivar** son dos caras de la misma moneda: un mayor rendimiento en de un genotipo nuevo, repercute aumentando el rendimiento del cultivo en su conjunto. Nuevos *cultivares, con mayor potencial de rendimiento*, “empujan al techo” del *rendimiento potencial del cultivo*.

Manejo y mejoramiento interactúan para el crecimiento de la productividad. Varios trabajos dan cuenta de la parte del progreso de rendimiento que es atribuible al mejoramiento en soja en Argentina, la ganancia genética: esta disciplina es responsable de hasta un 60 % del progreso de rendimiento (Santos *et al.*, 2006 y 2017; Santos, 2019).

Como fruto del mejoramiento, cada año se inscriben numerosos cultivares de soja. Para su evaluación, se utilizan ensayos comparativos de rendimiento (ECR) en red. Éstos, por ser *comparativos*, permiten conocer el **potencial de rendimiento** en secano de los cultivares y establecer un ranking; y, al conducirse *en red*, habilitan la estimación de su **estabilidad del rendimiento** entre ambientes.

El grupo de ECR más importante en nuestro país es la Red de Ensayos Comparativos de Rendimiento de Soja (RECSO) conducida por INTA en convenio con la ASA. Durante el ciclo agrícola 2020/21 el 34 % de los cultivares testeados lo fueron por primera vez.

La elección de cultivares se basa habitualmente en su *disponibilidad comercial* y *potencial de rendimiento* (tablas RECSO); quien va a sembrar, sabiendo qué materiales traerá su proveedor habitual, consulta los resultados de la red de ECR viendo qué cultivar de los disponibles rindió más, especialmente en la localidad de esa red más cercana a su lugar de siembra.

Desde las EEAs Corrientes, Mercedes, Concepción del Uruguay y Paraná del INTA se estima y propone, como herramienta de elección, un tercer criterio: la *estabilidad del rendimiento*. A partir de muchos datos de la RECSO, y en base a metodología estadística ya clásica (Finlay y Wilkinson 1963), se generó un índice de estabilidad, sencillo y fácil de comprender (Santos *et al.*, 2005, 2011).

¿Cómo se realizó la experiencia?

Cada ensayo de la RECSO está constituido por un conjunto de cultivares de un mismo grupo de madurez (GM) sembradas en un mismo ambiente. En los cinco ciclos agrícolas analizados (2016/17 a 2020/21), los ambientes fueron 37, en las localidades de Corrientes, Mercedes, Yuquerí, San Salvador, Herrera, General Almada, Paraná, Crespo y Victoria. En Paraná se contó con dos ambientes por campaña, replicando los ensayos de GM 4 Largo o más, en una fecha tardía. A partir de esta base, se trabajó con 3073 promedios de rendimiento de 245 cultivares agrupadas en los grupos de madurez 3 Largo a 8.

Como en publicaciones anteriores, se estimó el potencial y la estabilidad de rendimiento para cada cultivar.

El **potencial** promedio fue obtenido al promediar todos los rendimientos absolutos y relativos a la media del ensayo, que cada cultivar “traía” de los ensayos donde participó.

La **estabilidad** se estimó a partir de la “pendiente b” de la recta que, para cada cultivar, relacionó los rendimientos obtenidos en los distintos ambientes y el rendimiento promedio de esos ambientes.

Las pendientes “b” suelen oscilar entre 0,7 y 1,3, aunque, en la mayoría de los casos son no diferentes a 1 (cultivares de rendimiento **estable**). Si bien a los materiales cuya pendiente estimada se acerca a los extremos 0,7 o 1,3 se los considera de rendimiento **inestable**, es más adecuado denominarlos cultivares “con adaptación específica”. Si la pendiente es menor a 1, son adaptados a ambientes de menor calidad, usualmente con menor oferta hídrica (ejemplo año Niña), mientras que los de pendiente mayor a 1, pueden ser recomendados para ambientes opuestos: suelos profundos, barbechos con gran recarga hídrica, año Niño o en sistemas bajo riego.

En esta publicación se presentan solo los cultivares que mostraron potencial de rendimiento de mediano a alto: rendimientos relativos promedio > a 102%; éste índice figura como rendimiento Rel (%).

Los cultivares seleccionados, agrupados previamente en cuatro grandes grupos (precoces, semi precoces, semitardíos y tardíos) se presentan, a su vez, en orden creciente de “pendiente b”. Esto figura como [Valor](#).

¿Qué resultados se obtuvieron?

Los rendimientos promedio (o índice ambiental IA) oscilaron entre extremos de 4818 y 805 kg/ha, según el ambiente y el GM considerado. Los rendimientos mayores a los 45 q ha⁻¹ se observaron en las campañas 2016/17, con los GM 7C y 7L_8 en Villa Mantero y el GM 6 en General Almada; y durante la campaña 2018/19, con los GM 3L, 4C y 6 en Villa Mantero y el GM 5L en General Almada y en Victoria.

A su vez, los ensayos con rendimientos entre 10 y 8 q ha⁻¹ se registraron en su totalidad, durante la campaña 2017/18: el GM 5L en Paraná, fechas temprana y tardía; los GM 4C, 4L, 5C y 7L_8 en Villa Mantero; y los GM 5C y 6 en San Salvador.

Tabla 1. Cultivares precoces testeados en ensayos RECSO entre 2016/17 y 2020/21, su grupo de madurez (GM), la cantidad de ambientes donde participaron (N), su rendimiento promedio absoluto (Abs) y relativo a la media del GM (Rel) y el valor como la diferenciación respecto a 1 de su coeficiente de estabilidad (b)

Cultivar	Semillero	GM	N	Rendimiento medio	Coeficiente b
----------	-----------	----	---	-------------------	---------------

				Abs.	Rel.	Valor	¿dif con 1?
MS 44IPROSTS	Macroseed	4C	4	3833,7	110,3	0,595	ns
DM 3815IPROSTS	GDM	3L	9	3083,9	107,0	0,997	ns
37MS01	Macroseed	3L	9	3274,4	105,8	1,008	ns
SY 3X7RR	Syngenta	3L	9	3012,9	103,6	1,017	ns
RA 3916	Santa Rosa	3L	6	3275,8	103,6	1,019	ns
NS 4309	Nidera	4C	17	2972,0	103,8	1,037	ns
MS 40IPRO	Macroseed	4C	4	3759,1	107,5	1,058	0,085
AW 3806IPRO	Bayer	3L	8	2689,2	105,4	1,072	ns
AW 4326IPRO	Bayer	4C	13	3024,5	105,7	1,115	0,028
SRM 4222	Sursem	4C	4	3568,4	101,9	1,120	ns
NS 4089	Nidera	4C	4	1778,1	106,7	1,123	ns

Tabla 2 Cultivares semiprecoces testeados en ensayos RECSO entre 2016/17 y 2020/21, su grupo de madurez (GM), la cantidad de ambientes donde participaron (N), su rendimiento promedio absoluto (Abs) y relativo a la media del GM (Rel) y el valor como la diferenciación respecto a 1 de su coeficiente de estabilidad (b)

Cultivar	Semillero	GM	N	Rendimiento medio		Coeficiente b	
				Abs	Rel	Valor	¿dif con 1?
4x5 SYNRR	Syngenta	4L	5	2761,3	106,3	0,755	0,020
DM 46i20IPROSTS	GDM	4L	10	2727,7	108,8	0,822	0,101
LG 5365STS	Limagrain	5C	10	2740,9	104,0	0,892	ns
BIOCERES 451	Bioceres	4L	26	2721,7	101,5	0,899	0,074
NS 5030 IPROSTS	Nidera	5C	9	2627,4	102,3	0,906	ns
DM 52R19	GDM	5C	10	2702,9	102,4	0,908	ns
CZ 4721STS	Basf	4L	5	2707,5	103,2	0,932	ns
CZ 5407IPRO	Basf	5C	22	2891,9	112,2	0,936	ns
NS 5421STS	Nidera	5C	5	2945,8	102,9	0,945	ns
NS 4619IPROSTS	Nidera	4L	16	2884,5	101,6	0,955	ns
DM 50i17IPROSTS	GDM	5C	29	2924,0	105,1	0,956	ns
IS 520RR1STS	Illinois	5C	10	2822,4	106,9	0,964	ns
DM 5351RSF	GDM	5C	19	2939,4	101,8	0,972	ns
ACA 5350GR	ACA	5C	19	2929,0	101,9	0,988	ns
BIOCERES 521	Bioceres	5C	22	2579,3	102,4	0,990	ns
HS 50140	Seedcorp Horus	5C	6	3624,5	109,0	0,992	ns
CZ 4505STS	Basf	4L	20	2846,0	102,5	1,008	ns
AW 4736IPRO	Bayer	4L	21	2834,9	103,5	1,009	ns
BIOCERES 491	Bioceres	4L	26	2861,6	105,4	1,011	ns
VT 4994	Dolinkue	4L	20	2995,3	108,0	1,014	ns
NK 52x21STS	Syngenta	5C	5	3118,6	108,8	1,017	ns
LG 4735STS	Limagrain	4L	5	2872,5	108,9	1,020	ns
NS 5419IPRO	Nidera	5C	19	2963,0	102,6	1,023	ns
CZ 497	Basf	4L	22	2871,2	107,1	1,027	ns
AW 4927IPRO	Bayer	4L	16	2760,5	109,4	1,031	ns

DM 46i17IPRO	GDM	4L	22	2800,4	103,7	1,037	<i>ns</i>
SY 4X9RR	Syngenta	4L	20	2913,9	104,4	1,072	<i>ns</i>
SY 5X1RR	Syngenta	5C	29	2916,6	102,8	1,077	<i>0,088</i>
CZ 4918	Basf	4L	11	3340,6	106,0	1,083	<i>ns</i>
DM 53i53IPRO	GDM	5C	29	2946,5	103,4	1,087	<i>ns</i>
ACA 5020IPRO	ACA	5C	23	2785,9	102,8	1,093	<i>0,049</i>
49X20 IPROSTS	Syngenta	4L	9	2613,7	105,4	1,096	<i>ns</i>
53MS01 IPRO	Macroseed	5C	24	3172,5	113,3	1,098	<i>0,063</i>
DM 4915IPROSTS	GDM	4L	5	3616,3	107,8	1,147	<i>ns</i>
AW 4610IPRO	Bayer	4L	5	2814,2	105,1	1,166	<i>ns</i>

Tabla 3. Cultivares semitardíos testados en ensayos RECSO entre 2016/17 y 2020/21, su grupo de madurez (GM), la cantidad de ambientes donde participaron (N), su rendimiento promedio absoluto (Abs) y relativo a la media del GM (Rel) y el valor como la diferenciación respecto a 1 de su coeficiente de estabilidad (b).

Cultivar	Semillero	GM	N	Rendimiento medio		Coeficiente b	
				Abs	Rel	Valor	¿dif con 1?
DM 6563RSFIPRO	GDM	6_	5	3682,1	103,2	0,758	<i>0,096</i>
DM 55R20STS	GDM	5L	14	2584,3	101,5	0,789	<i>ns</i>
SY 6X8IPRO	Syngenta	6_	32	2835,2	101,8	0,875	<i>0,033</i>
CZ 5905IPROSTS	Basf	5L	7	3308,7	102,0	0,923	<i>ns</i>
BIOCERES 591	Bioceres	5L	6	1577,2	109,1	0,940	<i>ns</i>
DM 5958RSFIPRO	GDM	5L	22	3031,0	106,8	0,941	<i>ns</i>
LG 6124STS	Limagrain	6_	11	2087,3	105,9	0,944	<i>ns</i>
NS 6538IPRO	Nidera	6_	15	3012,7	109,1	0,961	<i>ns</i>
DM 68i	GDM	6_	25	2859,9	101,6	0,962	<i>ns</i>
CZ 5907IPRO	Basf	5L	29	2678,6	102,8	0,973	<i>ns</i>
DM 66R69STS	GDM	6_	23	2888,4	102,1	0,975	<i>ns</i>
SYN 1561IPRO	Syngenta	5L	29	2648,1	106,8	0,982	<i>ns</i>
NS 6859IPRO	Nidera	6_	24	2881,1	104,0	0,985	<i>ns</i>
CZ 6205	Basf	6_	14	3484,3	102,4	1,000	<i>ns</i>
NS 6909IPRO	Nidera	6_	5	3846,5	105,2	1,004	<i>ns</i>
DM 62R63STS	GDM	6_	32	2903,1	104,6	1,010	<i>ns</i>
DM 67i70RSFIPRO	GDM	6_	25	2785,6	103,4	1,012	<i>ns</i>
SRM 5835IPRO	Sursem	5L	21	2932,3	102,3	1,015	<i>ns</i>
DM 63i64IPROSTS	GDM	6_	31	2939,1	103,1	1,027	<i>ns</i>
59MS01 IPROSTS	Macroseed	5L	29	2833,3	101,5	1,028	<i>ns</i>
NS 6721IPROSTS	Nidera	6_L	7	2921,4	105,8	1,037	<i>ns</i>
MS 69IPRO	Macroseed	6_	24	2985,8	106,6	1,046	<i>ns</i>
BIOCERES 592	Bioceres	6_	27	2865,5	102,4	1,055	<i>ns</i>
Ho 6620IPRO	Seedcorp Horus	6_	18	3316,0	107,6	1,060	<i>ns</i>
RA 5715IPRO	Santa Rosa	5L	28	2893,9	101,8	1,071	<i>0,071</i>
NS 6483	Nidera	6_	24	3045,0	104,1	1,077	<i>0,165</i>
DM 60i62IPRO	GDM	6_	32	3106,3	112,3	1,078	<i>0,096</i>

MS 63IPRO	Macroseed	6_	25	2909,8	102,9	1,082	<i>0,117</i>
ACA 6720IPROTS	ACA	6_L	7	2847,9	102,7	1,092	<i>ns</i>
6211 IPRO	Bayer	6_	25	2903,6	103,3	1,094	<i>0,019</i>
NS 6120IPRO	Nidera	6_C	7	2877,4	102,0	1,095	<i>ns</i>
AW 6320IPRO	Bayer	6_C	7	3071,9	109,9	1,095	<i>ns</i>
Ho 59136IPRO	Seedcorp Horus	5L	29	2959,7	110,8	1,109	<i>0,126</i>
66MS01	Macroseed	6_L	14	2605,2	102,1	1,129	<i>0,138</i>

Tabla 4. Cultivares tardíos testeados en ensayos RECSO entre 2016/17 y 2020/21, su grupo de madurez (GM), la cantidad de ambientes donde participaron (N), su rendimiento promedio absoluto (Abs) y relativo a la media del GM (Rel) y el valor como la diferenciación respecto a 1 de su coeficiente de estabilidad (b)

Cultivar	Semillero	GM	N	Rendimiento medio		Coeficiente b	
				Abs	Rel	Valor	¿dif con 1?
CZ 7521IPRO	Basf	7_8	6	3363,4	110,7	1,003	<i>ns</i>
CZ 7905IPRO	Basf	7L_8	22	2950,1	104,5	1,012	<i>ns</i>
RA 750	Santa Rosa	7C	10	3011,4	103,5	1,077	<i>ns</i>
DM 75i75IPRO	GDM	7_8	18	3068,3	108,0	1,084	<i>ns</i>
NS 7809	Nidera	7L_8	11	3093,7	102,4	1,091	<i>ns</i>
DM 8473RSF	GDM	7L_8	22	2956,1	102,5	1,166	<i>0,016</i>
ACA 7890IPRO	ACA	7L_8	19	2966,9	106,8	1,237	<i>0,016</i>

En síntesis...

La mayoría de los cultivares comerciales se manifestaron como estables (b no diferente de 1), aunque existen cultivares adaptados a situaciones de baja y alta oferta ambiental. En una misma localidad, o incluso región, la época del año en que caen los periodos críticos de cada sub grupo de madurez, enmarca los alcances de esta discriminación entre estables/adaptados a ambientes de alta y baja oferta ambiental. Por lo cual, aplicar este marco conceptual a los GM IV es muy diferente al de los GM VI y a lo de los GM VIII y quizás solo sea especialmente útil con el GM central de una localidad.

Aun así, el uso de un índice sencillo de estabilidad, como el propuesto, acompañado del potencial de rendimiento, es una herramienta útil para la elección de cultivares.

Agradecimiento

La RECSO se enmarca en la Red RIST I 226 del INTA PNCYO.

Para seguir leyendo...

EVANS L.T. and R.A. FISCHER.1999. Yield Potential: Its Definition, Measurement, and Significance. Crop Science 39(6):1544-1551.

FINLAY K.W. y G.N. WILKINSON. 1963. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. Aust. J. Agric. Res. 14:742-754.

SANTOS D.J., GEAR N. y A.J. de la VEGA. 2017. Soybean genetic gain in Argentina between 1985 and 2014. En Abstracts: X World Soybean Research Conference, Georgia, USA, Sept 2017. LOOMIS, R.S. y D.J. CONNOR 1992. Crop Ecology. Productivity and Management in Agricultural Systems: Cambridge University Press 1992.527 p.

- SANTOS D.J., ARIAS N. y R. VICENTINI. 2005. Rendimiento y estabilidad de variedades comerciales de soja en Entre Ríos. Período 2001-05. INTA EEA Paraná. Actualización técnica – Soja. Serie Extensión N° 34:21-33.
- SANTOS D.J., ARIAS N., FIGUEROA E. y H.F. PELTZER. 2011. Potencial y estabilidad del rendimiento en soja: dos herramientas para la elección del cultivar a sembrar. INTA EEA Paraná. Actualización Técnica Soja. Serie Extensión N° 62:28-36. ISSN 0325 – 8874.
- SANTOS DJ, FERRARI B., FRESOLI D., BERET P., BENAVIDEZ R., VICENTINI R., DELLA MAGDALENA M., MONDINO M., SALAS G., LUSTIG S., ANTONGIOVANI M., DEVANI, M. LIZONDO M., ERAZZU L., SALINES L., BAIGORRI H., NARI C., ROSSI R., DOLINKUE J., WRIGHT R., CURTI L., SANMARTIN O. y A.J. DE LA VEGA. 2006. Ganancia genética en Soja en Argentina entre 1980 y 2000. *En: Actas de Mercosoja 2006, 26 al 30 de junio, Rosario, Argentina-* p. 196-200.

Para más información:

Diego J Santos, santos.diego@inta.gob.ar

Variabilidad espacio-temporal del número de plantas y su efecto sobre el rendimiento de soja

Pereyra M.V.2, Maltese N.1, 2, Appelhans S.C.1,2, Melchiori R.J.M.1
1 Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)
Estación Experimental Agropecuaria Paraná
Departamento Producción
2 FCA UNER - CONICET.

Introducción

La soja es un cultivo con gran plasticidad vegetativa y reproductiva (Vega et al., 2000), y alta estabilidad en el rendimiento, dada las características de su floración e intensidad de ramificación (Sadras, 1998).

Existen numerosos estudios sobre los efectos del espaciamiento y la densidad de plantas en el rendimiento y sus componentes ecofisiológicos (Melchiori y Peltzer, 2001). Sin embargo, otros aspectos como la falta de uniformidad en el número de plantas por unidad de superficie, definidas como variabilidad espacial y temporal (Andrade y Abbate, 2005), y su efecto sobre el rendimiento, ha recibido muy poca atención.

Estudios sobre la calidad de implantación y su efecto sobre la variabilidad espacio-temporal en el número de plantas, son relevantes para promover el uso de semilla de alta calidad con tratamientos especiales, o útiles ante el surgimiento de normas regulatorias del mercado de semillas para proteger eventos biotecnológicos que aumenten el costo de la semilla y motiven reducciones en la densidad de siembra. Esta información puede contribuir a impulsar la siembra de precisión en el cultivo de soja, dado que mejoras en la calidad de siembra permitirían reducir la densidad, y con esto, incrementar la capacidad operativa de las máquinas y disminuir los costos.

