

Nuevas líneas de soja con resistencia a roya asiática y búsqueda de nuevas fuentes de resistencia. Ciclo agrícola 2023/24

Formento A.N.1,2, Vicentin I.G.1,3, De Lucia A.4, Heck M.4
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)
1Estación Experimental Agropecuaria Paraná
2Departamento Producción
3Departamento Mejoramiento
4Estación Experimental Agropecuaria Cerro Azul

Introducción

Desde fines de la década del 70, el programa de Mejoramiento de Soja del INTA viene trabajando en el desarrollo de cultivares de soja, dada la importancia de este cultivo a nivel nacional como internacional.

El programa está enfocado en la creación de cultivares inéditos que se destaquen en la adaptación a distintas regiones del país, alto rendimiento, alto contenido de proteína y materia grasa en grano y resistencia a las principales enfermedades e insectos.

La roya asiática de la soja (RAS) ocasionada por el hongo *Phakopsora pachyrhizi*, se observó por primera vez en la Argentina en el ciclo agrícola 2002/03, con epifitias importantes en las regiones NEA y NOA de Argentina en diferentes ciclos agrícolas sojeros, principalmente en el 2005/06. Ante las condiciones óptimas para su desarrollo, esta enfermedad puede producir importantes pérdidas económicas (Ivancovich, 2008). Una estrategia de relevancia en el manejo de la enfermedad fue la implementación de un “vacío sanitario” de 90 días en Brasil, caracterizado como periodo continuo en el que no se pueden plantar ni mantener vivas las plantas de soja. Esto condujo al retraso temporal del ingreso de inóculo a la provincia de Misiones desde finales de la primavera a mediados del verano (De Lucia, A. *com. pers.*), mientras que en la provincia de Entre Ríos, durante los últimos 10 ciclos agrícolas se ha observado presencia de roya hacia finales del desarrollo del cultivo principalmente en sojas de segunda o fechas muy tardías. Actualmente, el manejo de la RAS se realiza a través del uso de fungicidas; sin embargo, existen muchos factores que reducen su eficacia, entre ellos, el monocultivo, expansión del área sembrada, existencia de hospedantes alternativos como el kudzu (*Pueraria lobata*) y plantas de soja voluntarias (“guachas”), que permiten la supervivencia del patógeno.

La resistencia genética constituye la herramienta más efectiva y económica para el control de las enfermedades de los cultivos. Los genes *Rpp* son genes mayores, dominantes y de herencia simple que confieren resistencia a razas específicas de *P. pachyrhizi*. Hasta el momento, ningún cultivar comercial de soja es resistente a todos los aislados del patógeno (Rocha *et al.*, 2019). Los genes de resistencia conocidos son: *Rpp1*, *Rpp1-b*, *Rpp2*, *Rpp3*, *Rpp1-b*, *Rpp4*, *Rpp5*, *Rpp6* y *Rpp7* (Yamanaka *et al.*, 2021).

La virulencia de la roya asiática varía tanto anual y regionalmente como a nivel de cada lote de soja. Por lo tanto, los cultivares resistentes a la RAS deben estar adaptados a estas variaciones patogénicas del hongo. En este sentido, apilar los genes de resistencia resulta una técnica útil para abordar enfermedades con virulencias variables; además confiere una resistencia sinérgica a las plantas de soja. El apilamiento de un mayor número de genes *Rpp* confiere a la soja un mayor nivel de resistencia a los patógenos RAS (Yamanaka & Hossain, 2019); convirtiéndose en un método elegido para desarrollar nuevos cultivares resistentes a RAS y de alta efectividad a campo.

La EEA Paraná del INTA inscribió en el año 2020 el cultivar INTA Paraná 6000, un cultivar con el gen de resistencia *Rpp4* que en ciclos agrícolas previos había presentado un comportamiento de resistencia frente al patógeno (Vicentin *et al.*, 2018). Por su parte, la EEA Cerro Azul, en convenio con el Centro Internacional de Investigación para las Ciencias Agrícolas de Japón (JIRCAS siglas en inglés), desarrolló el cultivar Doncella INTA-JIRCAS, inscripto en 2022, con los genes de resistencia *Rpp2*, *Rpp4* y *Rpp5* y resulta altamente resistente (De Lucia A., 2023; Yamanaka *et al.*, 2023). En el marco de este convenio además se desarrollaron otras líneas experimentales que poseen genes de resistencia apilados y que actualmente se están evaluando en ensayos comparativos de rendimiento.

