

EVALUACIÓN DE NUEVOS MÉTODOS DE SELECCIÓN PARA RESISTENCIA A ENFERMEDADES DEL TALLO Y LA VAINA EN ARROZ

J. E. Rosas¹, S. Martínez², Victoria Bonnacarrère³, P. Blanco⁴, F. Pérez de Vida⁵, S. Germán⁶, J.-L. Jannink⁷, L. Gutiérrez⁸.

PALABRAS CLAVE: Podredumbre del tallo, mancha agregada de las vainas, fenotipado en invernáculo, *hill plots*, marcadores moleculares.

INTRODUCCIÓN

En Uruguay se aplican fungicidas en casi el 100% del área arrocera, debido principalmente a la susceptibilidad de los cultivares locales a la podredumbre del tallo, causada por el hongo *Nakataea oryzae* (NO) y a la mancha agregada de las vainas, causada por el hongo *Rhizoctonia oryzae-sativae* (ROS). Para obtener nuevos cultivares resistentes se requieren metodologías de selección más eficientes que los actuales ensayos de campo con infección natural utilizados en el programa de mejoramiento, cuya repetibilidad (heredabilidad) es baja. En trabajos anteriores identificamos un método de fenotipado en invernáculo que permite evaluar la resistencia de líneas en forma masiva y con heredabilidades superiores a los ensayos de parcelas en campo (Rosas *et al.* 2016). En otro trabajo dos poblaciones de líneas avanzadas del programa de mejoramiento genético de arroz de INIA (316 de tipo *japonica* tropical y 325 de tipo *indica*) fueron evaluadas para resistencia a NO y ROS en ensayos de invernáculo utilizando el método de fenotipado identificado anteriormente, así como en ensayos de campo en parcelas convencionales y en *hill plots* (Rosas *et al.* 2017). Estas líneas fueron genotipadas por *genotyping-by-sequencing* (GBS), obteniéndose 29000 SNP para la población *japonica* tropical, y 50000 para la población *indica*. Se estudió la asociación entre estos SNP y la resistencia a NO y ROS, identificándose un total de 29 loci de rasgos cuantitativos (*quantitative trait loci*, QTL). Para evaluar la conveniencia de los métodos alternativos de fenotipado, es necesario considerar la respuesta a la selección que puede esperarse con cada uno de ellos para el fenotipo objetivo (Falconer 1952). Por otra parte, la conveniencia de aplicar los marcadores moleculares asociados a resistencia a NO y ROS identificados en Rosas *et al.* (2017) puede evaluarse comparando la eficiencia genética de la selección asistida por dichos marcadores, con la eficiencia de la selección fenotípica. Una forma de comparar estas eficiencias de selección es la relación entre la proporción de la varianza fenotípica explicada por los marcadores moleculares y la heredabilidad en los ensayos de selección fenotípica descripta por Lande y Thompson (1990).

El objetivo de este trabajo es evaluar desde el punto de vista genético la conveniencia de utilizar el método de invernáculo reportado en Rosas *et al.* (2016), los ensayos de campo en *hill plots* con inoculación artificial, y los QTL reportados en Rosas *et al.* (2017) para seleccionar por resistencia a NO y ROS en el programa de mejoramiento de arroz de INIA.

¹ Lic., M. Sc., Investigador Asistente, Programa Nacional de Arroz / Estudiante de Doctorado, Departamento de Biometría y Estadística, Facultad de Agronomía, Universidad de la República. jrosas@tyt.inia.org.uy

² Ing. Agr., Ph. D., Investigador Principal, Programa Nacional de Arroz. smartinez@tyt.inia.org.uy

³ Ing. Agr., Ph. D., Investigador Principal, Unidad de Biotecnología. vbonne@lb.inia.org.uy

⁴ Ing. Agr., M. Sc., Investigador Principal Referente, Programa Nacional de Arroz. pblanco@tyt.inia.org.uy

⁵ Ing. Agr., Ph. D., Investigador Principal Referente, Programa Nacional de Arroz. fperez@tyt.inia.org.uy

⁶ Ing. Agr., Ph. D. Investigador Principal Referente, Programa Nacional de Cultivos de Secano. sgerman@le.inia.org.uy

⁷ Ph. D., Profesor Adjunto, College of Agriculture and Life Sciences, Cornell University. jj332@cornell.edu