Existen antecedentes sobre la temática, pero son escasos y no concluyentes respecto a la reducción o no de rendimiento por heterogeneidad espacio temporal en el número de plantas, debido a la capacidad de compensación vegetativa y reproductiva del cultivo, sugerida en algún caso. En este sentido, se han informado reducciones en el rendimiento entre 1 y 15 % por efectos de la variabilidad espacio-temporal (Stivers y Swearingin, 1980), y mayores efectos negativos de la falta de uniformidad en sitios con mayores rendimientos (Moore, 1991). Estudios sobre variabilidad temporal en el crecimiento de las plantas determinaron que una alta heterogeneidad en la biomasa entre plantas, puede ser compensada por el crecimiento y rendimiento por unidad de superficie (Egli, 1993). En el mismo sentido, Andrade y Abbate (2005) determinaron que incrementos en la variabilidad de biomasa vegetativa no afectaron el rendimiento por planta en soja, a diferencia de lo que ocurre en maíz. Sin embargo, trabajos recientes de Masino et al. (2018), determinaron que la variabilidad espacial produjo pérdidas de rendimiento en soja de grupo de madurez más corto (GIII), mientras que no afectó el rendimiento en un grupo de madurez más largo (GIV). Por otro lado, el efecto de la variabilidad temporal, condujo a pérdidas de rendimiento en ambos grupos de madurez. Cabe señalar, que en los estudios referidos (Egli, 1993 y Masino et al., 2018) la variabilidad espacial y temporal fueron obtenidas mediante tratamientos manipulativos (raleos y resiembras), que pueden no reflejar las condiciones reales del número de plantas en condiciones de producción comercial, por lo cual los rangos de variabilidad referidos podrían superar a los observados en condiciones de campo.

Este trabajo tuvo como objetivo determinar el efecto de la variabilidad espacial y temporal sobre el rendimiento de soja a nivel de planta y cultivo bajo condiciones productivas de siembra.

¿Cómo se realizó la experiencia?

Se realizaron experimentos en los ciclos agrícolas 2018/19 y 2019/20 en el campo del INTA EEA Paraná (31°48' S 60°32' O) sobre sitios con suelos Argiudoles con uso agrícola bajo siembra directa y una secuencia de cultivos con trigo/soja-maíz continua. Se evaluaron cultivos de soja que fueron sembrados con una máquina Giorgi Precisa 8000, equipada con dosificador neumático. Las fechas de siembra fueron el 5 de diciembre y 20 de noviembre en 2018 y 2019, respectivamente. En la Fig. 1 se muestran las condiciones climáticas de ambas campañas estudiadas.

En cada campaña estudiada, el cultivar de soja utilizado fue AW5815 IPRO, empleándose semilla con tratamiento profesional con PG certificado > a 90 según etiquetas en bolsa de semillas. El tratamiento de

semilla incluyó el uso de insecticida (tiametoxam, 0,06 l cada 100 kg de semilla) y fungicida (trifloxistrobin + metalaxil, 0,1 l cada 100 kg de semilla). Se evaluaron cuatro tratamientos de densidades de siembra (100, 230, 360 y 550 mil semillas ha⁻¹) dispuestos en un diseño en bloques (2 ambientes productivos por lote), y tres repeticiones. Las unidades muestrales fueron de veinte plantas consecutivas para cada tratamiento dentro de cada ambiente.

El número de plantas dentro de la unidad muestral, fue medido en los estados fenológicos de emergencia (VE), cotiledonar (VC) y 5 hojas desarrolladas (V5) (Fehr y Caviness, 1977).

El distanciamiento entre plantas fue medido en R2, calculando como estimador de la variabilidad espacial el coeficiente de variación (CV) del espaciamiento entre 20 plantas. La variabilidad temporal, se determinó mediante el registro del número de nudos por planta en el estadio R2 (Rotundo, comunicación personal) y el CV de la variable. En madurez de cosecha (R8), se recolectaron las 20 plantas de cada unidad experimental, y se obtuvo rendimiento individual y el número de granos por planta. Adicionalmente, se calcularon los valores medios y sus coeficientes de variación. Los rendimientos individuales por planta y la superficie ocupada por las 20 plantas, se utilizaron para estimar el rendimiento por unidad de superficie.

Los resultados se analizaron mediante estadísticas descriptivas y las comparaciones de medias mediante pruebas de t.

Los resultados de variabilidad espacio-temporal se clasificaron en dos grupos de alta y baja densidad, estableciéndose el límite entre los grupos en 300 000 pltas ha⁻¹. Dentro de cada grupo de densidad (<300 000 y >300 000 pltas ha⁻¹), los resultados se clasificaron en alta y baja variabilidad espacial y temporal. El criterio utilizado para la clasificación fue el CV promedio de la variabilidad espacial, y temporal, por encima y por debajo del cual la variabilidad fue clasificada como alta y baja, respectivamente. Los valores medios y CV del rendimiento por planta, y rendimiento por unidad de superficie de cada categoría, se compararon mediante pruebas de t. Adicionalmente, para evaluar los efectos de los tratamientos sobre las variables estudiadas, se realizaron análisis de regresión y correlación. Los datos se procesaron utilizando el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2017).

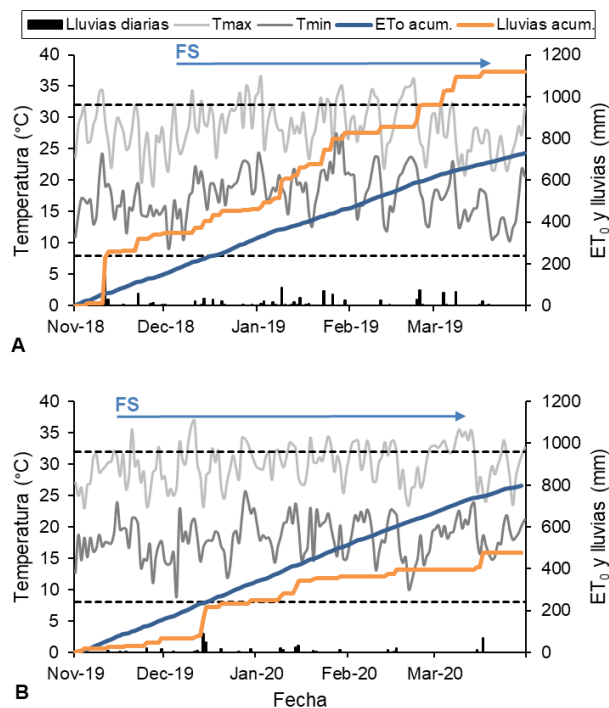


Fig. 1. Lluvias diarias (Lluvia diaria) y acumuladas (Lluvias acum.), Evapotranspiración acumulada (ET₀ acum.), temperatura máxima y mínima diaria (Tmax y Tmin, respectivamente) durante las campañas 2018/19 (A) y 2019/20 (B). Datos provenientes del observatorio agrometeorológico del INTA EEA Paraná. Las líneas negras cortadas indican la temperatura base (8°C) y máxima (33°C) de crecimiento. Las flechas superiores representan la estación de crecimiento del cultivo de soja, desde la fecha de siembra (FS) hasta cosecha.

¿Qué resultados obtuvimos?

El número de plantas logradas en el año 2018/19 varió entre 66 445 y 645 161 pltas ha⁻¹, con una media de 216 636 pltas ha⁻¹. Mientras que en 2019/20 varió entre 49 798 y 458 979 plantas ha⁻¹, con una media de 179 710 pltas ha⁻¹. Esto evidencia que en 2018/19, las densidades de plantas efectivamente alcanzadas fueron, en promedio, un 20% menor que las densidades objetivo (semillas ha⁻¹ sembradas), mientras que en 2019/20 el número de plantas logradas fue aún menor respecto de la densidad objetivo, alcanzándose densidades un 33% menores a las densidades objetivo.

La emergencia del cultivo, se observó a los 8 y 9 días desde la siembra en ambas campañas, mientras que el número de plantas emergidas se estabilizó muy rápidamente en los 5 días siguientes al inicio de la emergencia. La Fig. 2, muestra la evolución del número de plantas logrado por hectárea para las diferentes densidades evaluadas durante los dos años de estudio. En el año 1 el número de plantas logradas fue mayor para todas las densidades evaluadas con respecto al año 2, debido posiblemente, a las mejores condiciones de implantación y humedad al momento de la siembra en la primera campaña y a las menores precipitaciones alrededor de la siembra durante la segunda campaña.

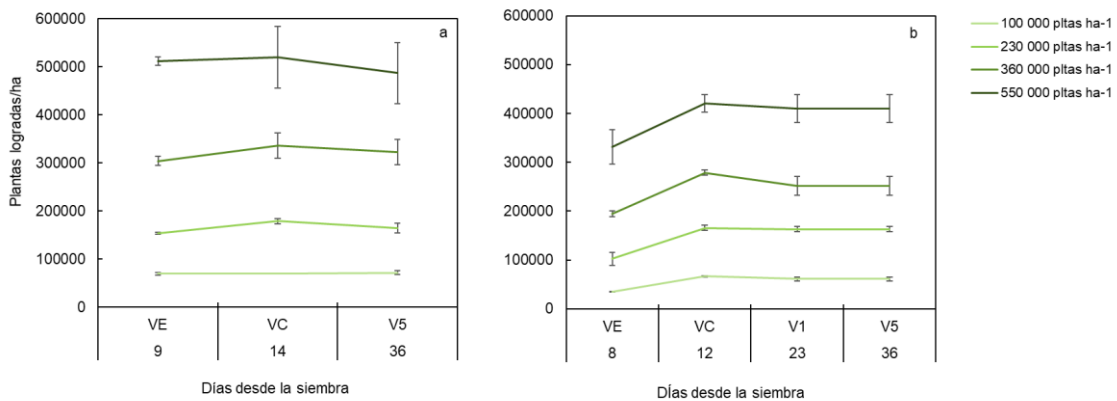


Fig. 2. Evolución del número de plantas logradas en las distintas densidades de siembra evaluadas (promedio de los dos ambientes por ciclo agrícola), durante 2018/19 (a), 2019/20 (b), en el INTA EEA Paraná. Las barras indican el desvío estándar. VE: emergencia, VC: estado cotiledonar, V1 y V5: 1 y 5 hojas trifoliadas completamente desarrolladas.

Los rendimientos medios por unidad de superficie, durante la campaña 2018/19 variaron entre 2,36 y 3,74 t ha⁻¹, con una media de 3,0 t ha⁻¹; y durante la campaña 2019/20, entre 1,74 y 4,25 t ha⁻¹, con una media de 2,6 t ha⁻¹. El análisis en conjunto para los tratamientos de densidades de siembra en las dos campañas, no mostró diferencias concluyentes respecto a las densidades, dado que solamente se observaron diferencias estadísticamente significativas para el rendimiento entre los tratamientos con 230 000 y 360 000 plta ha⁻¹.

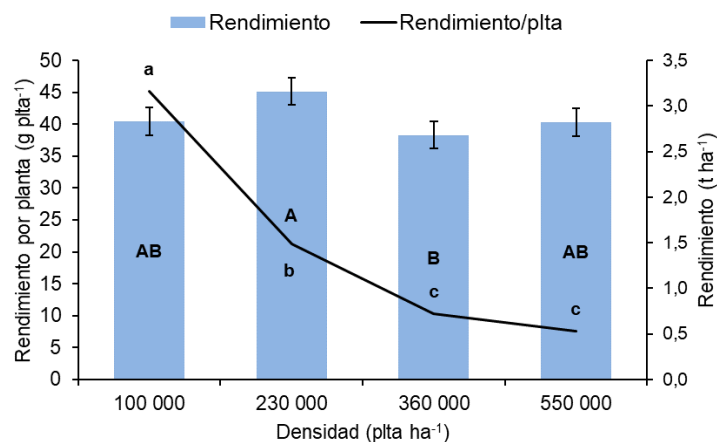


Fig. 3. Rendimiento medio (t ha⁻¹) y por planta (g plta⁻¹) en el cultivo de soja, con distintas densidades de siembra en soja. Campaña 2018-2019 en el INTA EEA Paraná.

La variabilidad temporal (CV del número de nudos) en la emergencia, varió en un rango de 6,8 y 27,1%, con una media de 13,8 % para la campaña 2018/19, y entre 8,4 y 21,5 %, con una media de 14,8 % en la campaña 2019/20. Respecto del espaciamiento entre plantas, durante la campaña 2018/19 mostró valores medios de 26,4, 12,2, 5,8 y 3,8 cm para las densidades de 100 000, 230 000, 360 000 y 550 000 semillas ha⁻¹, respectivamente. La variabilidad espacial (CV del espaciamiento) se incrementó con el aumento en la densidad siembra, con valores de 37, 48, 53 y 69 %, para las mismas densidades de siembra mencionadas anteriormente. Siguiendo el mismo criterio, durante la campaña 2019/20, el espaciamiento medio entre plantas fue de 32,8, 12,3, 7,9 y 4,5 cm, y la variabilidad espacial estuvo en valores de 45, 44, 51 y 56 %, para las mismas densidades anteriormente referidas.

Los efectos de la alta y baja variabilidad temporal y espacial, evaluados sobre el rendimiento del cultivo (t ha⁻¹) y a nivel de planta (g plta⁻¹), y sobre el CV del rendimiento por planta, analizado para agrupamientos de los datos en altas y bajas densidades, son presentados en la Tabla 1. La variabilidad espacial no afectó de manera significativa ninguna de las variables en estudio en bajas ni altas densidades, mientras que la variabilidad temporal tuvo efectos en ambas densidades. En alta densidad, el CV del rendimiento por planta fue significativamente mayor con alta (49,34 %) versus baja (38,89 %) variabilidad temporal. En baja densidad, el rendimiento se vio afectado negativamente ante incrementos en la variabilidad temporal (2,65 versus 3,08 t ha⁻¹, p=0,059). A su vez, el CV del rendimiento por planta fue significativamente mayor con alta variabilidad temporal (44,6 %) respecto a la baja (38,18 %).

Tabla 1. Efecto de la variabilidad espacial y temporal (Alta y Baja), sobre el rendimiento por unidad de superficie (t ha⁻¹) y por planta (g plta⁻¹) y sobre el CV del rendimiento por planta, para densidades de plantas altas (>300 000 pltas ha⁻¹), y bajas (<300 000 pltas ha⁻¹). Paraná, ciclos agrícolas 2018/19 y 2019/20

		Variabilidad espacial			Variabilidad temporal		
		Alta	Baja	p-valor	Alta	Baja	p-valor
Alta densidad (>300,000 plta ha ⁻¹)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	2,91	2,66	0,288	2,74	3,00	0,298
	Rendimiento por planta (g plta ⁻¹)	9,2	7,61	0,172	8,66	8,43	0,858
	CV rendimiento por planta	46	47	0,658	49	39	0,005
Baja densidad (<300,000 plta ha ⁻¹)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	2,92	2,92	0,999	2,65	3,08	0,059
	Rendimiento por planta (g plta ⁻¹)	30,1	30,9	0,927	27,7	32,6	0,409
	CV rendimiento por planta	44	39	0,364	45	36	0,020

Se observó que el rendimiento por planta se relacionó negativamente con el CV del número de nudos (p=0,002), A su vez, el rendimiento por planta también se asoció negativamente con el CV del espaciamiento entre plantas (p=0,02). De forma adicional, el rendimiento a nivel de superficie (t ha⁻¹), se relacionó de forma negativa con el CV del rendimiento por planta (p=0,01), Por último, el CV del rendimiento por planta y CV del número de nudos se relacionaron positivamente (p<0,001), por lo cual, incrementos en la variabilidad del número de nudos (variabilidad temporal), originan incrementos en la variabilidad del rendimiento entre plantas (Tabla 2)

Tabla 2. Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables en estudio y significancia de las mismas. Solamente valores significativos son reportados (p-valor=0,1), NS= no significativo.

Correlación de Pearson: Coeficientes probabilidades	Rendimiento (t ha ⁻¹)	CV número de nudos	CV espaciamiento entre plta	Rendimiento por planta (g plta ⁻¹)	CV rendimiento por planta
Rendimiento (t ha⁻¹)	1	NS	NS	NS	0,01

CV número de nudos	-0,2	1	NS	0,002	<0,001
CV					
espaciamiento entre plta	-0,07	0,05	1	0,02	NS
Rendimiento por planta (g plta⁻¹)	0,19	-0,43	-0,34	1	0,02
CV rendimiento por planta	-0,36	0,59	0,17	-0,34	1

Los valores de variabilidad espacial del número de plantas en soja obtenidos con siembra neumática en este estudio fueron considerablemente menores a los reportados por Masino et al. (2018), en el cual se obtuvieron CV espaciales de hasta 113%. A su vez, reportan pérdidas de rendimiento del orden del 6%, asociadas a la variabilidad espacial, en solo uno de dos experimentos y para un cultivar de ciclo corto (GM III).

En cuanto a la variabilidad temporal, Massino et al. (2018) reportaron CV temporales de hasta 43% lo que explicaría las reducciones en el rendimiento de 7,5 % promedio. Los valores de variabilidad obtenidos en el presente estudio se encuentran por debajo de los valores referidos. No obstante, se observaron pérdidas del rendimiento del 14 % para densidades menores a 300 000 pltas ha⁻¹, pero no se encontró efecto en densidades mayores. Las densidades utilizadas por Masino et al. (2018), se asemejan a nuestro rango de bajas densidades (<300 000 semillas ha⁻¹), donde se observaron efectos sobre el rendimiento. Esto sugiere que a mayores densidades el cultivo logra compensar el rendimiento aun en condiciones de alta variabilidad temporal. Adicionalmente, el CV del rendimiento por planta fue afectado por la variabilidad temporal en ambas densidades (altas y bajas). Sin embargo, dicho efecto fue trasladado al rendimiento a nivel de superficie solo en situaciones de bajas densidades, posiblemente debido al efecto del menor desarrollo de la cobertura en estos tratamientos con baja densidad que no lograron un cierre de la canopia. Egli (1993), fundamenta la falta de respuesta a la heterogeneidad en el número de plantas a la compensación del crecimiento, situación que pudo ser observada en los tratamientos con mayores densidades en esta experiencia, donde se lograron cierres anticipados de la canopia.

Bajo las condiciones evaluadas en el presente estudio, en siembras de fin de noviembre y diciembre, situación algo retrasada para el cultivar en estudio, el efecto de la variabilidad temporal fue más fuerte que el observado en estudios precedentes, aun cuando la heterogeneidad temporal fue aún mayor (Masino et al., 2018). Cabe destacar que en trabajos previos las condiciones de heterogeneidad temporal se generaron sembrando escalonadamente en V1 (aproximadamente 10 -15 días desde la primera siembra) en el caso de Masino et al. (2018), quienes también reportaron reducciones en el rendimiento, mientras que en el caso de Egli (1993), con siembras escalonadas entre 4 a 7 días desde la primera siembra, no observó reducciones en el rendimiento.

Los resultados obtenidos en este trabajo, como la reducción del rendimiento por efecto de la variabilidad temporal en bajas densidades, enfatiza la necesidad de lograr un número de plantas uniformes. En esta situación, podría ser relevante la adopción de equipos de siembra de precisión. Estos resultados, aun no son concluyentes dado que representan solo dos experiencias, podrían ampliarse las condiciones de evaluación y validarse en condiciones de siembras más restrictivas, como sojas de segunda, y en fechas tardías donde el ambiente es más limitante y es más común observar condiciones de implantación regulares.

Agradecimientos

Los resultados obtenidos, complementan experiencias realizadas en un convenio de vinculación tecnológica entre INTA Parana y Monsanto Argentina SAIC (26048), y forman parte del trabajo de Tesis de grado de Valentina Pereyra Picabea. Las actividades reportadas, se asocian a tematicas vinculadas al proyecto I177, de INTA.

Para seguir leyendo...

ANDRADE F.H., and P.E. ABBATE 2005, Response of maize and soybean to variability in stand uniformity. Agron. J. 97. 1263–1269.

DI RIENZO J.A., CASANOVES F., BALZARINI M.G., GONZALEZ L., TABLADA M., y C.W. ROBLEDO 2017. InfoStat versión 2017. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

EGLI D.B. 1993. Relationship of uniformity of soybean seedling emergence to yield. *J. Seed Tech.* 17. 22–28,

FEHR W.R., and C.E., CAVINESS 1977. Stages of soybean development. *Spec. Rep. 80. Coop. Ext. Ser. and Home Econ. Exp. Sta. Iowa State Univ., Ames. IA.* 11 p.

MASINO A., RUGERONI P., and L, BORRÁS 2018, Spatial and temporal plant-to-plant variability effects on soybean yield. *European Journal of Agronomy.* 98. 14-24.