En el ciclo agrícola 2023/24, la RAS se detectó en la EEA Paraná en forma más temprana (11-03-2024) que lo habitual, lo que permitió evaluar el comportamiento a RAS de cultivares comerciales y genotipos de soja.

¿Cómo se realizó el trabajo?

Ensayo 1. Sembrado el 24/11/2023 con 3 repeticiones bajo un diseño en bloques completamente aleatorizados. Este consistió en 10 genotipos sembrados en parcelas de 4 surcos a 0,52 cm entre sí y de 5 m de longitud. Se evaluaron 15 folíolos centrales de hojas de la parte media e inferior de las plantas, por cada repetición. Los folíolos fueron colectados y acondicionados de una manera particular (uno sobre otro y sin peciolulos), en bolsa de polietileno, extrayendo todo el aire posible, cerrados y almacenados en heladera a 8 °C (esto permite más de 15 días de tejidos foliares verdes, sin deterioro). Los resultados de incidencia (número de folíolos con lesiones con pústulas / número de folíolos totales * 100) se analizaron estadísticamente, previa transformación de los datos como V_{arsen} ($x/100$) según Stell and Torrie (1986).

Ensayo 2. Este ensayo fue sembrado el 14/11/2023 con surcos individuales de 5 m distanciados a 0,52 m entre sí. Incluyó 37 genotipos que previamente habían mostrado algún grado de resistencia a la enfermedad en ciclos agrícolas anteriores y dos susceptibles. Se evaluó una muestra de 20 folíolos centrales de cada genotipo, recolectados del tercio medio e inferior de las plantas. Se calculó la incidencia y se estimó la severidad como un promedio de los valores registrados en todos los folíolos evaluados.

La extracción de los folíolos de ambos ensayos se realizó el 11/3/2024 y la severidad se evaluó considerando la escala propuesta por Plopper *et al.* (2006).

¿Qué resultados se obtuvieron?

Ensayo 1. La severidad de la enfermedad fue baja en general, registrándose folíolos sin síntomas hasta 1 % (grado 1 y 1,5) para todos los genotipos evaluados. La incidencia, fue menor y significativa en los genotipos que poseían 3 genes de resistencia a RAS (Tabla 1). La presencia de múltiples genes *Rpp* apilados contribuyó a incrementar y estabilizar la resistencia permitiendo al genotipo portador responder favorablemente a las diversas variantes raciales del hongo.

Tabla 1. Incidencia de RAS en 10 genotipos de soja en Oro Verde (Entre Ríos –Argentina). Ciclo agrícola 2023/24.

Genotipo	EF	I (%)	I (transf)	*	Genes de resistencia
Exp-12**	R6	0	0	a	<i>Rpp2</i> , <i>Rpp4</i> y <i>Rpp5</i>
Exp-11**	R6	0	0	a	<i>Rpp2</i> , <i>Rpp4</i> y <i>Rpp5</i>
Exp-8**	R6	2	0,09	a	<i>Rpp2</i> , <i>Rpp4</i> y <i>Rpp5</i>
Exp-7**	R6	2	0,09	a	<i>Rpp2</i> , <i>Rpp4</i> y <i>Rpp5</i>
Exp-6**	R6	4	0,17	a	<i>Rpp2</i> , <i>Rpp4</i> y <i>Rpp5</i>
INTA PARANA 6200	R6	13	0,36	b	SD
Cultivar 1	R5	28	0,52	b	SD
INTA PARANÁ 6000	R6	31	0,55	b	<i>Rpp4</i>
Cultivar 2	R6	33	0,54	b	SD
Cultivar 3	R6	50	0,72	b	SD

SD: sin datos. * Medias con una letra común no son significativamente diferentes; R^2 :0,83; CV: 49,55 %; $p < 0,0001$; Scott & Knott Alfa = 0,05; **Líneas experimentales INTA-JIRCAS; EF: Estado fenológico según escala de Fehr y Caviness (1977) al momento de la evaluación; I: incidencia; I transf.: incidencia transformada.

Ensayo 2. La incidencia fue variable ya que en 10 de los 39 genotipos no se observaron pústulas de RAS (Tabla 2). La severidad de la enfermedad fue baja en general, con folíolos sin pústulas y hasta 1 % de severidad (Grado 1 y 1,5) para la mayoría de los genotipos evaluados, con la excepción de los genotipos LAE0691361, Bellatti Gris y LAE1010841 que alcanzaron una severidad entre el 1 y 5 % (Grado 2).