⁸ Ing. Agr., Ph.D., Profesor Asistente, Department of Agronomy, University of Wisconsin-Madison. gutierrezcha@wisc.edu

MATERIALES Y MÉTODOS

En este trabajo se comparan los ensayos de campo convencionales del programa de Mejoramiento Genético de arroz de INIA para evaluar la resistencia a NO y ROS realizados durante los años 2009 a 2013 en la Unidad Experimental de Paso de la Laguna (UEPL, parcelas de seis hileras de 1,2 x 3,5 m en bloques completos al azar con tres repeticiones, con infección natural), con ensayos en *hill plots* desarrollados en 2013 en la UEPL (microparcelas de ~10 plantas en diseño alfa-látice con seis repeticiones e infección artificial), y con ensayos en invernáculo desarrollados de 2012 a 2014 en INIA Treinta y Tres (macetas de 12 cm con cuatro plantas, en diseño de Federer sin repeticiones con testigos en bloques aumentados, con infección artificial). Estos ensayos son descritos en detalle en Rosas *et al.* (2017).

La relación entre la respuesta a la selección en invernáculo o en *hill plots* (fenotipos alternativos) y la selección en ensayos de campo (fenotipo objetivo) fue evaluada siguiendo a Falconer (1952) mediante la ecuación [1]:

$$\frac{\Delta^*G}{\Delta G} = \frac{h_a}{h_o} r_G \quad [1]$$

Donde, Δ^*G y ΔG son respectivamente las respuestas a la selección por el fenotipo alternativo y por el objetivo, h_a y h_o son respectivamente la raíz cuadrada de la heredabilidad del fenotipo objetivo y del fenotipo alternativo; y r_G es la correlación entre ambos valores fenotípicos.

La eficiencia de la selección asistida por marcadores moleculares se comparó con la selección fenotípica siguiendo la metodología de Lande y Thompson (1990) con la ecuación $\sqrt{PVE/h^2}$, donde PVE es la proporción de la varianza fenotípica explicada por los marcadores moleculares, y h^2 es la heredabilidad en los ensayos de selección fenotípica.

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Se observaron comportamientos diferentes en los cocientes de respuesta a la selección en ambiente alternativo vs. objetivo en las poblaciones *indica* y *japonica* tropical (Cuadro 1). Para *indica*, la mejor estrategia para seleccionar por resistencia a NO y a ROS es con los ensayos en invernáculo (Cuadro 1). Esto se explica por las bajas heredabilidades y la interacción genotipo por ambiente entre los ensayos de campo para esta población en ambos rasgos. En particular, la correlación negativa entre la resistencia a ROS evaluada en ensayos de campo con *hill plots* y la evaluada en ensayos de parcelas en 2011 hace que la selección por uno de estos fenotipos tenga respuesta negativa en el otro. Por otro lado, la mejor estrategia para seleccionar por resistencia a NO y ROS en *japonica* tropical son los ensayos de campo con *hill plots*. Esto se debe a las mayores heredabilidades y/o menor interacción genotipo por ambiente entre ensayos de campo en esta población. Las heredabilidades mayores de estos ensayos pueden explicarse por la inoculación artificial que facilita la infección homogénea de las unidades experimentales, y por la mayor cantidad de repeticiones.

La eficiencia relativa de la selección asistida en comparación con la selección en ensayos de invernáculo, ensayos de campo en parcelas, y ensayos de campo en *hill plots* se muestra en el Cuadro 2. La selección asistida presenta una eficiencia similar (coeficientes cercanos o superiores a 1) a la de los ensayos convencionales en parcelas, siendo superior para algunos años en ambos patógenos, tanto para la población *indica* como para la *japonica* tropical.

Cuadro 1. Cocientes de respuesta a la selección en ambiente alternativo vs. ambiente objetivo estimados de acuerdo a Falconer (1952), para resistencia a *Nakataea oryzae* (NO) y *Rhizoctonia oryzae-sativae* (ROS) en las subpoblaciones de tipo *indica* (Ind) y *japonica* tropical (Trj). Se presentan los valores para cada combinación de ambiente alternativo y ambiente objetivo: dos ensayos de invernáculo (I), parcelas convencionales (P) y *hill plots* (HP).