MELCHIORI R.J.M., y H.F. PELTZER. 2001. Distanciamiento entre surcos, densidad de siembra y hábitos de crecimiento de soja de segunda, INTA EEA Paraná, Actualización Técnica – Soja, Serie Extensión N° 21:58-64.

MOORE S.H.1991. Uniformity of plant spacing effect on soybean population parameters, *Crop Sci.* 31, 1049–1051.

SADRAS V.O., 1998. Variation in apical dominance and its implications for herbivory resistance, competitive ability and biomass partitioning. In: Otegui ME., Slafer GA., eds. *Proceedings of the international workshop on physiological bases for maize improvement*, Buenos Aires. 71-81.

STIVERS R.K., and M.L. SWEARINGIN. 1980. Soybean yield compensation with different populations and missing plant patterns. *Agron. J.* 72. 98–102.

VEGA C.R.C., SADRAS V.O., and F.H. ANDRADE 2000. Reproductive allometry in soybean, maize and sunflower. *Annals of Botany.* 85. 461-468.

Para más información:

melchiori.ricardo@inta.gob.ar

maltese.nicolas@inta.gob.ar

appelhans.stefania@inta.gob.ar

valentinapereyra@ksu.edu

Fertilización de soja en el Centro Oeste de Entre Ríos

Pautasso J.M1,3,4, Melchiori R.1,2 y Barbagelata P.1,2,4

1 Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria Paraná

2 Departamento Gestión Ambiental y Recursos Naturales.

3 Agencia de Extensión Rural INTA Diamante

4 FCA UNER

La soja es el principal cultivo en Entre Ríos, ocupando en los últimos 15 años una superficie que osciló entre un millón y un millón trescientas mil hectáreas, lo que representa alrededor del 70 % de la superficie agrícola dedicada a este cultivo. Si bien la fertilización en el cultivo ha crecido en los últimos años, la proporción de la superficie fertilizada sigue siendo menor que en los cultivos de trigo y maíz. Este trabajo, resume información sobre el manejo de la fertilidad de los suelos y el uso de los fertilizantes en el cultivo de soja en Entre Ríos. Los ensayos fueron realizados en los departamentos Paraná, Diamante, Victoria y Nogoyá durante los últimos 7 ciclos agrícolas.

¿Cuál es el punto de partida?

Primero debemos preguntarnos ¿cuál es la fertilidad del suelo? y ¿podrá abastecer adecuadamente al cultivo con los nutrientes necesarios? Para responder esto, debemos realizar una evaluación de la fertilidad de nuestro lote, generar un buen diagnóstico y finalmente determinar la necesidad de fertilización del cultivo de soja.

El análisis de suelos es la herramienta básica que utilizamos para evaluar la fertilidad y junto a los conocimientos agronómicos podemos realizar un correcto diagnóstico, base para un manejo racional de la fertilización. El análisis de suelos “servirá” como herramienta si la muestra extraída del lote es representativa (la “garantía” para que esto suceda depende en gran parte de realizar al menos 20 “piques” por muestra) y se obtuvo de los primeros 20 cm de profundidad.

En los últimos ciclos agrícolas se hace mención a la respuesta de otros nutrientes además del fósforo (P); tales como azufre (S), potasio (K) y zinc (Zn).

Propuesta de fertilización con P

Sin considerar el nitrógeno (N), que el cultivo de soja obtiene mayoritariamente por el proceso de fijación biológica, el P es el principal nutriente que limita la productividad del cultivo en nuestra zona.

En la Tabla 1 se resumen algunas características de los ensayos que se realizaron en los últimos ciclos agrícolas para evaluar el impacto de la fertilización con P en el cultivo de soja. Todos los ensayos se diseñaron en bloques completos al azar (BCA) con tres repeticiones, en campos de productores, la dosis de P en los tratamientos fertilizados fue de 20 kg ha⁻¹, ubicados en superficie. En promedio el rendimiento se incrementó en un 9%.

Tabla 1. Detalle general de los ensayos para evaluar la respuesta al agregado de P.

Ensayo	Ciclo agrícola	P Bray ppm	Suelo	Rendimiento (kg ha ⁻¹)			Efecto P P-valor*
				Testigo	Fertilizado	Respuesta	
1	2014/15	11,3	Argiudol ácuico	3904	3894	-10	0,97
2	2014/15	8,2	Peluderte argílico	3572	3625	53	0,87
3	2015/16	14,1	Argiudol vértico	3267	3049	-218	0,51
4	2015/16	3,8	Argiudol ácuico	3381	4405	1024	0,15
5	2015/16	7,3	Argiudol vértico	2479	2802	323	0,25
6	2017/18	9,2	Argiudol ácuico	1481	2244	764	0,02
7	2017/18	28,1	Argiudol vértico	801	1003	202	0,15
8	2018/19	14,2	Argiudol vértico	1969	2278	309	0,40

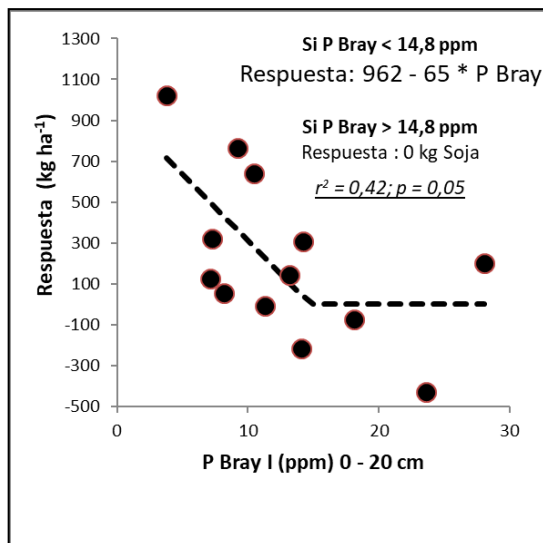
9	2020/21	7,1	Argiudol ácuico	1154	1281	127	0,76
10	2020/21	10,5	Argiudol ácuico	1982	2621	639	0,15
11	2020/21	23,6	Peludertes argiudólicos	3136	2707	-430	0,18
12	2020/21	13,2	Argiudol ácuico	716	858	142	0,43
13	2020/21	18,1	Argiacuol vértico	2761	2686	-75	0,74
Promedio		13,0		2354	2573	219	

*P-valor < 0,05 indica diferencias significativas debidas a la fertilización fosfatada contrastada con testigo sin fertilización.

La respuesta a la fertilización fosfatada es dependiente de la disponibilidad del P del suelo. En la Figura 1 se modeliza la respuesta al agregado de P, donde hay respuesta positiva hasta un valor de 14,8 ppm de P Bray I. Este valor es levemente inferior al informado por Gutierrez Boem y Salvaggiotti (2014).

La ecuación de la Figura 1 podría usarse cada año para calcular la factibilidad económica de la fertilización en función de los precios de la soja y del fertilizante. Por ejemplo, con los precios actuales la fertilización con 100 kg de súper fosfato triple de calcio (SFT) es “amortizada” por el cultivo de soja cuando el nivel de P Bray I del suelo se encuentra entre 9,5 y 10,5 ppm, pero hay que tener en cuenta que puede haber otros criterios al fertilizar con P, como es el de mantener los niveles del mismo en nuestros lotes.

En cinco de los ensayos (los realizados en 2014/15 y 2015/16) se agregó un tratamiento con igual dosis de P, pero ubicado en línea (Figura 2). El resultado de la comparación entre ambas ubicaciones (línea o superficie) no difieren entre sí en su efecto sobre el rendimiento (el valor p del contraste entre ambas ubicaciones del fertilizante fue 0,54).



Respuesta al agregado de 20 kg de P por hectárea en función del P Bray I del suelo (0-20 cm).

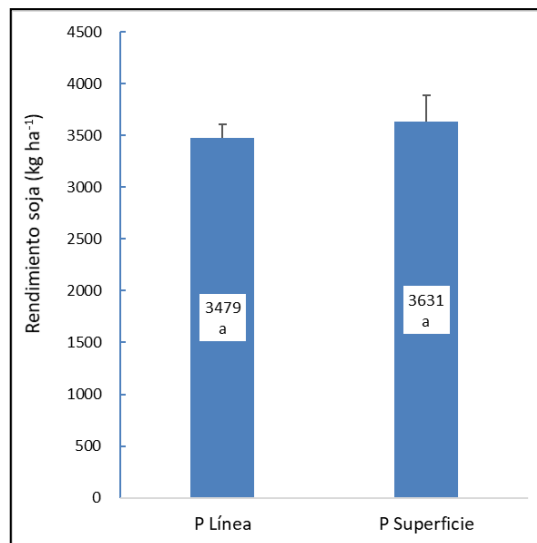


Figura 1: Figura 2: Rendimiento de soja en función de la ubicación del fertilizante (20 kg de P por hectárea).

¿Respuesta a otros nutrientes?

Azufre:

Se realizaron ensayos de fertilización con este nutriente durante más de un ciclo agrícola, tal como se detalla en la Tabla 2. De igual manera que para los ensayos de P, el diseño fue en BCA con tres repeticiones. El incremento de rendimiento por el agregado de S fue del 3% (74 kg ha⁻¹), pero en ninguno de los sitios la respuesta fue significativa.

El principal obstáculo para el manejo de este nutriente, es no contar con un indicador de suelos “confiable” para estimar su disponibilidad (Gutierrez Boem y Salvagiotti; 2014), pero en general, se puede encontrar en la bibliografía respuesta al agregado de S en suelos con bajos contenidos de materia orgánica (Echeverría et al., 2014). Una alternativa consiste en aplicar una dosis de mantenimiento de 10 a 15 kg ha⁻¹ de S.

Además, en la Tabla 2 se detalla, a modo ilustrativo, el contenido de S del suelo, medido como sulfatos a 0-20 cm para cada ensayo.

Tabla 2. Detalle general de los ensayos para evaluar la respuesta al agregado de S.

Ensayo	Ciclo agrícola	Suelo	P Bray I ppm	S - SO ₄ ⁻² ppm	Rendimiento (kg ha ⁻¹)			Efecto Fertilización S
					Testigo	P	PS	P-valor*
1	2015	Argiudol vértico	14,1	8,3	3267	2858	3319	0,44
3	2015	Argiudol ácuico	7,3	6,6	2479	2699	2764	0,59
4	2015	Argiudol ácuico	6,3	5,5	3381	5241	4307	0,15
5	2017	Argiudol ácuico	9,2	8,8	1481	2244	2318	0,78
6	2018	Peludertes argiacuólicos	6,3	10,2	4859	4960	5155	0,76
7	2018	Argiudol vértico	14,2	9,2	1969	2278	2038	0,64
8	2020	Argiudol ácuico	7,1	7,4	1154	1281	1477	0,65
9	2020	Argiudol ácuico	10,5	7,5	1982	2621	2940	0,43
10	2020	Peludertes argiudólicos	23,6	11,4	3136	2707	3173	0,08
11	2020	Argiudol ácuico	13,2	10,2	716	858	1042	0,11
12	2020	Argiacuol vértico	18,1	9,3	2761	2686	2716	0,87
			11,8	8,6	2471	2767	2841	

*P-valor < 0,05 indica diferencias significativas debidas a la fertilización azufrada contrastada con la fosfatada.

A partir de un análisis integral de todos los resultados a través de la metodología de análisis de ensayos multiambientales (ciclos agrícolas y lugares diferentes) se pudo observar que no hay respuesta al agregado de S, pero si al agregado de P (Figura 3). El efecto significativo de “Tratamiento” se debe al “Testigo”. Al contrastar los tratamientos P y PS el p-valor es de 0,47.

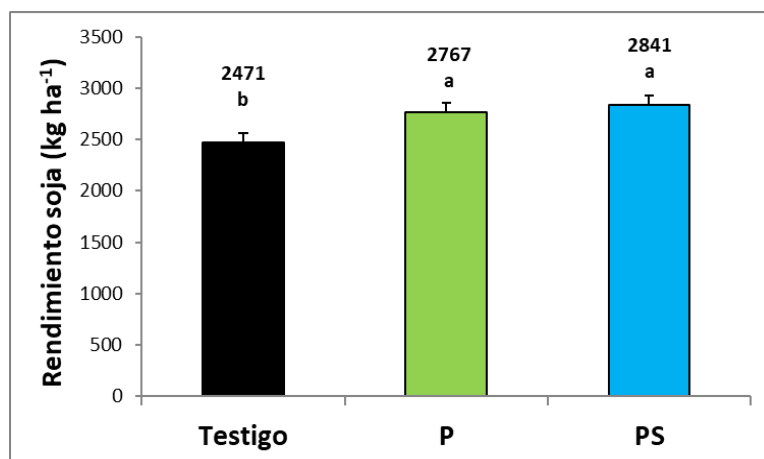


Figura 3: Rendimientos obtenidos en función de los tratamientos (Testigo: sin agregado de fertilizantes; P con el agregado de 20 kg de P ha⁻¹ y PS con el agregado de 20 kg de P ha⁻¹ más 10 kg de S ha⁻¹). Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Potasio:

En general, los suelos de la región están medianamente bien provistos de este elemento. El K intercambiable es el indicador de disponibilidad del nutriente más comúnmente utilizado (desde ahora, K disponible). Últimamente se exploran áreas de deficiencia, aunque solo existen antecedentes en Uruguay, donde han determinado un umbral de K disponible para varios cultivos, de 0,34 cmol ha⁻¹, equivalentes a 133 ppm (Barbazán et al., 2015).

Durante el último ciclo agrícola se realizaron 5 ensayos de fertilización potásica (Tabla 3). Los ensayos fueron en BCA con tres repeticiones para cada tratamiento. Para el conjunto de los datos (a partir del contraste entre los tratamientos sin K frente a los que tenían K agregado) el efecto de la fertilización con este nutriente no fue significativo ($p=0,44$).

Los tratamientos testigos consistieron en parcelas fertilizadas con P (20 kg ha⁻¹) y S (10 kg ha⁻¹), mientras que las fertilizadas con K además de la fertilización del tratamiento testigo, recibieron K agregado como cloruro de potasio a razón de 100 kg ha⁻¹.

Tabla 3. Detalle general de los ensayos para evaluar respuesta al agregado de K.

Ensayo	Ciclo agrícola	Suelo	K Disponible ppm	Rendimiento (kg ha ⁻¹)			Efecto Fertilización K
				Testigo	K	Respuesta Kg ha ⁻¹	P-valor*
1	2020	Argiudol ácuico	313	1477	1252	-225	0,29
2	2020	Argiudol ácuico	274	2940	2782	-158	0,65
3	2020	Peludertes argiudólicos	274	3173	2863	-310	0,30
4	2020	Argiudol ácuico	321	1042	1033	-9	0,97
5	2020	Argiacuol vértico	305	2716	2980	265	0,27
Promedio				2269	2182	-87	

*P-valor < 0,05 indica diferencias significativas debidas a la fertilización con potasio.

La falta de respuesta al agregado de K se debe, probablemente, a que los valores de K disponible son relativamente altos.

Zinc:

Este elemento se considera un micro nutriente, es decir, que las plantas lo necesitan en pequeñas cantidades. También para el Zn se usan índices de disponibilidad a partir del análisis de muestras de suelo.

Recientemente, se definieron rangos Zn-DTPA (Zn extraído con ácido dietilen triamino penta acético) con diferente probabilidad de respuesta a la fertilización para el cultivo de maíz, con valores de alrededor de 1 ppm (Sainz Rozas, 2018), pero no hay información regional de respuestas a este nutriente para el cultivo de soja.

En diversos ciclos agrícolas (Tabla 4) se realizaron 9 experimentos a campo con diseños en BCA y tres repeticiones con el agregado de Zn. Los tratamientos testigos recibieron P (20 kg ha⁻¹) y S (10 kg ha⁻¹), mientras que las fertilizadas con Zn además de la fertilización del tratamiento testigo recibieron 1 kg de Zn por hectárea a la siembra. En el análisis conjunto, el efecto del agregado de Zn no fue significativo ($p=0,93$).

Tabla 4. Detalle general de los ensayos

Ensayo	Ciclos agrícola	Suelo	Zn	Rendimiento (kg ha ⁻¹)		Respuesta	Efecto Fertilización Zn
							Zn

			ppm	Testigo	Zn	kg ha ⁻¹	P-valor*
1	2017	Argjudol ácuico	0,9	2318	2024	-294	0,32
2	2017	Argjudol vértico	0,4	774	874	100	0,25
3	2018	Peludertes argiacuólicos	0,4	5155	4883	-272	0,73
4	2018	Argjudol vértico	0,4	2038	1837	-202	0,45
5	2020	Argjudol ácuico	0,7	1252	1504	252	0,57
6	2020	Argjudol ácuico	1,1	2782	3079	297	0,06
7	2020	Peludertes argjudólicos	0,5	2863	2968	105	0,66
8	2020	Argjudol ácuico	0,8	1033	1023	-10	0,80
9	2020	Argiacuol vértico	0,5	2980	3082	102	0,57
			0,6	2355	2364	9	

*P-valor < 0,05 indica diferencias significativas debidas a la fertilización con zinc.

Consideraciones finales

En el área de influencia del INTA EEA Paraná, el cultivo de soja presenta respuestas al agregado de P cuando el nivel de P Bray I del suelo tiene niveles inferiores a 14,8 ppm.

La respuesta a S es relativamente baja y no se posee un método de diagnóstico confiable.

Con respecto al K, en los sitios estudiados no se encontró respuesta positiva al agregado de este nutriente. Los niveles de K disponible de los sitios evaluados son los esperables para la región.

A pesar de haber realizado los ensayos de respuesta a Zn en suelos con baja disponibilidad de este nutriente, la soja no registró un efecto positivo al agregado del mismo.

Agradecimientos

A los productores que generosamente colaboran con sus campos y su tiempo para realizar estos ensayos: Andrés Rattero, Alfredo y Francisco Gutiérrez, Mauricio y Andrés Olivero, Oscar Larracochea, Germán Bierig, Abel Lauck y Elbio Fischer. Y a las empresas que apoyan el trabajo de la AER Diamante.

Los ensayos se realizaron con recursos INTA (Proyecto Estructural Desarrollo y aplicación de tecnologías de mecanización, precisión y digitalización de la Agricultura) y extra INTA (Fundación ArgenInta).

Para seguir leyendo...

BARBAZÁN M., CONTI M. y F. GARCÍA 2015. Potasio. En Echeverría H. y F. García (Eds). Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Capítulo 9. Ediciones INTA. Bs. As. Argentina. p. 265-285.

EHEVERRÍA H., REUSSI CALVO N. y A. PAGANI 2014. Azufre.. En: H. Echeverría y F. García (Eds). Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Ediciones INTA. Buenos Aires. Argentina. pp. 287-315

GUTÉRREZ BOEM F. y F. SALVAGIOTTI 2014. Soja. En: H. Echeverría y F. García (Eds). Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Ediciones INTA. Buenos Aires. Argentina. pp. 479-508.

SAINZ ROZAS H. 2018. El zinc: un micronutriente limitante para el maíz. <https://inta.gob.ar/documentos/el-zinc-un-micronutriente-limitante-para-el-maiz> [Verificación: mes y año]

Para más información:

Pautasso, Juan Manuel

Tel. +541167946392

Correo: pautasso.juan@inta.gob.ar

Bioestimulantes en el cultivo de soja: ¿verdad o mito?

Pautasso J. M.
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)
Estación Experimental Agropecuaria Paraná,
Agencia de Extensión Diamante

Los bioestimulantes de plantas incluyen diversas sustancias y microorganismos que pueden mejorar el crecimiento de las plantas (no entran en esta categoría microorganismos fijadores de nitrógeno en simbiosis). En los últimos años su utilización ha presentado un crecimiento sostenido, a pesar de contar con pocas evidencias empíricas y/o científicas en condiciones de producción. El presente trabajo resume la información de cinco ciclos agrícolas en los que se evaluaron diferentes productos definidos como bioestimulantes en 15 ensayos en el cultivo de soja.

¿Qué son los bioestimulantes?