Tabla 2. Incidencia de RAS en la colección de genotipos del INTA EEA Paraná. Oro Verde (Entre Ríos –Argentina), ciclo agrícola 2023/24

Nombre	EF	I (%)	Genes de resistencia*	Nombre	EF	I (%)	Genes de resistencia*
PI 587560 C	R5	0	-	PI 594760 B	R4	15	<i>Rpp1</i> , <i>rpp1</i>
PI 587886	R5	0	<i>Rpp1</i>	PI 587878	R5	17	<i>Rpp1</i>
PI 594723	R5	0	-	PI 547878	R7	18	<i>Rpp2</i>
PI 594754	R5	0	-	LAE0804510 ³	R6	20	<i>Rpp4</i>
PI 594767 A	R5	0	<i>Rpp1-b</i>	LAE0804506 ⁴	R7	20	<i>Rpp4</i>
PI 594767 B	R4	0	<i>Rpp1/Rpp1-b</i>	LAE0804504 ⁵	R6	20	<i>Rpp4</i>
Yori 1	R5	0	-	Williams 82	R7	20	Sin resistencia
7599	R4	0	-	LAE1010168 ⁶	R4	20	-
PI 594756	R5	0	-	LAE0701833 ⁷	R6	23	-
PI 561356	R5	0	<i>Rpp1</i>	PI 547879	R7	25	<i>Rpp4</i>
7123	R5	4	-	PI 462312	R5	26	<i>Rpp3</i>
PI 594766	R5	5	-	LAE0701626 ⁸	R6	27	-
LAE0701842 ¹	R7	5	-	PI 587916 B	R5	32	-
PI 594722	R5	5	-	LAE0702424 ⁹	R6	35	-
LAE0803347 ²	R6	9	-	LAE1009651 ¹⁰	R6	39	-
PI 587880 A	R5	10	<i>Rpp1/Rpp1-b</i>	LAE0687012 ¹¹	R6	40	-
PI 587878 vainaN1	R5	10	-	LAE0691361 ¹²	R6	53	-
PI 547875	R7	12	<i>Rpp1</i>	Bellatti Gris	R5	68	Sin resistencia
PI 594538 A	R5	12	<i>Rpp1-b</i>	LAE1010841 ¹³	R6	77	-
FT 2001	R5	15	-				

EF: estado fenológico al momento de la evaluación; I: incidencia; Pedigree. 1- A 4613 RG X PI 594756; 2- LAE 9649001 X PI 587916 B; 3, 4 y 5- LAE 9972402 X PI 547879; 6- LAE9972402 X PI587880 A; 7- A 4613 RG X PI 594756; 8- 7599 X AFA 5580 R; 9- PI 561356 X AFA 5580 RG; 10- DM 5,8i X PI587878 N2; 11- FT 2 X PI 547878; 12- ((L870482 x DM 50048) x FT 2 X PI 547878); LAE9756703 X PI587886; *De Lucia *et al.* (2008); *Yamanaka *et al.*, (2010; 2021); *Childs *et al.*, (2018).

En ambos ensayos, no se detectaron lesiones de resistencia denominadas Red Brown (RB) (Soares, 2018), como sí se habían observado en años anteriores cuando la enfermedad se desarrolló en la EEA Paraná (Vicentin, datos no publicados). Las condiciones ambientales al momento de presentarse la enfermedad pudieron haber afectado la expresión de color en las lesiones, según lo mencionado por Yamanaka *et al.*, (2010).

Consideraciones finales

El Ensayo 1 permitió verificar el progreso en el mejoramiento de soja que desarrolla el INTA para resistencia a RAS, donde las líneas experimentales con 3 genes de resistencia apilados tuvieron un excelente comportamiento a la enfermedad. En el Ensayo 2, se destacó el desempeño de los genotipos portadores de las variantes génicas *Rpp1* y *Rpp1-b*. Se pudieron detectar genotipos con buen comportamiento frente a la roya asiática con potencial uso como parentales en el programa de mejoramiento genético de soja del INTA.

La observación de lesiones, además de resultar un indicativo de epifitía, permitió realizar una primera aproximación a la detección de genotipos candidatos, sin embargo, resulta necesaria la posterior evaluación en laboratorio de caracteres específicos (número de pústulas por lesión, frecuencia de lesiones con pústulas, grado de esporulación, etc.) netamente ligados a la resistencia genética ante la enfermedad.

Para seguir leyendo...

CHILDS S.P, BUCK J.W. and Z. LI 2018. Breeding soybeans with resistance to soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) Plant Breed. 2018; 137:250–261. <https://doi.org/10.1111/pbr.12595> [Verificación: abril 2024].