Población	Fenotipo Alternativo	Fenotipo Objetivo (resistencia a ROS)					Campo*	Fenotipo Objetivo (resistencia a NO)					Campo*
		P 2010	P 2011	P 2012	HP 2013	P 2010		P 2011	P 2012	HP 2013			
Ind	I 1	-	0,03	0,44	0,38	0,28	-	0,07	0,27	0,10	0,20		
	I 2	-	0,09	0,50	0,24		-	0,25	0,21	0,31			
	P 2011	-	-	0,04	-0,01	0,23	-	-	0,17	0,16	0,16		
	P 2012	-	0,66	-	0,25		-	0,19	-	0,13			
	HP 2013	-	-0,06	0,25	-	0,10	-	0,18	0,13	-	0,16		
Trj	I 1	0,08	0,19	0,08	0,01	0,01	0,38	0,24	0,31	0,27	0,29		
	I 2	-0,08	-0,26	-0,02	0,07		0,33	0,29	0,28	0,20			
	P 2010	-	0,31	0,02	0,09	0,13	-	0,32	0,32	0,27	0,38		
	P 2011	0,03	-	0,02	0,21		0,41	-	0,38	0,37			
	P 2012	0,04	0,27	-	0,17	0,48	0,44	-	0,39				
	HP 2013	0,16	1,16	0,24	-	0,16	0,40	0,41	0,41	-	0,44		

*Promedio de los cocientes de respuesta a la selección en ensayos de campo (parcelas 2011 y 2012, y *hill plots* 2013 para *indica*, y parcelas 2010 a 2012 y *hill plots* 2013 para *japonica* tropical).

Cuadro 2. Eficiencia de la selección asistida por marcadores moleculares asociados a resistencia a *Nakataea oryzae* (NO) y *Rhizoctonia oryzae-sativae* (ROS) comparada con la eficiencia de la selección fenotípica en invernáculo (I), experimentos de campo en parcelas (P) y *hill plots* (HP), estimados siguiendo a Lande y Thompson (1990), en las subpoblaciones de tipo *indica* (Ind) y *japonica* tropical (Trj).

Selección Fenotípica	Eficiencia relativa de selección asistida			
	Trj		Ind	
	NO	ROS	NO	ROS
I 1	0,19	0,11	0,39	0,55
I 2	0,20	0,11	0,36	0,53
P 2010	-	0,92	-	1,04
P 2011	1,90	2,83	0,75	0,91
P 2012	1,70	0,73	0,59	0,85
HP 2013	0,74	0,61	0,58	0,83

CONCLUSIONES

Atendiendo a los criterios genéticos descritos en este trabajo, puede recomendarse la incorporación de ensayos de invernáculo para selección por resistencia a NO y ROS en *indica*, y ensayos de campo en *hill plots* con inoculación artificial para selección por resistencia a NO y ROS en *japonica* tropical.

Del mismo modo, es justificable incluir los SNPs que definen los QTL para resistencia a estos patógenos identificados en Rosas et al. (2017) en un chip de mejoramiento asistido para NO y ROS en el programa de mejoramiento genético de arroz de INIA.

Consideraciones logísticas y económicas deben sumarse a estos criterios para determinar la conveniencia de implementar estas metodologías.

BIBLIOGRAFÍA

FALCONER, D. 1952. The problem of environment and selection. *American Naturalist*, v. LXXXVI, p. 293–298.

LANDE, R.; THOMPSON, R. 1990. Efficiency of Marker-Assisted Selection in the Improvement of Quantitative Traits. *Genetics*, v. 124, p. 743–756.

ROSAS, J.E.; MARTÍNEZ, S.; BLANCO, P.; PÉREZ DE VIDA, F.; BONNECARRÈRE, V.; MOSQUERA, G.; CRUZ, M.; GARAYCOCHEA, S.; MONTEVERDE, E.; MCCOUHC, S.; GERMÁN, S.; JANNINK, J.-L.; GUTIÉRREZ, L. 2017. Resistance to multiple temperate and tropical stem and sheath diseases of rice. *The Plant Genome* (Aceptado).

ROSAS, J.E.; MARTÍNEZ, S.; BONNECARRÈRE, V.; BLANCO, P.; PÉREZ DE VIDA, F.; MALOSETTI, M.; JANNINK, J.-L.; GUTIÉRREZ, L. 2016. Comparison of phenotyping methods for resistance to stem rot and aggregated sheath spot in rice. *Crop Science*, v. 56, p. 1619–1627.