Según Calvo et al. (2014) el concepto de bioestimulantes aún está en evolución, principalmente porque existe una gran diversidad de insumos que pueden considerarse bioestimulantes. La amplitud que tiene este término se hace evidente al revisar los conceptos del mismo que realizan los dos consorcios más importantes de la industria de los bioestimulantes que se transcriben a continuación:

- La industria europea de bioestimulantes (EBIC, 2021) los define como “productos que estimulan los procesos naturales en las plantas para mejorar la absorción y eficiencia de nutrientes, la calidad del cultivo y la tolerancia al estrés abiótico, beneficiando tanto el rendimiento como el vigor de la planta. Esto asegura que las plantas presenten mejores condiciones y sean menos vulnerables a plagas y otras amenazas, incluidos los impactos climáticos, pudiendo ayudar a los agricultores a adaptar sus sistemas agrícolas a un clima cada vez más cambiante, mejorando la sostenibilidad de la producción de alimentos”.

- La industria americana de bioestimulantes (Bioestimulant coalition, 2021) establece que son “sustancias beneficiosas e involucran aditivos biológicos o de origen natural y/o productos similares, incluidos, entre otros, inoculantes bacterianos o microbianos, materiales bioquímicos, aminoácidos, ácidos húmicos y fúlvicos, extractos de algas y otros materiales similares”.

Para caracterizar la diversidad de productos denominados como bioestimulantes el presente artículo tomó en cuenta los trabajos de du Jardin (2012), Calvo et al. (2014) y Van Oosten et al. (2017).

Dichos autores definen clases, que no son excluyentes ni estrictamente opuestas unas de otras y se pueden agrupar de la siguiente manera:

1. Inoculantes microbianos: se clasifican como agentes de control biológico (también llamados “biopesticidas”) o biofertilizantes e incluyen principalmente bacterias de vida libre, hongos y hongos micorrízicos arbusculares que se aislaron de una variedad de entornos, incluido el suelo, plantas, residuos vegetales, agua y compost. Algunos inoculantes microbianos pueden sintetizar y modificar el nivel de las hormonas vegetales (como auxinas, citoquininas, giberelinas y etileno), estas hormonas vegetales regulan múltiples procesos fisiológicos que derivan en una promoción del crecimiento que se ha relacionado en algunos casos con una mayor absorción de nutrientes y un mejor estado nutricional de las plantas. Los hongos micorrízicos pueden mejorar la absorción de agua y la nutrición (especialmente del fósforo).

2. Ácidos húmicos y fúlvicos: son compuestos heterogéneos, producto final de la descomposición microbiana y de la degradación química de la biota muerta del suelo. Entre esos compuestos heterogéneos hay minerales, hormonas de crecimiento y aminoácidos que pueden dar condiciones beneficiosas para las plantas y adaptación al estrés por un mayor crecimiento de las raíces, entre otros efectos.

3. **Proteínas hidrolizadas y aminoácidos:** consisten en una mezcla de péptidos y aminoácidos de origen animal o vegetal. Su aplicación incrementa la actividad de diversas enzimas de los cultivos involucradas en el metabolismo del carbono y del nitrógeno y de la asimilación del nitrógeno. Los hidrolizados de proteínas y aminoácidos específicos (como la prolina, la betaína, sus derivados y

precursores), pueden estimular el crecimiento e inducir respuestas de defensa de las plantas y aumentar la tolerancia de las plantas a una variedad de estreses abióticos como: salinidad, sequía y temperaturas extremas.

4. Extracto de algas: actúan como quelantes, mejorando la utilización de nutrientes minerales por las plantas y pueden estimular el crecimiento de las raíces. Los efectos bioestimulantes a menudo se han atribuido a la presencia de hormonas de crecimiento de las plantas y compuestos relacionados de bajo peso molecular presentes en los extractos; además contienen moléculas más grandes, incluidos polisacáridos y polifenoles, que pueden mejorar la resistencia al estrés.

Si bien se conocen algunos efectos generales de los bioestimulantes (mejorar la absorción de nutrientes, estimular el crecimiento, mejorar la tolerancia al estrés, etc.) que pueden explicar en parte el incremento en rendimiento de los cultivos, en realidad se sabe muy poco sobre los mecanismos detrás de estos efectos (Van Oosten et al., 2017).

El objetivo general del presente trabajo fue sintetizar los resultados obtenidos en cinco ciclos agrícolas donde se realizaron 15 ensayos en los que se evaluó el efecto de bioestimulantes en el cultivo de soja. Los productos utilizados pertenecieron a alguna de las categorías de bioestimulantes de plantas que surgen de las definiciones y descripciones de bioestimulantes especificadas anteriormente.

¿Cómo se hicieron los ensayos?

El diseño de los ensayos, cuya descripción general se informa parte en la Tabla 1 y parte en la Tabla 2, fue en bloques completos al azar, con diferente número de repeticiones. Al momento de la cosecha se extrajeron muestras del centro de cada parcela y se trillaron con máquina experimental (tamaño de las parcelas 5 surcos por 8 metros de largo; tamaño de las muestras dos surcos por 2 metros de largo). El rendimiento se corrigió a 14,5 % de humedad. De cada parcela se contaron 200 granos para estimar el peso de 1 000 semillas (P1 000) y el número de granos por unidad de superficie se estimó a partir del peso de la muestra trillada y del P1 000. El momento de la aplicación de los bioestimulantes de manera foliar dependió de la recomendación de cada empresa de bioestimulante; algunas se realizaron en estados vegetativos y otras en reproductivo.

Para estudiar la magnitud de la respuesta al agregado de bioestimulantes se realizó la inferencia basada en una muestra a partir del estadístico T de Student, tomando como parámetro de comparación una respuesta igual a 0. Para comparar los datos de rendimiento se realizó un análisis mixto, definiendo como “efecto fijo” y como “efectos aleatorios” los sitios y los bloques dentro de cada sitio. Para el estudio de las respuestas de cada una de las clases de bioestimulantes (inoculantes microbianos – extractos de algas – proteínas hidrolizadas y aminoácidos), se realizó un análisis mixto definiendo como “efecto fijo” la clase de bioestimulante y como “efectos aleatorios” los sitios y los bloques dentro de cada sitio y de igual manera se contrastó el método de aplicación.

Los análisis se realizaron con el paquete estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2020).

Tabla 1. Ensayos detallados por ciclo agrícola, clase, método de aplicación de los bioestimulantes y tipo de suelo.

Ensayo	Ciclo agrícola	Clase*	Método de aplicación	Suelo
1	2015/16	Inoculantes microbianos	Semilla / Foliar	Argiudol vértico
2	2016/17	Extracto algas	Foliar	Argiudol ácuico
3	2016/17	Extracto algas	Foliar	Argiudol ácuico
4	2018/19	Proteínas hidrolizadas y aminoácidos	Foliar	Argiudol ácuico
5	2018/19	Proteínas hidrolizadas y aminoácidos	Foliar	Argiudol ácuico
6	2019/20	Proteínas hidrolizadas y aminoácidos / Inoculantes microbianos	Semilla / Foliar	Argiudol vértico

7	2019/20	Proteínas hidrolizadas y aminoácidos	Foliar	Argiudol vértico
8	2019/20	Proteínas hidrolizadas y aminoácidos	Foliar	Argiudol vértico
9	2019/20	Proteínas hidrolizadas y aminoácidos / Inoculantes microbianos	Semilla	Argiudol vértico
10	2020/21	Proteínas hidrolizadas y aminoácidos / Inoculantes microbianos	Semilla / Foliar	Argiudol ácuico
11	2020/21	Proteínas hidrolizadas y aminoácidos / Inoculantes microbianos	Semilla / Foliar	Argiudol vértico
12	2020/21	Inoculantes microbianos	Semilla	Argiudol ácuico
13	2020/21	Extracto algas	Foliar	Argiudol ácuico
14	2020/21	Extracto algas	Foliar	Argiudol típico
15	2020/21	Proteínas hidrolizadas y aminoácidos / Inoculantes microbianos	Semilla	Argiudol ácuico

Si bien hubo ensayos con distintas clases de bioestimulantes, en los mismos cada parcela tratada tenía una sola clase.

En la Figura 1 se puede observar la distribución de los ensayos en la provincia de Entre Ríos.



Figura 1. Distribución espacial de los 15 ensayos realizados en el área de influencia de la EEA INTA Paraná.

¿Qué resultados se obtuvieron?

En la Tabla 2 se resumen los datos promedios de rendimiento y respuesta en función del uso de bioestimulantes. Sólo en tres de los 15 ensayos se encontró una respuesta significativa al agregado de productos bioestimulantes.

Tabla 2. Detalle de rendimientos, respuesta y valor de significancia por ensayo en función de la aplicación o no de bioestimulantes.

Ensayo	Repeticiones	Tratamientos con bioestimulantes	Rendimiento (kg ha ⁻¹)		Respuesta Promedio (kg ha ⁻¹)	Significancia (valor p)*
			Tratados	Testigo		
1	5	1	2914	2570	344	0,44
2	3	1	4399	4015	384	0,18
3	3	1	3998	3896	102	0,55
4	2	1	2819	2971	-152	0,77
5	2	3	2756	2924	-169	0,18
6	4	5	1 093	728	365	0,01*
7	3	2	438,5	469	-31	0,55
8	3	2	2047	1859	189	0,11
9	4	5	861	728	133	0,19
10	6	9	2763	2514	249	0,02*
11	4	9	2442	2276	166	0,53
12	4	3	2770	2689	81	0,56
13	3	3	1321	957	364	0,05*
14	3	3	3488	3512	-24	0,91
15	4	9	725	665	60	0,53

*Ensayo con respuesta significativa al agregado de bioestimulantes ($p \leq 0,05$)

El total de parcelas estudiadas fueron 280, con 53 parcelas testigos.

La respuesta al agregado de bioestimulantes fue significativamente distinta de 0 y el valor de respuesta esperado fue de 170 kg ha⁻¹ de soja. Este valor promedio tuvo un intervalo de confianza (95 %) en el rango 120 a 220 kg ha⁻¹ de soja (Tabla 3).

Tabla 3. Prueba T para una media. Valor de la media bajo la hipótesis nula: 0 kg/ha.

Variable	n	Media	LI (95%)	LS (95%)	T	P (Bilateral)
Respuesta	227	170	120	220	6,69	<0,0001

¿La respuesta es diferente para cada clase de bioestimulantes?

La respuesta fue significativamente distinta de 0 para las tres clases evaluadas: inoculantes microbianos – extractos de algas – proteínas hidrolizadas y aminoácidos (Tabla 4).

Tabla 4. Prueba T para cada una de las clases. Valor de la media bajo la hipótesis nula: 0 kg/ha

Variable	n	Media	LI (95%)	LS (95%)	T	p (Bilateral)
Inoculantes microbianos	75	116	30	201	2,71	0,0084
Extracto algas	24	197	45	350	2,68	0,0134
Proteínas hidrolizadas y aminoácidos	128	197	128	266	5,65	<0,0001

En la Figura 2 se observan los promedios calculados en el análisis mixto para comparar tanto la clase de bioestimulante como el método utilizado. No se observaron diferencias significativas en ninguna de las comparaciones.

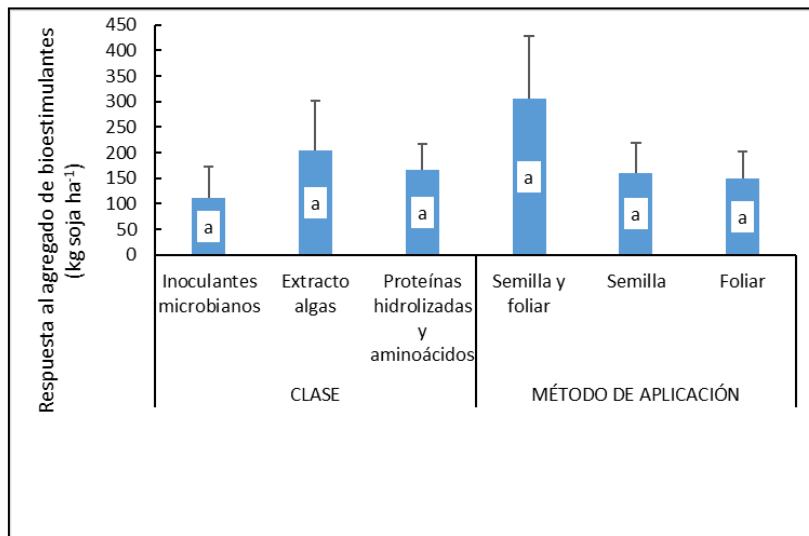


Figura 2. Respuesta de soja al agregado de bioestimulantes en función de la clase y de la ubicación. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Efecto promedio del agregado de bioestimulantes sobre el rendimiento y sus componentes.

El agregado de bioestimulante en el cultivo de soja incrementó el rendimiento de soja (Figura 3) siendo el componente “número de granos por unidad de superficie” el que se incrementó como respuesta al tratamiento, con una diferencia de 109,9 gr m⁻². El uso de bioestimulantes no afectó el peso de los granos (Tablas 5 y 6).

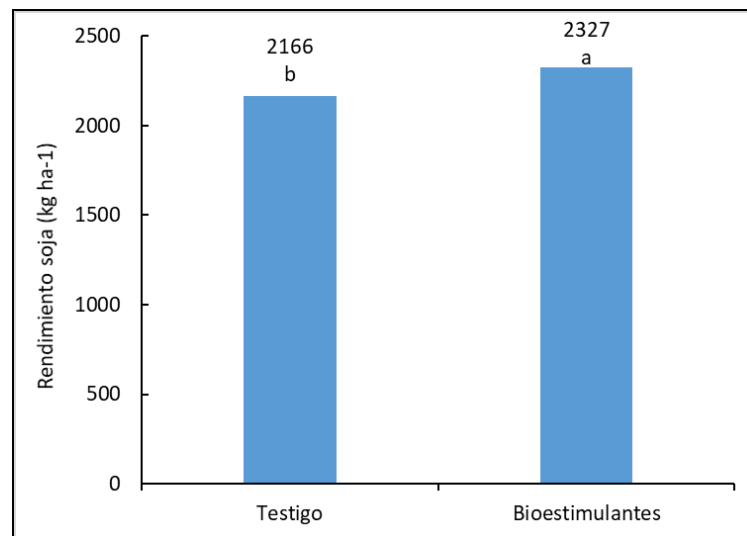


Figura 3. Rendimiento de soja en función al agregado de bioestimulantes. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Tabla 5: P_{1000} en función de los tratamientos. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Tratamiento	P_{1000}	E.E.
Testigo	142,2 a	8,1
Bioestimulantes	142,8 a	8,0

Tabla 6: Granos por metro cuadrado en función de los tratamientos. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Tratamiento	granos m ²		E.E.
Testigo	1560,9	b	271,8
Bioestimulantes	1670,8	a	271,0

Consideraciones finales

El uso de bioestimulantes ofrece resultados promisorios, con incrementos de rendimientos modestos pero significativos entre el 6% y el 10%. Las respuestas encontradas son similares para las distintas clases de bioestimulantes y dicho efecto tampoco es afectado por el método de aplicación (junto a la semilla o al follaje del cultivo).

Una ventaja de estos insumos es poder aplicarlos junto con fitosanitarios (herbicidas, insecticidas y/o fungicidas).

Si bien el mecanismo que explique el incremento medido en rendimiento no está establecido, el efecto del agregado de bioestimulantes se relaciona a un aumento del número de granos por unidad de superficie.

Agradecimientos:

A los productores que facilitaron sus campos y por su colaboración para realizar estos ensayos: Néstor Lell, Andrés Rattero, Alfredo y Francisco Gutiérrez, Mauricio y Andrés Olivero, Cristhian Bergomás, Oscar Larracoechea.

A las empresas que apoyan el trabajo de la Agencia y que participaron de esta experiencia: Agroauxine, Yara, Terragene, Rizobacter, Fytec, Nitrap, Bontera, Italpolina y FMC.

Para seguir leyendo...

BIOSTIMULANT COALITION 2021. What are biostimulants? <http://www.biostimulantcoalition.org/about/>

CALVO P., NELSON L. and J.W. KLOEPPEREVANS 2014. Agricultural uses of plant biostimulants. Plant Soil 383: 3-41. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8>

EBIC 2021. Plant biostimulants contribute to climate-smart agriculture. European Biostimulants Industry Council. <https://biostimulants.eu/issue/plant-biostimulants-contribute-to-climate-smart-agriculture/> [Verificación: agosto 2021].

DI RIENZO J.A., CASANOVES F., BALZARINI M.G., GONZALEZ L., TABLADA M., ROBLEDO C.W. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

DU JARDIN P. 2012. The science of plant biostimulants-a bibliographic analysis. Contract 30-CE0455515/00-96, ad hoc Study on bio-stimulants products. https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/169257/1/Plant_Biostimulants_final_report_bio_2012_en.pdf [Verificación: agosto 2021].

VAN OOSTEN M.J., PEPE O. DE PASCALE S., SILLETTI S. and A. MAGGIO 2017. The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. Chem. Biol. Technol. Agric. (2017) 4:5.

Para más información:

Pautasso, Juan Manuel.

Tel. +541167946392

Correo: pautasso.juan@inta.gob.ar

Manchas causadas por *Cercospora kikuchii* en vainas verdes de soja: importancia de un diagnóstico correcto para definir el destino de los granos

Formento A.N.
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)
Estación Experimental Agropecuaria Paraná
Departamento Producción

Las vainas inmaduras de soja pueden presentar diversos síntomas de origen biótico (organismos vivos) o abiótico (factores climáticos). La diversidad de agentes etiológicos exige realizar un diagnóstico correcto por especialistas, con el uso de técnicas sencillas, rápidas y de bajo costo. La urgencia de los tiempos agrícolas, la necesidad de tomar decisiones para minimizar los daños en el cultivo y el diagnóstico errado pueden tener consecuencias serias, con un alto costo económico y ambiental.

En soja (*Glycine max*), el hongo necrotrófico *Cercospora kikuchii* en su fase patogénica puede ocasionar síntomas en todos los órganos de la planta, desde los hipocótilos y cotiledones en postemergencia, hasta las semillas en la etapa de madurez. Los síntomas más descriptos y fáciles de reconocer en condiciones de campo, son los que se manifiestan en hojas y semillas (Figura 1). En 2017, otros síntomas foliares muy diferentes a los conocidos, fueron caracterizados como manchas grandes, similares a las producidas por *Septoria glycines* (Figura 2).



Figura 1. Síntomas típicos de *Cercospora kikuchii* en hojas (izq.) y semillas (der.).



Figura 2. Síntomas atípicos de *Cercospora kikuchii* en folíolos de soja, similares a los ocasionados por *Septoria glycines* (mancha marrón).

En otros órganos, como los pecíolos y tallos, las lesiones se pueden confundir o estar integradas con las producidas por otros patógenos como *Colletotrichum* spp. y *Phomopsis* spp. En vainas, las manchas ocasionadas por *C. kikuchii* se identifican en el estadio de madurez fisiológica (R8) (Figura 3).



Figura 3. Vainas de soja con síntomas de *Cercospora kikuchii* (izq.) y vainas/semillas procedentes de cultivos sin y con aplicación de fungicidas (der.).

C. kikuchii posee un largo período de incubación, puede estar en el tegumento de la semilla, pasar a cotiledones (Figura 4) e hipocótilos y posteriormente, se puede hacer visible desde R4 (una vaina de 2 cm en uno de los cuatro nudos superiores del tallo principal con hojas totalmente desplegadas) en adelante (según condiciones climáticas conductivas) en pecíolos, hojas y tallos, hasta el final del ciclo del cultivo.



Figura 4. Tegumento y cotiledones con síntomas de *Cercospora kikuchii*.

En vainas inmaduras aun verdes, se pueden observar diferentes daños producidos por otros hongos como *Rhizoctonia*, *Sclerotinia* y *Corynespora*, además de *Colletotrichum* y *Phomopsis* (los más frecuentes). Adicionalmente, algunos virus, bacterias, insectos fitófagos, y factores abióticos como la amplitud térmica, bajas temperaturas otoñales (marzo – abril), exceso de lluvias, abertura de la sutura carpelar, lesiones por granizo, etc. pueden ocasionar vainas manchadas (Figura 5). Cuando las plantas aún están verdes, en estadios fenológicos R5 o R6 (llenado de granos), es poco frecuente detectar y reconocer las manchas que ocasiona *C. kikuchii*.



Figura 5. Distintos tipos de síntomas en vainas inmaduras de soja ocasionados por otras causas, diferentes a los de *Cercospora kikuchii*.