- FEHR W. and C. CAVINESS 1977. Stages of soybean development, Iowa Agricultural experimental Station, Special Report No. 80.
- DE LUCIA A. GILLI J., SOLDINI D., SALINES L., BLASZNICHIK J. and S. FARIZA 2008. Current Situation of Breeding for Resistance to Soybean Asian Rust (*Phakopsora pachirhizi*) in Argentina: Assessment of the Official Germplasm Bank. In: KUDO H., SUENAGA R.M., SOARES R.M. and A. TOLEDO. Facing the Challenge of Soybean Rust in South America. JIRCAS Working Report No. 58. p. 1-5.
- DE LUCIA A. 2023. Presentan una variedad inédita de soja que resiste a la roya asiática. INTA. <https://www.argentina.gob.ar/noticias/presentan-una-variedad-inedita-de-soja-que-resiste-la-roya-asiatica>. [Verificación: abril 2024].
- IVANCOVICH A. 2008. Soybean Rust in Argentina. In: KUDO H., SUENAGA R.M., SOARES R.M. and A. TOLEDO. Facing the Challenge of Soybean Rust in South America. JIRCAS Working Report No. 58. p. 14-15.
- PLOPER L. D., ESCOBAR D., IVANCOVICH, A., DIAZ, C. G., SILLON M., FORMENTO N., DE SOUZA J., CABRERA DE ALVAREZ G., GONZALEZ V., GALVEZ M. R., FRIGIDI V., RIDAO A., SCANDIANI M., VICENTIN I., CASTRO A., ZAPATA R., RIVADENEIRA M. & E. SAIEG 2006. Propuesta de Protocolo para Muestreo y Evaluación de la Roya Asiática de la Soja en Argentina. Tercer Congreso de Soja del Mercosur. Mesas Científico Técnicas, Resúmenes expandidos. Rosario, Santa Fe, Argentina. p. 474-477. T125
- ROCHA C.M.L., PARDO E.M., GARCÍA M.G., VELLICCE G.R., DEVANI M.R., LEDESMA F., PLOPER D.L. y A.P. CASTAGNARO 2019. Genética de la resistencia a la Roya asiática de la soja (*Phakopsora pachyrhizi*) para el desarrollo de estrategias de manejo de la enfermedad. Biología molecular de la soja. El cultivo de la soja en el noroeste argentino. <https://www.eeaoc.gob.ar/wp-content/uploads/2020/05/capitulo8h.pdf> [Verificación: abril 2024].
- SOARES R.M. 2008. Practical Soybean Rust Identification. In: KUDO H., SUENAGA R.M., SOARES R.M. and A. TOLEDO. Facing the Challenge of Soybean Rust in South America. JIRCAS Working Report No. 58. p. 66-69.
- STEEL G.D. and J.H. TORRIE 1986. Bioestadística: Principios y Procedimientos. Segunda edición. p. 226-230.
- VICENTIN I., SCHUTT L., FORMENTO A. y M. GALLARDO. Nuevo cultivar de soja INTA Paraná 6.0. Hacia una mejor calidad de grano y resistencia a enfermedades. ACTUALIZACIÓN TÉCNICA SOJA. 2018. Serie Extensión N° 83:1-97
- YAMANAKA N., DE LUCIA A. and M. HECK 2023. Development of "Doncella INTA-JIRCAS," a new soybean variety with high Asian soybean rust resistance. Research Highlight 2022. JIRCAS Mail Magazine, No. 45. <https://www.apaari.org/jircas-mail-magazine-no-45-july-2023/> [Verificación: abril 2024].
- YAMANAKA N. and M. HOSSAIN 2019. Pyramiding three rust-resistance genes confers a high level of resistance in soybean (*Glycine max*) Plant Breeding Vol. 138. Issue 6 <https://doi.org/10.1111/pbr.12720>
- YAMANAKA N., KATO M., AKAMATSU H. y YAMAOKA Y. 2021 Manual de laboratorio para estudios sobre la resistencia a roya de la soja. Versión 26. 51 p. https://www.jircas.go.jp/sites/default/files/publication/manual_guideline/manual_guideline_-_63.pdf [Verificación: abril 2024].
- YAMANAKA N., YAMAOKA Y., KATO M., LEMOS N., PASSIANOTTO A., DOS SANTOS J., BENITEZ E., ABDELNOOR R., SOARES R. and K. SUENAGA 2010. Development of classification criteria for resistance to soybean rust and differences in virulence among Japanese and Brazilian rust populations. Tropical Plant Pathology, vol. 35, 3, 153-162 (2010) <https://doi.org/10.1590/S1982-56762010000300003> [Verificación: abril 2024].

Para más información:

formento.angela@inta.gob.ar
delucia.adrian@inta.gob.ar