Vainas con coloración rojiza o púrpura generalizada, se adjudican erróneamente a *C. kikuchii*, por lo cual es necesario insistir, aunque parezca reiterativo, en establecer como un paso excluyente, realizar un diagnóstico correcto por especialistas fitopatólogos debido a la diversidad de síntomas. Previo a la trilla, es de fundamental importancia definir el destino de la cosecha, es decir si los granos serán derivados a la industria o para su uso como semilla.

Manchas en vainas de soja, la problemática

A fines de marzo de 2021, se recibieron muestras de plantas de soja de un cultivar del grupo de madurez VI, en el estadio R6 (grano completamente desarrollado), con un severo manchado de vainas y un avance desde los primeros nudos de la planta hacia arriba. Las manchas grandes y difusas (sin margen definido) de color castaño claro, de aspecto húmedo, podían estar ubicadas en cualquier parte de la vaina, en el extremo distal, extremo apical o área central, y abarcando toda la vaina al final de la infección (Figura 6). En estadios reproductivos críticos del cultivo de soja, el aspecto general y sanitario era bueno por lo cual no recibió aplicaciones de fungicidas, aun cuando entre el 03/03 y 20/03 ocurrieron un total de 78 mm, pero luego de 135 mm ocurridos el 26/03, los síntomas en vainas se hicieron muy evidentes. El lote acumuló entre enero y abril de 2021, más de 600 mm (datos registrados por el productor). La cantidad de mm ocurridos entre R3 y R5, considerando lluvias mayores a 7 mm, es un buen indicador de la severidad de las enfermedades foliares de fin de ciclo en R7 (comienzo de madurez fisiológica) según Carmona *et al.* (2010).



Figura 6. Síntomas en vainas de un cultivar de soja del GM VI, en estadio fenológico R6.

¿Cómo se estudió el problema y qué resultados se obtuvieron?

Algunas vainas se desinfectaron superficialmente por inmersión durante 3 minutos con una solución de hipoclorito de sodio al 5 % y otras, en agua destilada estéril durante el mismo tiempo; se dejaron secar y posteriormente, se incubaron en cámara húmeda durante 5 días (Figura 7).



Figura 7. Vainas de soja con desinfección (izq.) y sin desinfección (der.).

A las 48 horas de iniciada la incubación, se observaron algunas pocas acérvulas de *Colletotrichum* sp., y escasos picnidios de *Phomopsis* sp., ambos patógenos de soja. Sobre los tejidos, rápidamente se visualizaron manchas oscuras casi negras, circulares a irregulares, que se unían formando lesiones más grandes (Figura 8) donde se destacaban primeramente los estromas como puntos oscuros (Figura 9) y luego conidióforos y conidios de *C. kikuchii* (Figura 10).



Figura 8. Manchas típicas de *Cercospora kikuchii* en tejidos carpelares externos e internos de soja.



Figura 9. Manchas oscuras con estromas (puntos negros) de *Cercospora kikuchii* de donde emergen los conidióforos y conidios.

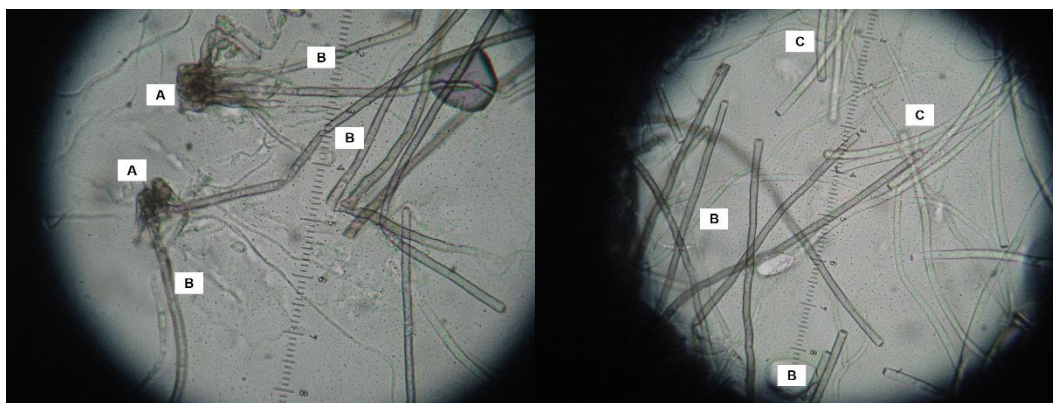


Figura 10. Estromas (A), conidióforos oscuros (B) y conidios hialinos (C) de *Cercospora kikuchii*.

Las semillas de las vainas enfermas obtenidas por trilla manual, fueron analizadas con el método “blotter test”, determinándose un 28 % de mancha púrpura ocasionada por *C. kikuchii* y un poder germinativo de 98 % (Figura 11). Este hongo, no afecta marcadamente el poder germinativo, pero la semilla enferma introduce inóculo en áreas libres no contaminadas como variabilidad genética que puede promover la aparición de nuevas formas patogénicas más agresivas y resistentes a los fungicidas comúnmente utilizados. Estudios recientes indican que *C. kikuchii* ocasiona una reducción de la calidad de la soja y del precio potencial en el mercado, además de una reducción de la germinación y del vigor en un 30,9 y 58,3 %, respectivamente (Turner et al., 2020).



Figura 11. Semillas con mancha púrpura (*Cercospora kikuchii*) obtenidas de vainas sintomáticas de soja.

Las semillas asintomáticas (sin coloración púrpura) por ausencia de la exotoxina cercosporina (pigmento rojo fotosensible), también pueden ser portadoras del patógeno.

Por otro lado, sumando mayor complejidad al patosistema Soja-*Cercospora*, el tizón foliar y la mancha púrpura de la semilla pueden ser causados por *C. kikuchii* y otras especies de identificación incierta como *C. cf. richardiicola*, *C. cf. sigesbeckiae*, *C. cf. nicotianae* y *C. cf. flagellaris*. Se conoce que el intercambio genético interespecífico juega un papel importante en la dinámica evolutiva de las especies de *Cercospora* en América del Sur (Guillín, 2018; Lavilla *et al.*, 2021; Sautua *et al.*, 2020a). Todo esto, sumado a una resistencia genética insuficiente, la sobrevivencia del patógeno en la semilla y el rastrojo, la poca práctica rotación por más de 36 meses sin soja y la resistencia a algunos fungicidas (Sautua *et al.*, 2020b), requieren incorporar y aplicar los conocimientos alcanzados hasta el presente.

En síntesis...

- El patosistema Soja - *Cercospora kikuchii* es muy complejo.
- Síntomas similares pueden ser causados por diversos factores bióticos y abióticos.
- Existe un abordaje incompleto para determinar el/los agentes causales de una sintomatología específica, solo por imágenes y con un uso indiscriminado de la información de redes sociales.
- La información rápidamente viralizada por los nuevos métodos comunicacionales, conduce a respuestas rápidas e inconsistentes que suman confusiones con serias consecuencias en una agricultura cada vez más compleja y exigente.
- Un diagnóstico correcto es una buena práctica agrícola y la base de un adecuado manejo sanitario de un cultivo.

Para seguir leyendo...

CARMONA M., MOSCHINI R., CAZENAVE G. y F. SAUTUA 2010. Relación entre la precipitación registrada en estados reproductivos de la soja y severidad de *Septoria glycines* y *Cercospora kikuchii*. *Tropical Plant Pathology* 35(2):71-78.

LAVILLA M., IVANCOVICH A. y A. DÍAZ-PALEO 2021. Evaluación del tizón foliar y la mancha púrpura en semilla de soja en Argentina. *Agronomía Mesoamericana* 32(2):619-628. <https://doi:10.15517/am.v32i2.43359>

GUILLIN E.A. 2018. Sobre la mancha púrpura de la semilla de la soja: naturaleza de su etiología y diversidad. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. http://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis_n6511_Guillin [Verificación: julio 2021].

SAUTUA F.J., SEARIGHT J., DOYLE V.P., SCANDIANI M.M. and M.A. CARMONA 2020a. *Cercospora cf. nicotianae* is a causal agent of *Cercospora* leaf blight of soybean. *European Journal of Plant Pathology* 156:1227–1231. <https://doi.org/10.1007/s10658-020-01969-z>

SAUTUA F.J., DOYLE V.P., PRICE P.P., PORFIRI A., FERNANDEZ P., SCANDIANI M.M. and M.A. CARMONA 2020b. Fungicide resistance in *Cercospora* species causing cercospora leaf blight and

purple seed stain of soybean in Argentina. *Plant Pathology* 69(9):1678-1694.
<https://doi.org/10.1111/ppa.13261>

TURNER R.E., EBELHAR M.W., WILKERSON T., BELLALOUI N., GOLDEN B.R., IRBY J.T. and S. MARTIN 2020. Effects of Purple Seed Stain on Seed Quality and Composition in Soybean. *Plants* 9(8), 993; <https://doi.org/10.3390/plants9080993>

Agradecimientos: al Ing. Agr. Máximo Mercier por las imágenes de campo y remisión de las muestras.

Para más información: formento.angela@inta.gob.ar

Productividad de soja de segunda y comunidades de malezas en sistemas de intensificación sustentable y de transición ecológica

Sangoy Puntin N.¹, Poggio S.L.² y Coll L.¹

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria Paraná

²IFEVA/Facultad de Agronomía - Universidad de Buenos Aires/CONICET

Los sistemas agrícolas basados en principios ecológicos representan un desafío al manejo integrado de adversidades bióticas, produciendo cambios en la estructura de las comunidades de malezas y en la competencia con los cultivos. En un experimento en la EEA Paraná del INTA, luego del primer año de evaluación, una mayor riqueza y abundancia de malezas podrían haber contribuido a reducir el rendimiento de la soja de segunda en transición ecológica.

La búsqueda de sistemas de producción más amigables con el ambiente se aceleró por la demanda de la sociedad en general y el conflicto urbano-rural en la periferia de las poblaciones en particular. Si bien como solución se plantean modelos agroecológicos o ecológicos, en sistemas de producción agrícola extensivos persisten interrogantes acerca del manejo de adversidades bióticas que dificultan la transición hacia estos modelos. Entre estas adversidades, las malezas plantean serios desafíos a la producción y calidad de los cultivos agrícolas tanto en los sistemas productivos tradicionales como en aquellos en transición ecológica. Aunque la transición ecológica es un proceso complejo y multidimensional, en general se caracteriza por el rol otorgado a la naturaleza en el diseño de nuevas soluciones para reducir el impacto ambiental y desarrollar servicios ecosistémicos (Magrini et al., 2019).

Vitta *et al.* (2004) mencionan que los cambios en los modelos productivos modifican las tácticas y estrategias utilizadas para el manejo de malezas y determinan cambios en sus comunidades. El control mecánico de malezas (reja plana), la siembra de cultivos de cobertura con su correspondiente rolado, la elección de los cultivares con mayor habilidad competitiva y los cambios en el arreglo espacial del cultivo figuran entre las tácticas efectivas para el manejo de malezas en los modelos de transición ecológica.

Por otro lado, los sistemas agrícolas actuales, ven reducida la eficacia de los herbicidas por la evolución de resistencias en distintas malezas, debiendo así recurrir a otros principios activos. Esto ha llevado, por un lado, al aumento de los costos de producción y, por otro, al incremento de los dobles cultivos y la incorporación de los cultivos de cobertura promovidos por la intensificación sustentable. La intensificación sustentable (IS) se define como un proceso o sistema en el que los rendimientos agrícolas aumentan sin un impacto ambiental adverso y sin la incorporación de tierras no agrícolas adicionales (Pretty y Pervez Bharucha, 2014).

En este contexto, han surgido distintas experiencias enfocadas en la evaluación de sistemas de manejo basados en principios ecológicos. Entre estas experiencias, en la EEA Paraná del INTA se ha iniciado un experimento de larga duración en 2020, donde se comparan un sistema de manejo de Intensificación Sustentable (IS) y otro de Transición Ecológica (TE). Las investigaciones se realizan con un abordaje interdisciplinario que abarca desde el uso de recursos y la evolución de las adversidades bióticas, hasta el impacto ambiental y económico.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la relación entre la producción del cultivo de soja de segunda y las diferencias en la estructura florística de las comunidades de malezas entre sistemas de Intensificación Sustentable (SI) y de Transición Ecológica (TE).

¿Cómo se hizo el trabajo?

En un experimento de larga duración iniciado en otoño de 2020 en la EEA Paraná del INTA, se evaluó la estructura de la comunidad de malezas en dos sistemas de producción contrastantes (1) Intensificación Sustentable (IS) con uso de fitosanitarios y (2) Transición Ecológica (TE) sin aplicación de fitosanitarios y cambios en el arreglo espacial del cultivo. Ambos sistemas presentaron la misma secuencia de cultivos compuesta por trigo/soja de segunda fecha de siembra - cultivo de cobertura polifítico/maíz de segunda fecha de siembra. El diseño experimental es en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones, considerando como tratamientos los sistemas de manejo IS y TE. Cada parcela tiene aproximadamente 2500 m².

Si bien las dos fases anuales de la secuencia de cultivos están presentes cada año, la evaluación que se presenta aquí se realizó sólo en el cultivo de soja. La soja del sistema de IS se sembró a 0,52 m entre hileras, mientras que en el tratamiento TE se sembró a 0,18 m para favorecer el cierre anticipado del canopeo del cultivo. En ambos casos, el 19 de diciembre se sembró el cultivar RA 5816 con una densidad de 50 semillas m⁻². Previo a la siembra de la soja de segunda, en el tratamiento IS, se aplicó 1 l ha⁻¹ de cletodim combinado con 0,5 l ha⁻¹ de aceite metilado de soja. Posteriormente, en postemergencia, también en IS se aplicó una mezcla de 3 l ha⁻¹ de glifosato (48%) y 0,8 l ha⁻¹ de imazetapir (10%) para complementar el control de malezas y 0,3 l ha⁻¹ de lufenuron (5%) para controlar trips.

A los efectos de conocer y caracterizar eventuales diferencias estructurales en las comunidades de malezas asociadas a ambos sistemas de producción, se realizó un relevamiento sistemático con 64 marcos (0,25 m²) por parcela, dispuestos en cuatro transectas paralelas espaciadas cada 5 m. Se listaron las especies presentes en cada cuadrante, para determinar la riqueza florística de la comunidad (nº especies parcela⁻¹) y se estimó la abundancia, es decir, el número de individuos de cada especie por unidad de área. Los censos se realizaron en dos momentos del ciclo del cultivo V5-V6 y en R5.6-R5.9 (Fehr, Caviness *et al.*, 1971). Por otro lado, se estimó la biomasa aérea de las malezas y la soja mediante 4 marcos (0,25 m²) por parcela, en tres momentos diferentes V6-V7, R4 y R7 (madurez fisiológica del cultivo).

Finalmente, la soja se cosechó en madurez con cosechadora experimental en una superficie de 200 m² y se estimó el rendimiento en grano. Se realizaron análisis de varianza de las distintas variables y cuando hubo efecto de los tratamientos, se aplicó el test de comparación de medias LSD de Fisher.

¿Qué resultados se obtuvieron?

El clima

El año 2020 fue extremadamente seco (693 mm) en la EEA Paraná y alrededores, en comparación con el promedio histórico (1035 mm, serie histórica 1934 -2019, Fig. 1). La recarga otoñal del perfil del suelo fue parcial por los bajos valores de las lluvias y, a su vez, el consumo del cultivo de trigo dejó escasas reservas de humedad en el suelo. Luego durante el periodo vegetativo del cultivo de soja, las lluvias ocurridas permitieron un crecimiento y desarrollo adecuados. Sin embargo, considerando la falta de lluvias durante febrero, en pleno periodo reproductivo, la menor disponibilidad hídrica puede haber incrementado la competencia entre las malezas y la soja limitando la fijación de granos.

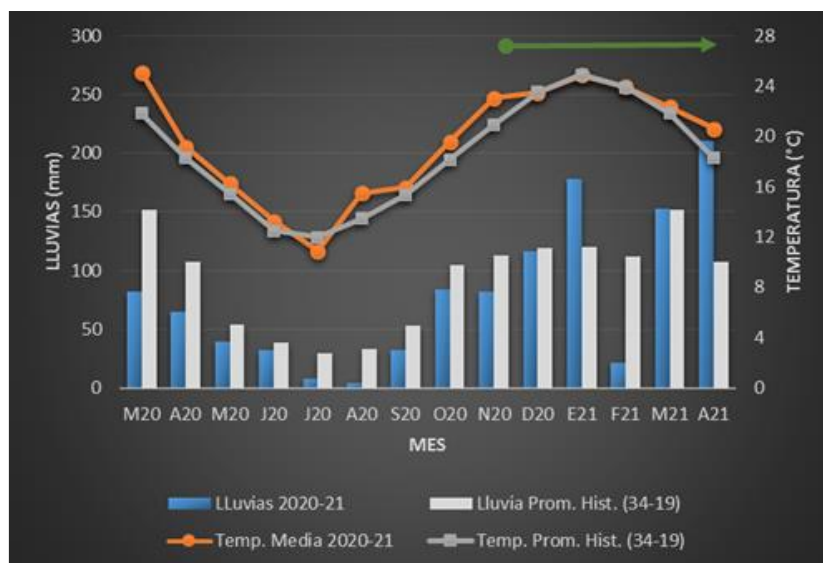


Figura 1 - Lluvias mensuales, temperaturas medias mensuales del ciclo agrícola 2020/21 y promedios de la serie histórica 1934-2019. Datos del Observatorio Agrometeorológico de la EEA Paraná del INTA. La recta verde indica el ciclo del cultivo de soja.

Riqueza de especies y abundancia de malezas

La riqueza y abundancia de la comunidad de malezas difirió entre sistemas de producción. La riqueza específica fue de 35 especies pertenecientes a 15 familias botánicas, predominando las especies dicotiledóneas por sobre las monocotiledóneas. Las familias más representadas fueron *Asteraceae* y *Poaceae*. La riqueza del sistema TE fue significativamente mayor a la del sistema IS en el segundo censo realizado en el estado R5 del cultivo de soja (Fig. 2).

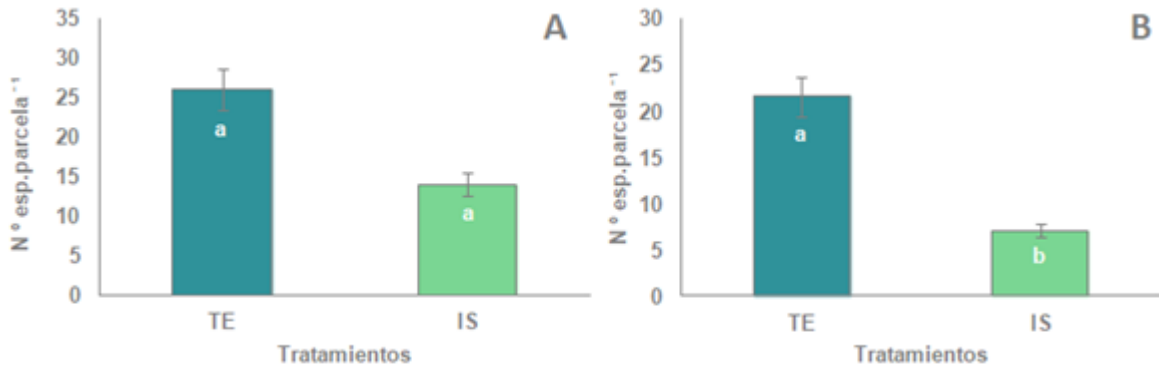


Figura 2 - Riqueza específica de la comunidad de malezas (N° esp. parcela⁻¹) para los tratamientos TE (Transición ecológica) e IS (Intensificación sustentable), en V6-V7 (A) y en R5 (B) del ciclo del cultivo de soja en la EEA Paraná del INTA, 2020/21. Letras diferentes entre columnas indican diferencias significativas (alfa=0,05). Segmentos verticales en las barras representan el desvío estándar.

En lo que respecta a la abundancia, ésta fue significativamente mayor en el sistema de transición ecológica (Fig. 3), atribuida principalmente a la presencia de *Echinochloa* spp., *Digitaria sanguinalis* y *Amaranthus hybridus*. Además, se registró un elevado establecimiento espontáneo de plantas guachas de trigo (*Triticum aestivum*).

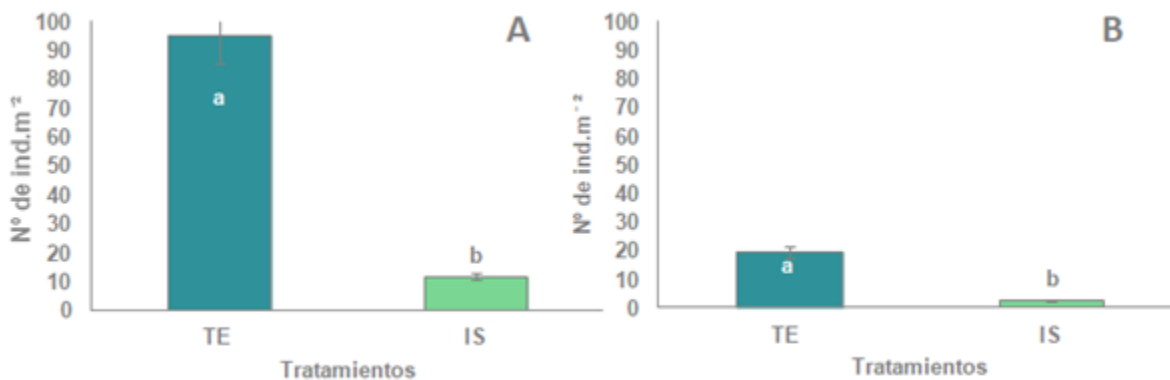


Figura 3 - Abundancia de malezas (N° de ind. m⁻²) para los tratamientos TE (transición Ecológica) e IS (Intensificación sustentable), en V6-V7 (A) y en R5 (B) del ciclo del cultivo de soja en la EEA Paraná del INTA, 2020/21. Letras diferentes entre columnas indican diferencias significativas (alfa=0,05). Segmentos verticales en las barras representan el desvío estándar.

Biomasa aérea de cultivo y las malezas

Durante el periodo vegetativo de la soja (V6) la producción de biomasa del cultivo fue un 50 % más alta en el manejo IS (Fig. 4), probablemente producto de la mayor competencia ejercida por las malezas en el tratamiento TE. Sin embargo, ambos sistemas de manejo no difirieron estadísticamente en la biomasa producida, tanto en el muestro en V6 como en las dos etapas posteriores de evaluación, inicio del periodo crítico para la determinación del número de granos (R4) y madurez fisiológica del cultivo (R7). En cambio, la biomasa aérea total de malezas siempre fue superior en el sistema TE.

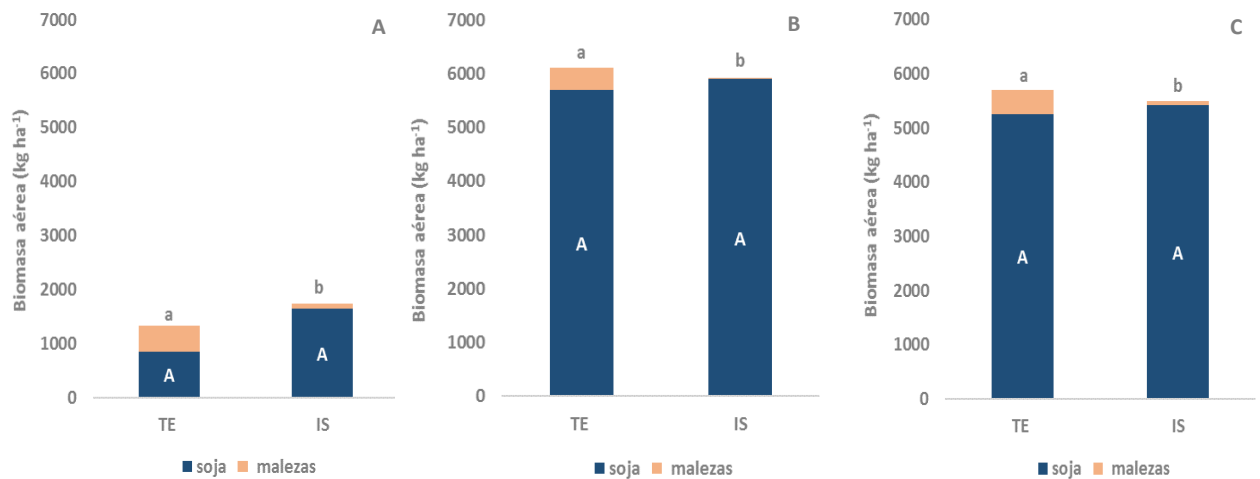
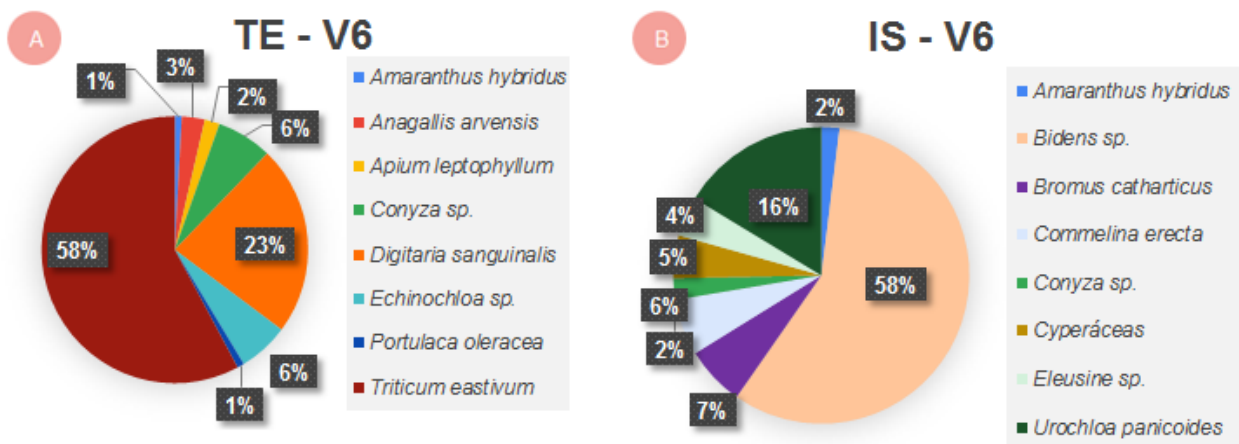


Figura 4 - Evolución de la producción de biomasa aérea de soja de segunda y malezas para los tratamientos TE (transición Ecológica) e IS (Intensificación sustentable) en la EEA Paraná del INTA, 2020/21. (A): Biomasa en V6; (B): Biomasa en R4 y (C): Biomasa en R7. Letras diferentes entre columnas indican diferencias significativas (alfa=0,05), mayúsculas para biomasa de soja y minúsculas para biomasa de malezas.

La contribución porcentual de las malezas a la biomasa cosechada varió según el tratamiento y momento de muestreo en el ciclo del cultivo. En TE (Fig. 5) se observó una importante proporción de plantas guachas de trigo en los primeros estadios del cultivo de soja, las cuales disminuyeron luego por condiciones ambientales desfavorables para su crecimiento. Sin embargo, se observó una importante contribución de *Echinochloa* spp. y *Digitaria sanguinalis* en los tres muestreos, siendo relevantes también *Conyza* spp. y *Sorghum halepense* hacia el final del ciclo del cultivo. En cambio, en el sistema de IS, la mayor contribución de malezas estuvo dada por especies como *Bidens* spp., *Amaranthus hybridus* y *Ciperaceae* evidenciando la presencia de “manchones” de malezas en algunos sectores.



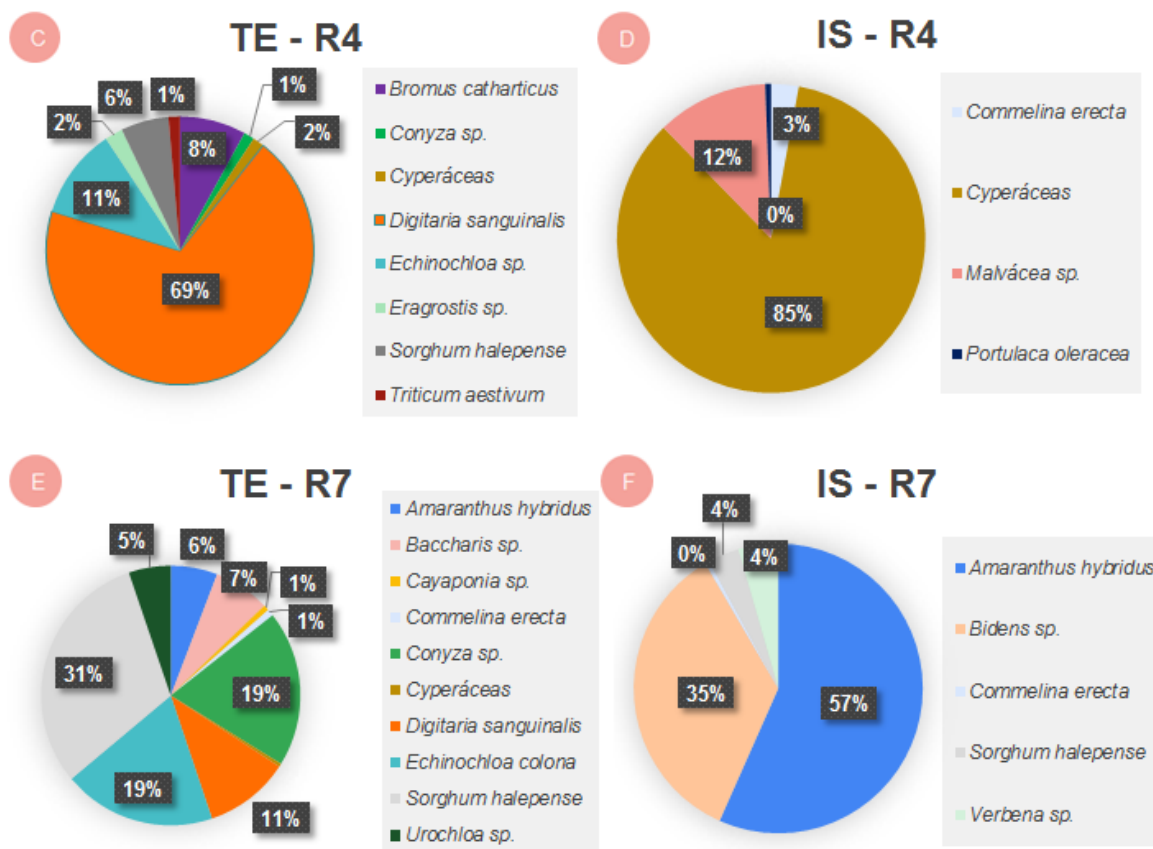


Figura 5 - Contribución relativa (%) de cada especie a la biomasa total cosechada de la comunidad de malezas. A, C y E: Sistema de Transición Ecológica en V6, R4 y R7 del cultivo de soja. B, D, F: Sistema de Intensificación Sustentable en V6, R4 y R7 en el INTA EEA Paraná 2020/21.

Partición y rendimiento de soja

En general, el rendimiento de soja se redujo a medida que aumentó la biomasa de las malezas durante el periodo vegetativo de la soja ($r=-0,85$; $p=0,003$). En cambio, la biomasa de malezas en R4 y en R7 de la soja no presentó correlación con el rendimiento. Estos resultados concuerdan en parte con el concepto de periodo crítico de control de malezas (Henry y Bauman, 1989; Eyherabide y Cendoya, 2002). También, Pautasso (2015) informó pérdidas de rendimiento de soja en la zona por el incremento en la abundancia de malezas como *Conyza* spp. o *Echinochloa colona*, aunque a partir de evaluaciones a la madurez del cultivo.

Por último, a pesar de haber alcanzado prácticamente la misma biomasa aérea a la madurez (Fig. 4), el rendimiento de soja fue superior en el sistema de manejo de IS (Fig. 6) posiblemente por una mayor partición de fotoasimilados hacia los granos. Es probable que la competencia con las malezas analizada en éste trabajo (Fig. 2, 3 y 4), junto con el daño ocasionado por trips o el aborto de estructuras reproductivas por efecto del complejo de chinches fitófagas (Saluso A., comunicación personal), hayan reducido el índice de cosecha de la soja en el sistema de transición ecológica (15 % menor).

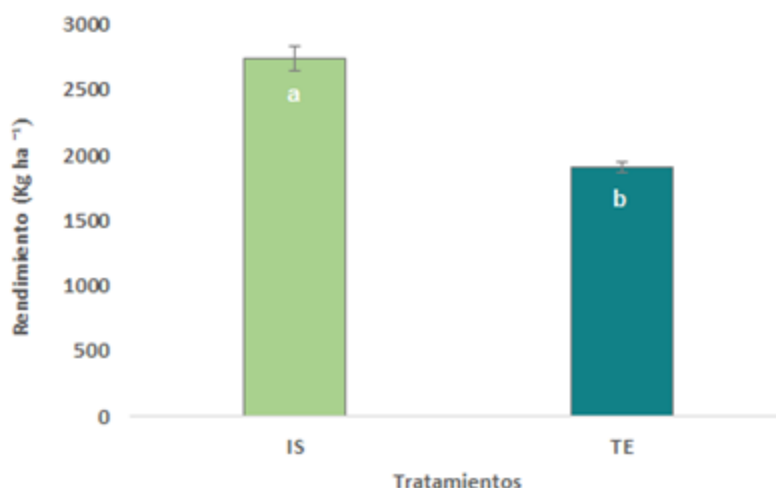


Figura 6 - Rendimiento de soja de segunda en sistemas bajo manejo de IS (Intensificación Sustentable) y de TE (Transición Ecológica) en la EEA Paraná del INTA, 2020/21. Letras diferentes entre columnas indican diferencias significativas (alfa=0,05).

Consideraciones finales

Los resultados de este primer año de evaluación dejan entrever que el manejo sustentable de las malezas continúa siendo un gran desafío, especialmente en sistemas de transición ecológica. Considerando que el sistema de transición ecológica evaluado no se encuentra estabilizado, sino en etapas iniciales de implementación y consolidación, resulta clave la investigación que integre el conocimiento agronómico con la ecología de malezas, de manera tal que podamos comprender los procesos biológicos y ecológicos que determinan la estructura de la comunidad de malezas. Será un camino arduo que debe ir acompañado con el diseño de estrategias de manejo integrado de malezas e invertebrados basadas en principios ecológicos para promover una agricultura sustentable con impacto ambiental reducido.

Agradecimientos

Se agradece la colaboración en la provisión de insumos para llevar adelante el ensayo de COOPAR, Syngenta y Rizobacter.

Para seguir leyendo ...

EYHERABIDE J.J. and CENDOYA M.G. 2002. Critical Periods of Weed Control in Soybean for Full Field and In-Furrow Interference. *Weed Science*, 50(2), p 162-166.

FEHR W.R., CAVINESS C.E., BURMOOD D.T. and PENNINGTON J.S. 1971. Stage of Development Descriptions for Soybeans *Glycine max* (L.) Merrill. *Crop Science*, 11:929-931

HENRY W.T. and BAUMAN T.T. 1989. Interference between soybeans (*Glycine max*) and common cocklebur (*Xanthium strumarium*) under Indiana field conditions. *Weed Science*, 37(6), p 753-760.

MAGRINI M.B., G. MARTIN, M.A. MAGNE, M. DURU, N. COUIX, L. HAZARD and G. PLUMEQOCQ. 2019. Agroecological Transition from Farms to Territorialised Agri-Food Systems: Issues and Drivers. In: Bergez JE., Audouin E., Therond O. (eds) *Agroecological Transitions: From Theory to Practice in Local Participatory Design*. Springer, Cham.

PAUTASSO J.M. 2015. Pérdida del rendimiento del cultivo de soja por la presencia de rama negra y capín. Serie de Extensión N° 76, Actualización Técnica de Soja, EEA Paraná INTA. p 87-92.

PRETTY J. and Z. PERVEZ BHARUCHA. 2014. Sustainable intensification in agricultural systems. *Annals of Botany* 114:1571-1596.

VITTA J., TUESCA D. and E. PURICELLI. 2004. Widespread use of glyphosate tolerant soybean and weed community richness in Argentina. *Agric. Ecosyst. Environ.* 103, p 621-624.

Para más información

Contacto del autor: sangoy.nerea@inta.gob.ar

Módulo Agroecológico de rotación agrícola extensiva. Resultados del cultivo de soja

Rodriguez H1,2., Rampoldi A1,3. Ornel E4
1Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)
2Agencia de extensión San Salvador
3Estación Experimental Agropecuaria C del Uruguay
4Asesor Privado

Realizar agricultura bajo un enfoque agroecológico supone una producción más sustentable que la realizada actualmente en forma convencional. La mayor dificultad para implementar este tipo de manejo en lotes agrícolas, es el control de adversidades biológicas (enfermedades, plagas y malezas), principalmente durante el periodo de crecimiento del cultivo.

Esta dificultad en el control de malezas, implica una menor producción de granos, que puede ser compensada económicamente por una reducción en el uso de herbicidas, insecticidas y fertilizantes. Bajo agricultura convencional o con agroecológica, la utilización de cultivos de cobertura o de servicios, es fundamental para reducir la presión de malezas y contribuir a la fertilidad del suelo.

Si bien, la incorporación en la rotación de pasturas perennes permite la recuperación de la fertilidad física y química del suelo, además de suprimir el ciclo de plagas, enfermedades y malezas. Bajo las condiciones del sistema productivo actual no es posible su implementación en los planteos agrícolas.

Debido al creciente interés de los productores de la región centro este de Entre Ríos, se instaló el módulo demostrativo en la localidad de San Salvador, en un lote con un suelo vertisol (Peluderte argiacuólico) con antecesor soja. Se establecieron dos tratamientos: agroecológico y convencional bajo una misma rotación agrícola con sus fases presentes simultáneamente (Trigo/Soja - Maíz - Soja). Lo cual generó seis parcelas de 30 m de ancho por 100 m de largo, con la siguiente denominación: convencional (T/S- M-S) y agroecológico (TAE/SAE- MAE-SAE).

En los dos tratamientos, se utilizó como parte de la secuencia, una mezcla de cultivos de servicio con vicia (*Vicia villosa*) 25 kg ha⁻¹ + trébol alejandrino (*Trifolium alexandrinum*) 15 kg ha⁻¹ como antecesor del maíz y vicia 25 kg ha⁻¹ con trébol alejandrino 15 kg ha⁻¹ y avena negra (*avena strigosa*) 10 kg ha⁻¹ como antecesor de la soja. En el año de inicio se sembraron tarde las coberturas (4/07/2020) y, se decidió reemplazar el cultivo de maíz de primera por soja, quedando conformada la secuencia de esta campaña por los 3 antecesores, cultivo de trigo, cobertura de vicia-trébol alejandrino y cobertura de vicia-trébol alejandrino-avena negra, para el cultivo de soja (Figura 1).

Las coberturas fueron sembradas en línea a 21 cm de distanciamiento y fertilizadas con 60 kg ha⁻¹ de fosfato monoamónico (MAP) en la línea de siembra. El secado de las coberturas en el tratamiento convencional se realizó el 17/12/2020 mediante el uso herbicidas (saflufenacil + glifosato + 2,4 D) acompañado de un desmalezado el 29/12/2020 como efecto doble golpe, para evitar el rebrote de plantas de rama negra (*Conyza* spp.). Bajo el manejo agroecológico se realizó el secado de las coberturas mediante rolado con doble pasada, de un rolo el 17 de diciembre y acompañada del desmalezado el 29 de diciembre como efecto doble golpe por la presencia de plantas de rama negra.



Figura 1. Vista del 28 de octubre de 2020 del estado de los antecesores del cultivo de soja a) cultivo de trigo, b) cobertura de vicia + trébol alejandrino y c) cobertura de vicia+ alejandrino+ avena.

El cultivo de trigo fue sembrado el 6 de julio y no difirió del manejo agroecológico, dado que no requirió aplicación de herbicidas pre y post emergentes debido a la baja presión de malezas. En cuanto a la nutrición del cultivo, ambos manejos recibieron 60 kg ha⁻¹ de MAP a la siembra y 80 kg ha⁻¹ de urea en macollaje. La cosecha de trigo fue el 23 de noviembre con un rendimiento de 3500 kg ha⁻¹.

El 28 de diciembre de 2020, se sembró el cultivar de soja NS 6483, a 52,5 cm de distanciamiento con una densidad de 34 semillas m⁻². Bajo manejo convencional, en el antecesor trigo, se realizó la aplicación de herbicidas para el control de las malezas. Se aplicó co-formulado (fomesafen + s-metolacoloro) en la emergencia del cultivo de soja y la aplicación de glifosato + cletodim el 18 de enero de 2021.

Bajo el manejo agroecológico no se pudo realizar el método de control de malezas previsto mediante el uso de escardillo. Como resultado, la presión de malezas fue elevada (Figura 2). Se estima que podría haberse controlado parcialmente con un escardillo, pero no se pudo utilizar por problemas de logística.

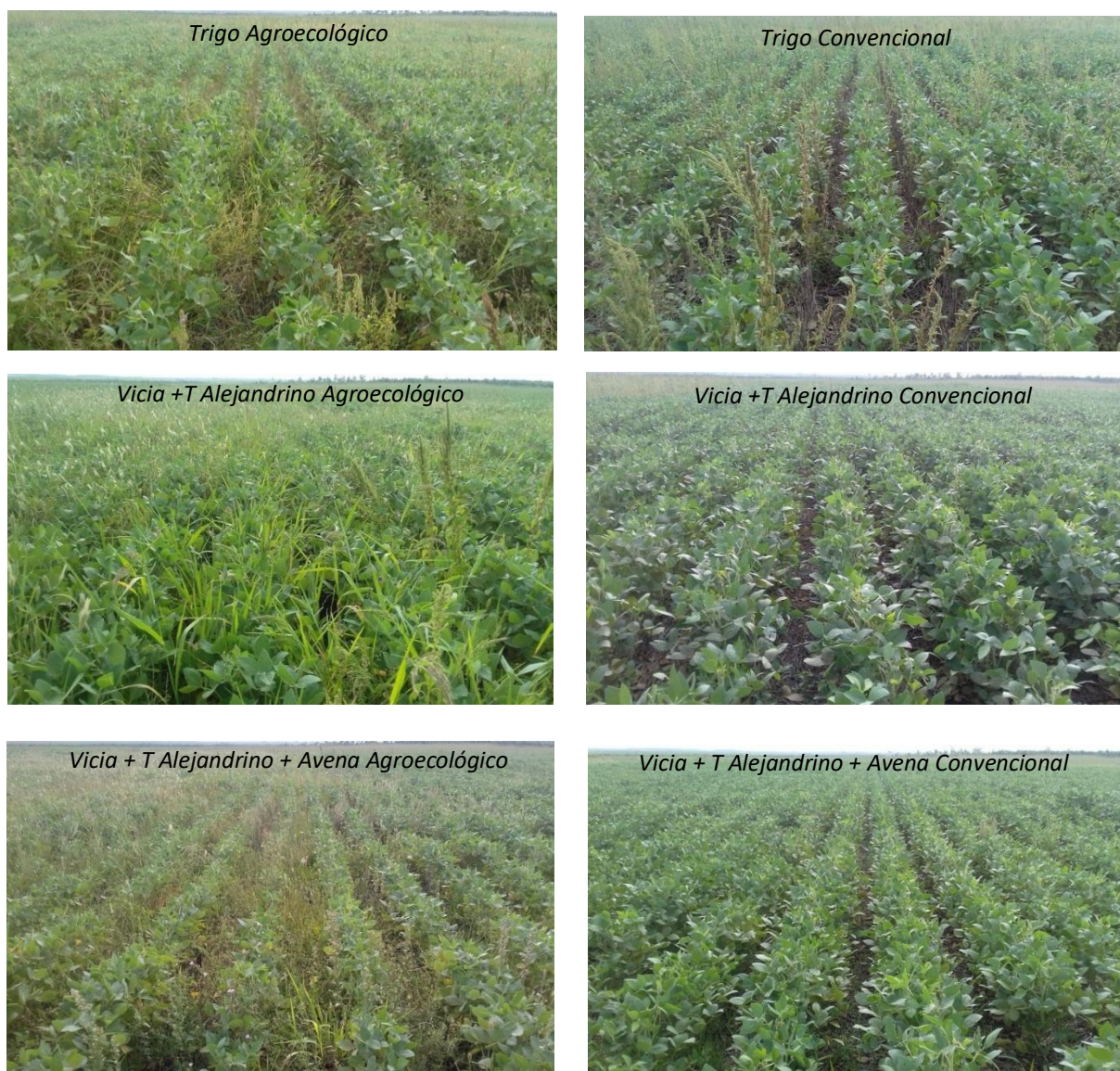


Figura 2. Vista del cultivo de soja en estado fenológico de R3 (inicio de fructificación) el 19 de marzo de 2021 en los diferentes antecesores bajo manejo agroecológico (izquierda) y convencional (derecha).

Las condiciones climáticas durante el periodo reproductivo del cultivo fueron desfavorables. Durante 28 días consecutivos de febrero y marzo no llovió, y por ende disminuyeron los rendimientos obtenidos en el cultivo de soja de segunda en el departamento San Salvador (1650 kg ha⁻¹, SIBER, 2021). En el módulo, se observa que el mayor rendimiento se alcanzó en el manejo convencional con la inclusión de cultivos de cobertura, alcanzando 1616 kg ha⁻¹ (Figura 3).

En promedio el manejo convencional permitió un incremento de rendimiento de 401 kg ha⁻¹ con respecto al agroecológico que logró en promedio un rendimiento de 1077 kg ha⁻¹.

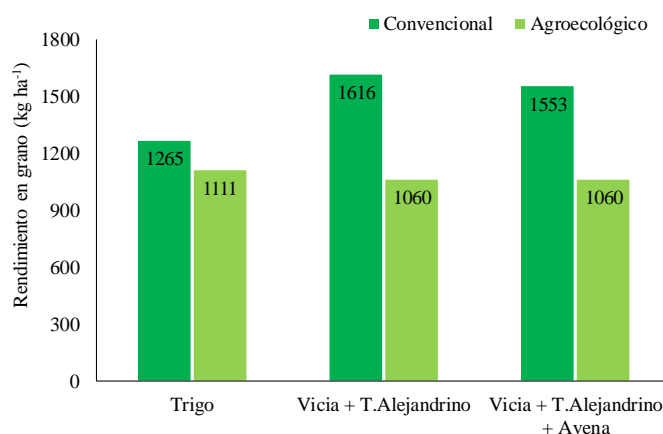


Figura 3. Rendimiento del cultivo de soja 2021 en los manejos convencional y agroecológico en los distintos antecesores, trigo, cobertura de vicia + trébol alejandrino y cobertura de vicia+ trébol alejandrino+ avena.

El rendimiento del cultivo de soja con el antecesor trigo con manejo convencional logró un rendimiento similar al alcanzado por los antecesores en manejo agroecológico., a pesar de que, en el manejo convencional con trigo como antecesor, se realizaron 3 aplicaciones de herbicida.

El análisis económico del cultivo de soja en los distintos manejos y antecesores, a través del margen bruto, resultante de la diferencia entre el ingreso obtenido menos los costos de producción en cada planteo (Tabla 1). Permite observar que el margen bruto más elevado se logró con el antecesor trigo agroecológico con \$ 12 410 a diferencia del margen de \$ 10 187 del trigo como antecesor en el manejo convencional. Con respecto a las coberturas, a pesar del mayor costo en semillas, la cobertura en manejo convencional, permitió un margen similar al antecesor trigo con manejo convencional. Pero en el manejo agroecológico, el mayor costo de semillas y el menor rendimiento generaron un margen negativo.

Tabla 1. Resultado económico del cultivo de soja en los manejos convencional y agroecológico con los antecesores trigo, cobertura de vicia + trébol alejandrino. Lugar y año

\$ ha ⁻¹	Trigo		Vicia +T alejandrino	
	convenciona l	Agroecológic o	Convencional	Agroecológico
Labores Cosecha Semillas	19 955	20 289	33 832	32 234
Fertilizante e insecticidas	3242	3242	3242	3242
Herbicidas	7539	0	4753	0
Costo total	30 736	23 531	41 828	36 973
Ingreso bruto	40 923	35 941	52 278	34 291
Margen Bruto	10 187	12 410	10 450	-1185

Estos resultados preliminares muestran la necesidad de evaluar estas prácticas agronómicas en condiciones climáticas más favorables y analizar el efecto de la evolución del banco de semillas de las malezas en la rotación.

Agradecimientos

Al establecimiento Arroyo Grande por permitir y acompañar la realización del módulo y a la empresa Forratec el aporte de semillas forrajeras.

Para seguir leyendo

SIBER.2021. Informe producción de soja-campaña 2020/21. Informes SIBER. Bolsa de cereales de Entre Ríos. www.bolsacer.org.ar

Para más información:

Contacto del autor
rodriguez.he@inta.gob.ar
Tel: 345 4327564

¿Se puede hacer soja, maíz y trigo en labranza convencional con el incremento de las lluvias en el departamento La Paz?

Manfredini G.M.² y Gvozdenovich J.J.¹

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA),
Estación Experimental Agropecuaria Paraná,
Departamento Recursos Naturales y Gestión Ambiental
² Alumno Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias
Pontificia Universidad Católica Argentina

Introducción

La provincia de Entre Ríos, con una superficie de 7 834 668 hectáreas se caracteriza por su gran proporción de suelos con aptitudes vérticas y en su mayoría de alta erosionabilidad debido a la baja capacidad de infiltración de los horizontes inferiores. En estos, las capas superficiales suelen tener buena estructuración, por lo que disminuye el escurrimiento, pero ante tormentas de alta intensidad el escurrimiento es mayor y es en estos casos donde se debe manejar el agua superficial excedente para que la misma no se desplace a gran velocidad generando erosión (Scotta *et al.*, 1989).

Estudios realizados por Donda *et al.*, (2018), demuestran cómo ha ido cambiando el régimen climático a través de los años, y especialmente la energía erosiva de las lluvias, pasando de 625 en la década del 80 (Rojas *et al.*, 1988), a más de 800 tonelámetros ha⁻¹ año⁻¹ en el 2020. Estos cambios fueron acompañados con el cambio en el uso de la tierra, nuevas tecnologías, mejoramientos genéticos y formas de siembras, desde labranza convencional a siembra con menor remoción del suelo. Actualmente la superficie con siembra directa en el país oscila alrededor del 81 %, similar a lo que ocurre en el departamento La Paz (Pognante *et al.*, 2011).

En Entre Ríos, unas 3 939 954 de hectáreas se ven afectadas por procesos de erosión hídrica, lo que representa aproximadamente un 50 % del área total provincial (Sasal *et al.*, 2015). Pito y Gvozdenovich (2018), estimaron que, para enero de 2018, unas 601.000 hectáreas se encontraban sistematizadas, aproximadamente un 36% de la superficie agrícola de Entre Ríos. En el departamento La Paz, podemos encontrar solo un 17% de la sistematización en estado muy bueno y un 22% de los lotes sistematizados se encuentran en estado malo. Esto se debe a terrazas cortadas, desagües dirigidos a las lomas, erosión en canales o falta de canales, terrazas borradas, rebalsadas o con problemas de paralelización por baja pendiente (Gvozdenovich *et al.*, 2020).

En el departamento La Paz, la superficie ocupada por cultivos agrícolas ronda las 151 000 ha, y el cultivo de soja ocupó aproximadamente 101 000 ha en el ciclo agrícola 2020/21 (Bolsa de Cereales de Entre Ríos. 2021). Cuando las rotaciones de cultivos poseen una proporción de soja mayor al 50% y los lotes están cultivados bajo labranza convencional, a pesar de realizar terrazas como tecnología para el control de erosión, los valores de pérdida de suelos continúan por encima de los niveles tolerables. La utilización de cultivos de cobertura previa al cultivo de soja de primera tiene efecto positivo sobre la disminución en la pérdida de suelo (Gvozdenovich y Barbagelata. 2016).

Por tal motivo, el objetivo de este estudio fue evaluar si con el aumento de la energía erosiva de las lluvias, es factible realizar labranza convencional para los cultivos de soja, maíz y trigo, en el área agrícola del departamento La Paz.

¿Cómo se realizó la experiencia?

El estudio se realizó en el norte de la provincia de Entre Ríos, Argentina, en el centro del departamento La Paz: Estancia Doña Inés (30° 52' S – 59° 30' O) (Figura 1). Para este trabajo se utilizaron datos de lluvias de los registros de la estancia, durante el periodo comprendido entre 1990-2020.

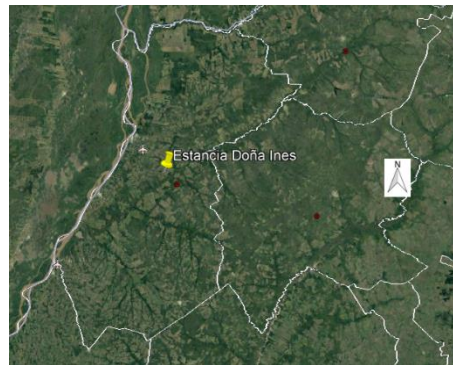


Figura 1. Ubicación geográfica de la Estancia Doña Inés. Departamento La Paz.

Las lluvias en la zona de estudio, rondan los 1 400 mm anuales, siendo los meses de octubre a abril los más húmedos, con lluvias mayores a 140 mm por mes y el resto de los meses con lluvias menores a 80 mm (Figura 2).

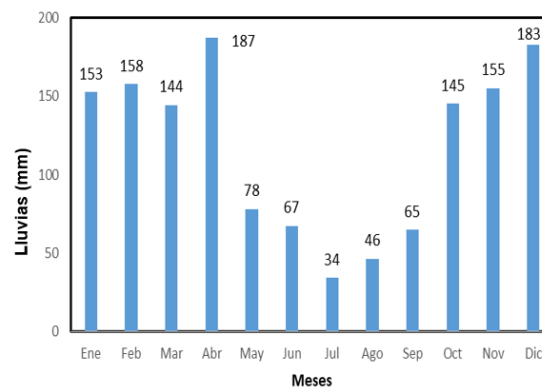


Figura 2. Promedio histórico de lluvias en el departamento La Paz. Fuente: Registro de lluvias de la Estancia Doña Inés. Departamento La Paz.

Se utilizó un pluviómetro de polipropileno con lectura directa y con aro de aluminio, ubicado en el establecimiento. A partir de estos datos, se elaboró una planilla de Excel para así calcular el Índice Modificado de Fournier (IMF) (Arnold. 1980). Dicho índice considera el mes más húmedo y también el resto de los meses del año, y de esta forma obtener el factor R a partir de datos locales.

$$IMF = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P_t}$$

Donde:
 IMF: es el Índice Modificado de Fournier.
 Pi: es la precipitación media mensual.
 Pt: es la precipitación anual media.

Para estimar la pérdida de suelo se utilizó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (Wischmeier y Smith. 1978), en la que se tienen en cuenta 5 factores:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

Donde:

A: pérdida anual de suelo en toneladas por hectárea y por año, R: energía de erosividad de las lluvias, K: factor de erosionabilidad del suelo, LS: longitud e inclinación de la pendiente, C: factor anual de cobertura y P: prácticas de conservación.

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el efecto de los diferentes años y manejos. El software utilizado fue INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2011).

¿Qué resultados se obtuvieron?

Lluvias

Al analizar los datos de lluvias históricas en el departamento La Paz, se puede observar una tendencia leve y no significativa (p -valor= 0,3714) en aumento del volumen de precipitación anual desde 1990 a 2020.

Hay alta variabilidad interanual de las lluvias, sin embargo, esta diferencia es menor aun si se toman los promedios de los primeros 20 años (1 386 mm) y de los últimos 11 años (1 468 mm), esto se puede deber a que en los últimos años los valores de las lluvias cambian más abruptamente entre año y año.

Como se observa en la figura 3, el año 2019 fue el año más lluvioso y al año siguiente, el 2020 fue el tercer año más seco de la serie histórica (1990-2020), lo cual no se traduce en un aumento o disminución del promedio histórico, sino que el promedio entre ambos períodos no varía, y el promedio de precipitación de ambos períodos no varían con el promedio total de la serie histórica.

Esto nos indica que la variación climática es alta año a año y no en el conjunto de años, lo cual podría asociarse a los efectos del cambio climático (Figura 3).

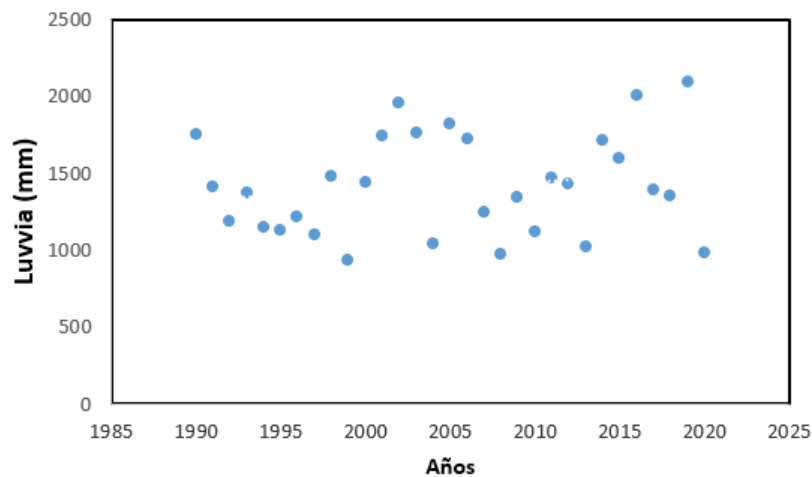


Figura 3. Lluvias en Estancia Doña Inés. Departamento La Paz. Período 1985 - 2020.

Energía Erosiva de las Lluvias: IMF y Lluvias

Para calcular la energía erosiva de las lluvias, se utilizaron las ecuaciones del IMF, ajustadas por Crettaz (2016), la cual utilizando el volumen precipitado estimamos su energía erosiva. Por lo tanto, podemos observar en el departamento La Paz una leve tendencia en aumento del índice y también la máxima energía erosiva registrada en el año 2016 (Figura 4).

Si comparamos los primeros años con los últimos (primeros 20 años y últimos 11 años), se puede observar como en los últimos años se hicieron picos más abruptos que en los años del primer período. Obteniendo un factor R para el departamento La Paz de $R = 837$ toneladas $ha^{-1} año^{-1}$ (1990-2020).

Al comparar el IMF con las lluvias, se puede observar claramente como coinciden los picos de años lluviosos con las barras de mayor IMF, por lo que se puede suponer que los años que más llueve son los años que más riesgo de erosión existe, ya que presentan mayor energía erosiva (Figura 4).

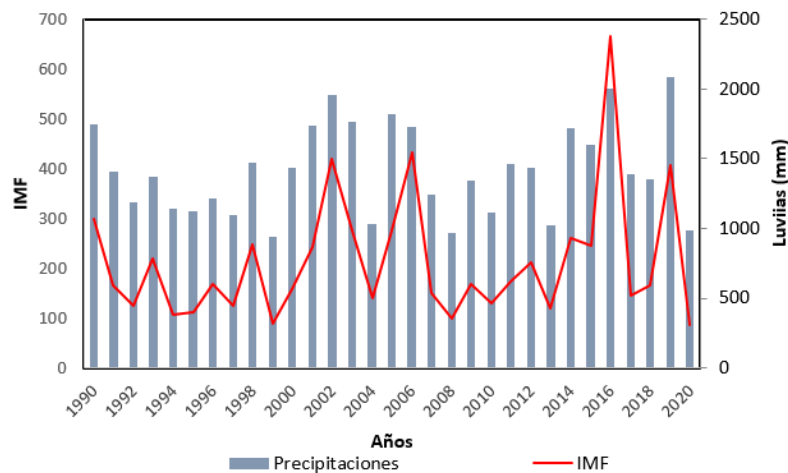


Figura 4. IMF para el departamento La Paz.

Energía Erosiva de las Lluvias: Factor R

Analizando el factor R promedio de los 30 años de datos históricos para el departamento La Paz ($R = 837$ toneladas $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$), con el factor R de cada año, se puede observar que en 18 años el factor R promedio fue inferior al promedio histórico, es decir, en el 58% de los años registrados hubo baja energía erosiva. En los 13 años restantes el factor R promedio fue superior, lo que significa que en el 42% de los años analizados el factor R anual superó al factor R promedio e indicaría que fueron años de energía erosiva alta, sobre todo años como el 2016 que presentó el factor R más alto con 2 061 toneladas $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ (Figura 5).

Para los años donde se superó la media del factor R, se puede asumir que en los campos sistematizados el efecto erosivo fue menor debido a prácticas conservacionistas, lo cual la pérdida de suelo se mantuvo dentro de los límites tolerables.

Teniendo en cuenta que por definición el valor del factor R es el promedio anual de una serie histórica, contemplando mínimos y máximos, lo encontrado en este trabajo ($R = 837$ toneladas $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$), relacionado con lo publicado por el INTA EEA Paraná (Crettaz, 2016), con un R de 759 toneladas $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ para el departamento La Paz, se observa que, el 58% de los años están por encima del promedio y el 42% restante por debajo, igual a lo evaluado en este trabajo con datos reales in situ. Lo que si se diferencia es la energía erosiva, 837 vs 759, esto indicaría que los datos de la EEA Paraná sub estiman el factor R en un 9%, aproximadamente, como lo muestra la figura 5.

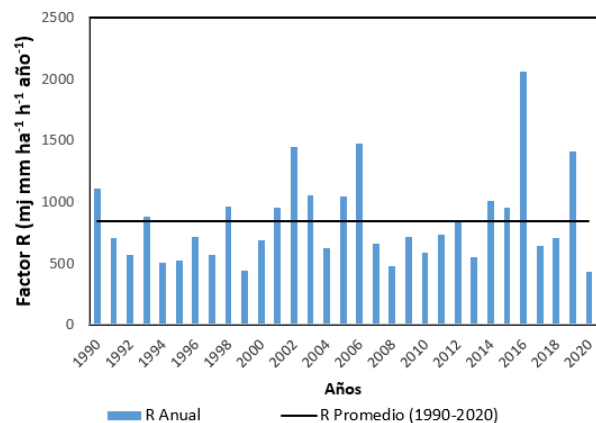


Figura 5. Factor R calculado para el departamento La Paz.

Pérdidas de suelo

Para la estimación de pérdidas de suelo en las zonas estudiadas, se compararon los valores de pérdida de suelo estimados por las ecuaciones del software USLE/RUSLE (Gvozdenovich *et al.*, 2015), utilizando las cinco estimaciones para el factor R en los últimos años: 1- factor R del año 1988 (Rojas *et al.* 1988), 2- factor R del año 2008 (Saluso, 2008), 3- factor R del año 2016 (Crettaz *et al.* 2016), 4- factor R del año 2018 (Donda *et al.*, 2018) y 5- factor R del año 2021, calculado en este estudio.

Tabla 1. Factores K representativos departamento La Paz.

La Paz		K = 0,462
Damasio	0,363	
Ramblones	0,42	
San Gustavo	0,408	
Saucecito	0,5422	
Estacas	0,583	
Santiago	0,377	
Alcaraz	0,58	
Tacuaras	0,423	

Para el factor K ($T_{nm} \text{ ha h} / \text{MJ ha cm}$), se realizó un promedio ponderado de los suelos más representativos de la zona, teniendo en cuenta la superficie. Tomando las Series de suelo predominantes (Paparotti y Gvozdenovich, 2006) y agregando las Series de suelos del sitio de muestreo de lluvias (Tabla 1).

En cuanto al factor C, se usaron tres escenarios de coberturas: 1- características de la década del 90, donde principalmente se usaban labranzas primarias y secundarias, 2- rotación agrícola en SD y 3- sistema en siembra directa con pasturas (Scotta y Gvozdenovich, 2014):

- 1- en labranza convencional se usó la rotación: Maíz (0,181)-Soja (0,412)-Soja (0,412)-Lino/Soja (0,23), por lo tanto, se usó un valor promedio del factor C = 0,309.
- 2- para siembra directa se tomó el promedio de las siguientes rotaciones Tr/Sj (0,039)-Maíz (0,10)-Soja (0,13), C = 0,09; y de la rotación Tr/Sj (0,039)-Maíz (0,10)-Avena/Soja (0,11), C = 0,083. Es decir que el valor C promedio = 0,086.
- 3- y para siembra directa con pasturas: pastura nueva (0,0252), pasturas intermedias en cobertura (0,0134) y pastura vieja con baja cobertura (0,0584), esto nos da un valor promedio de C= 0,032.

Para el factor LS se utilizó la longitud promedio de los suelos de la zona, y las pendientes promedios, a su vez, se calculó la pérdida de suelo con el uso de terrazas a 60 metros de longitud (Gvozdenovich y Saluzzio, 2016).

En el factor P, cuando no se sistematizo, se usó valor 1, y con terrazas valor 0.5.

Pérdida de suelo sin terrazas

En el departamento La Paz, se mantuvieron constantes los factores K, LS, y P, mientras que varió el factor R y C para los tres escenarios propuestos. Se observa claramente que, en labranza convencional, las pérdidas de suelo nunca estuvieron por debajo de las 60 $t \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, superando las 80 $t \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, como se observa en la Tabla 2, mientras que en labranza con siembra directa (Tabla 3), las pérdidas de suelo oscilaron entre 17 y 23 $t \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, es decir, una disminución de más del 70 %, pero aun los valores de pérdida siguen siendo altamente erosivos ($p\text{-valor} < 0,05$), superando el límite máximo permitido de 11 $t \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

Para el tercer escenario (Tabla 4), siembra directa de pasturas, las pérdidas de suelos se encuentran dentro de los valores permitidos, oscilando entre 6 y 8 $t \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Existe diferencia significativa en el aumento de pérdida de suelo con respecto a los años ($p < 0,05$).

Tabla 2. Calculo pérdida de suelo en departamento La Paz, en siembra convencional, $p=0,0123$

Años	Factor							Perdida de suelo
	R	K	L	S	LS	P	C Convencional (Mz-Sj-Sj-Ln/Sj)	A ($t \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$)
1988	625	0,462	600	2,5	0,76	1	0,309	67,8
2008	705							76,5
2016	759							82,3
2018	821							89,1
2021	837							90,8

Tabla 3. Cálculo pérdida de suelo en departamento La Paz, en siembra directa, $p=0,0127$.

Años	R	K	L	S	LS	P	C Siembra Directa (Rotación promedio)	A (t.ha ⁻¹ .año ⁻¹)
1988	625	0,462	600	2,5	0,76	1	0,086	18,9
2008	705							21,3
2016	759							22,9
2018	821							24,8
2021	837							25,3

Tabla 4. Cálculo pérdida de suelo en departamento La Paz, para pastura perenne, $p=0,0125$.

Años	R	K	L	S	LS	P	C (Pastura perenne)	A (t.ha ⁻¹ .año ⁻¹)
1988	625	0,462	600	2,5	0,76	1	0,032	7,0
2008	705							7,9
2016	759							8,5
2018	821							9,2
2021	837							9,4

Pérdida de suelo con terrazas

Para el cálculo de pérdida de suelo con terrazas se establecieron terrazas a 60 m, por lo que el factor L es 60 y manteniendo la misma pendiente (2,5 %), lo que produce una modificación del factor LS, pasando de 0,76 a 0,4 y el factor P para las terrazas sembrables, pasa de 1 a 0,5. Manteniendo constante los factores de la energía erosiva de las lluvias (R) y el suelo (K), se propusieron las mismas coberturas que en las mediciones anteriores.

En el departamento La Paz se puede apreciar que solo siembra convencional (Tabla 5), es la única que supera el límite aceptable de pérdida de suelo con valores entre 17 a 24 t ha⁻¹ año⁻¹. En el escenario de la rotación en siembra directa (Tabla 6), se logró alcanzar el límite de pérdida de suelo con valores que oscilan las 5 y 7 t ha⁻¹ año⁻¹. En el escenario de cobertura con pasturas perennes, como era de esperarse, se mantuvo por debajo del límite aceptable con valores que no superan las 3 t ha⁻¹ año⁻¹ (Tabla 7). Se observa un aumento significativo en la pérdida de suelo ($p<0,05$).

Tabla 5. Cálculo pérdida de suelo en departamento La Paz, en siembra convencional con terrazas, $p=0,0113$

Años	R	K	L	S	LS	P	C Convencional (Mz-Sj-Sj-Ln/Sj)	A (t.ha ⁻¹ .año ⁻¹)
1988	625	0,462	60	2,5	0,4	0,5	0,309	17,8
2008	705							20,1
2016	759							21,7
2018	821							23,4
2021	837							23,9

Tabla 6. Cálculo pérdida de suelo en departamento La Paz, en siembra directa con terrazas, $p=0,0161$.

Años	R	K	L	S	LS	P	C Siembra Directa (Rotación promedio)	A (t.ha ⁻¹ .año ⁻¹)
1988	625	0,462	60	2,5	0,4	0,5	0,086	5,0
2008	705							5,6
2016	759							6,0
2018	821							6,5
2021	837							6,7

Tabla 7. Cálculo pérdida de suelo en departamento La Paz, para pastura perenne con terrazas, $p=0,0121$

Años	R	K	L	S	LS	P	C (Pastura perenne)	A (t.ha ⁻¹ .año ⁻¹)
1988	625	0,462	60	2,5	0,4	0,5	0,032	1,8
2008	705							2,1
2016	759							2,2
2018	821							2,4
2021	837							2,5

Pérdidas de productividad sin terrazas

De cada ecuación de pérdida de suelo, en la que se reemplazaron los factores para la estimación, se obtuvieron las toneladas de pérdida de suelo por hectárea por año para el factor R estimado en el presente trabajo, acumulado hasta el año 2020, la cual se llevó a centímetros de suelo.

A partir de la pérdida en centímetros de suelo y las estimaciones de pérdida de rendimiento medidas en INTA EEA Paraná, se pudieron estimar los kilogramos de soja, maíz y trigo que se dejarían de producir por cada centímetro de suelo que se pierde por erosión hídrica (Tabla 8).

Tabla 8. Pérdida de productividad por cm de suelo erosionado.

Cultivos	Convencional (kg ha ⁻¹)	Directa (kg ha ⁻¹)	Pastura (kg ha ⁻¹)
Maíz	218	61	23
Soja	47	13	5
Trigo	58	16	6

Si se analizan las pérdidas de productividad, se puede observar que dentro de cada cultivo la pérdida de rendimiento disminuye con respecto a la práctica, la siembra convencional de un año en el departamento La Paz, por ejemplo, pierde 0,73 cm de suelo por lo que si se hace soja al año siguiente, la misma tendrá 47 kg menos de rendimiento por hectárea, si la misma práctica se realiza durante 10 años ese horizonte tendría una pérdida de 7 cm, lo que produciría que ese lote después de esos 10 años esté produciendo 470 kg ha⁻¹ menos.

En el caso de la siembra directa, en los suelos de La Paz, por cada año que se realiza esta práctica sin terrazas, se pierden 0,20 cm de suelo por lo que eso llevaría a una pérdida de 61 kg de maíz como cultivo del ciclo agrícola siguiente y en una pastura se perderían 23 kg ha⁻¹ del mismo cultivo luego de esta práctica.

Pérdidas de productividad con terrazas

Para el mismo análisis que en la tabla anterior, para las pérdidas de suelo con el factor R estimado en este trabajo y con terrazas a 60 m se estimó la pérdida de rendimiento por cultivo en el departamento La Paz, luego de los tres escenarios establecidos anteriormente (Tabla 9).

Tabla 9. Pérdida de productividad por cm de suelo erosionado.

Cultivos	Convencional (kg ha ⁻¹)	Directa (kg ha ⁻¹)	Pastura (kg ha ⁻¹)
Maíz	57	16	6
Soja	12	3	1
Trigo	15	4	2

Si lo comparamos con la tabla 8, en el que se habían analizado los mismos casos, pero sin terrazas, se puede observar una gran disminución en la pérdida de rendimiento de cada cultivo.

Observando el maíz, como en la tabla 9, en un modelo de siembra convencional, por año que se utiliza esta práctica, se perderían 0,19 cm de suelo y al año siguiente se estarían dejando de producir 57 kg ha⁻¹. Por lo que, si lo trasladamos a 10 años, se perderían casi 2 cm de suelo y eso llevaría a dejar de producir 570 kg ha⁻¹ de rendimiento.

Si se analiza el mismo cultivo en siembra directa, por cada año que se realiza esta práctica, se vieron desplazados 0,05 cm, lo que equivaldría a una pérdida de 16 kg ha⁻¹ de rendimiento del maíz sucesor. Si la misma pérdida la analizamos 10 años, nos estaríamos encontrando con una pérdida de medio centímetro, lo que llevaría a una pérdida de 160 kg ha⁻¹ de rendimiento en maíz. Similarmente ocurriría para soja y trigo.

Se puede afirmar que la pérdida de rendimiento es menor, pero en siembra convencional sigue siendo alta, por lo que es importante el manejo de los cultivos evitando dejar el suelo descubierto por medio de labranzas.

Consideraciones finales

En el departamento La Paz, se observó un leve incremento en el promedio del volumen de agua caída y en el factor R de la energía erosiva de las lluvias, para el periodo de 1990 a la fecha.

En los sistemas con terrazas, tanto para siembra directa como su combinación con pasturas, los valores de pérdida de suelo estuvieron por debajo de las 6 y las 2,5 t ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente. Mientras que, en labranza convencional, supera las 14 t ha⁻¹ año⁻¹.

Hay una alta correlación entre la erosión de suelo y las pérdidas de rendimiento, asociada a la práctica y manejo de los cultivos.

La labranza convencional resultó una práctica inviable para los sistemas de producción de soja, maíz o trigo en el departamento La Paz.

Si analizamos los resultados de la siembra directa como tecnología para controlar la erosión hídrica, no es suficiente ya que aún se estarían observando pérdidas significativas de rendimiento en los cultivos sucesores, lo cual nos indicaría que debería ir acompañada de sistematización.

La sistematización con terrazas con siembra directa y con rotación de cultivos, son una buena herramienta para el control de erosión hídrica laminar y en surcos.

Agradecimientos

Establecimiento Doña Inés SA, CREA La Paz, INTA EEA Paraná, Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias – UCA y Proyecto INTA I052 Desarrollo y/o aplicación de tecnologías para el control de erosión y degradación de suelos.

Para seguir leyendo...

ARNOLD H.M. 1980. An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation. En De Boodt. M. and Gabriels, D. (Eds.). Assessment of Erosion. John Wiley and Sons, Inc. Chichester, West Sussex, UK.

BOLSA DE CEREALES DE ENTRE RÍOS. 2021. Proyecto SIBER Estadísticas. URL: <https://www.bolsacer.org.ar/Fuentes/estadisticas.php>. Verificación: 06/2021

CRETZ E., GVOZDENOVICH J. y M. SALUZZIO 2016. Calculo del factor R de la USLE a través del índice modificado de Fournier. XXV Congreso argentino de la ciencia del Suelo. "Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo". Río Cuarto, 27 de junio - 01 de Julio de 2016.

DI RIENZO J.A., CASANOVES F., BALZARINI M.G., GONZALEZ L., TABLADA M. y C.W. ROBLEDO 2011. InfoStat Versión 2011 Grupo InfoStat. FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>.

DONDA J., GVOZDENOVICH J. y M. SALUZZIO 2018. Actualización del factor R de la USLE para la Pampa Húmeda utilizando el índice modificado de Fournier. Paraná, Entre Ríos. XXVI Congreso argentino de la ciencia del suelo: legado social de edición limitada. Tucumán.

GVOZDENOVICH J., SALUZZIO M. y A. PIOTO 2020. Evaluación del estado de la sistematización con terrazas en Entre Ríos. Jornada Nacional Virtual de Conservación de Suelos 7 de julio de 2020. Organizan el Instituto de Suelos-CIRN INTA, la EEA INTA Balcarce-CERBAS y la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo (AACS) URL: <https://www.youtube.com/watch?v=Uve02h0VX3M&t=495s>

- GVOZDENOVICH J. y P. BARBAGELATA 2016. Uso del software INTA USLE/RUSLE para estimar pérdida de suelo por erosión hídrica. XXV Congreso argentino de la ciencia del suelo. "Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo" Río Cuarto, 27 de junio - 01 de Julio de 2016.
- GVOZDENOVICH J. y M. SALUZZIO 2016. Propuesta de modificación en el cálculo del factor LS de la USLE. XXV Congreso argentino de la ciencia del suelo. "Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo" Río Cuarto, 27 de junio - 01 de Julio de 2016
- GVOZDENOVICH J., BARBAGELATA P. y G. LÓPEZ 2015. Erosión Hídrica - USLE/RUSLE Argentina - INTA EEA Paraná. Software, Versión 2.0. URL: <http://www.inta.gov.ar/parana> Verificación: 06/2021.
- PAPAROTTI O. y J. GVOZDENOVICH, 2006. Estimación de pérdidas de suelo para diferentes alternativas de uso en las zonas agroecológicas-económicas homogéneas de Entre Ríos mediante el uso de la Ecuación Universal de Perdidas de Suelo. URL: https://scholar.google.es/citations?view_op=view_citation&hl=es&user=qTFP1zIAAAAJ&citation_for_view=qTFP1zIAAAAJ:WF5omc3nYNoC. Verificación: 06/2021.
- POGNANTE J., BRAGACHINI M. y C. CASINI. 2011. Siembra directa. Actualización Técnica N° 58. Ediciones INTA. URL: https://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-siembra_directa_2011.pdf. Verificación: 06/2021.
- ROJAS CODROMAZ DE A. y J. SALUSO 1988. Estimación del factor "R" de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos para algunas localidades del norte de la República Argentina. Actas XII Congreso Argentina de la Ciencia del Suelo. Corrientes. p. 215-216.
- SASAL M., WILSON M., BEDENDO D. y G. SCHULZ 2015. Provincia de Entre Ríos. En: R. CASAS & G. ALBARRACÍN, editores "El deterioro del suelo y del ambiente en la Argentina", tomo 2, pp. 111-120. Centro para la Promoción de la Conservación del Suelo y el Agua (PROSA). Fundación para la Educación, la Ciencia y la Cultura (FECIC). B. Aires. ISBN: 9789509149403.
- SALUSO J. 2008. Actualización del factor R de la ecuación universal de pérdida de suelo (EUPS) para una amplia zona del país. Período 1950/2005. Serie extensión n°51 - septiembre de 2008. Agricultura sustentable. Actualización técnica. p. 49-53.
- SCOTTA E. y J. GVOZDENOVICH 2014. Factores C para el Modelo USLE. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo y II Reunión de materia orgánica y sustancias húmicas. En actas del Congreso. 2014 Bahía Blanca del 5 al 9 de mayo de 2014.
- SCOTTA E., NANI L., CONDE A., ROJAS A., CASTAÑEIRA H. y O. PAPAROTTI 1989. Manual de sistematización de Tierras para control de erosión hídrica y aguas superficiales excedentes (Segunda edición corregida y aumentada). INTA EEA Paraná. Serie Didáctica N° 17. 56 p.
- WISCHMEIER W. y D. SMITH 1978. Predicting rainfall erosion losses. USDA. Agricultural Research Service. Handbook 537. 58 pp.

Para más información:

Manfredini Guillermo (3437-44 6989) y Gvozdenovich Jorge (343-446 2664)



El área sembrada con soja en Entre Ríos en 2018, 2019 y 2020 fue 1,30, 1,18 y 1,16 millones de hectáreas, con una participación creciente de soja de segunda (28, 37 y 39%, respectivamente).

Desde el punto de vista del sistema productivo, estas cifras acarrear una señal positiva: en tierras previamente sembradas con soja, se siembran, ahora, otros cultivos de verano, o recursos forrajeros; además, la soja de segunda en rotaciones cortas siguiendo a cultivos de invierno para grano o servicio, va ocupando espacios de la soja de primera como único cultivo.

La presente publicación incluye temas como la minimización de la incidencia de factores reductores del rendimiento, enfermedades y malezas; optimización de uso de factores limitantes, vía nutrición, y mejor uso del agua; e intento de maximizar la eficiencia de captura de la radiación/estación de crecimiento, a través de la elección de variedades, y su arreglo espacial.

Su principal riqueza radica en el aporte de capacidades y tiempos de colegas, tanto de la actividad pública como privada, de nuestra Estación Experimental, y de Concepción del Uruguay; del Conicet y de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UNER, que nos permite comenzar a responder cómo integramos la soja en los sistemas productivos de Entre Ríos.

Diego J Santos, Ing Agr M Sc



Ministerio de Agricultura,
Ganadería y Pesca
Argentina