

INTENSIDAD DE USO DEL SISTEMA CLEARFIELD® EN ARROZ Y OCURRENCIA DE ARROZ MALEZA RESISTENTE A IMIDAZOLINONAS

J. Rosas¹, B. Sprunk², L. Díaz³, M. Ripoll⁴, M. Pérez Ois⁵, C. Nieto⁶, B. Sosa⁷, C. Marchesi⁸, N. Saldain⁹.

PALABRAS CLAVE: arroz rojo, imazapir + imazapic, resistencia a herbicidas.

INTRODUCCIÓN

Las tecnologías que combinan cultivos resistentes a herbicida con la aplicación de este herbicida, son la herramienta de control químico de malezas más extendida en la agricultura moderna. En el cultivo de arroz los sistemas Clearfield® y Provisia® (CL y Pv respectivamente, BASF), consistentes en arroz no transgénico resistente a imidazolinonas y a quizalofop-P-etil, respectivamente, son las únicas herramientas disponibles en la actualidad para un control químico selectivo de una de las malezas más problemáticas de este cultivo, el arroz maleza o arroz rojo (AM). Por su pertenencia a la misma especie que el arroz cultivado, es posible la fecundación cruzada entre el arroz cultivado y el AM, generando híbridos resistentes al herbicida que comprometen fuertemente su control químico. A pesar de las recomendaciones tendientes a minimizar la generación de AM resistente a imidazolinonas, su presencia se ha documentado en la mayoría de los países donde se cultiva arroz CL (Dauer *et al.*, 2017, Meroto *et al.* 2016), incluyendo Uruguay (Rosas *et al.*, 2013). En este trabajo se analizan resultados de cinco zafras de monitoreo de mutaciones de resistencia a imidazolinonas en arroz maleza en chacras con CL, con el objetivo de identificar los principales factores asociados a su aparición, y así aportar elementos para la toma racional de decisiones que ayuden a preservar la viabilidad de estas tecnologías.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras de AM fueron colectadas en chacras con uno o más años de uso del sistema CL, de las zonas norte y este del país por técnicos de BASF Uruguay, y técnicos de molinos y asesores, quienes proveyeron los datos de historia de la chacra. Las muestras se agruparon por su origen en zona este (Rocha, Treinta y Tres y Cerro Largo -Río Branco-), y norte (Artigas). Los cultivares presentes en las chacras muestreadas se agruparon en Híbrido S₆₅₃D (híbridos de RiceTec), Variedad A₁₂₂T (variedades INTA), y Variedad S₆₅₃D (variedades INIA). Los análisis moleculares se realizaron en INIA Treinta y Tres y consistieron en la detección de las mutaciones A₁₂₂T, S₆₅₃D, y G₆₅₄E en el gen de la enzima aceto-lactato sintasa mediante el método de genotipado KASP (LGC Genomics). Se realizó un análisis estadístico conjunto de los datos de las cuatro zafras en las que se recibieron muestras con el fin de identificar las variables con efecto significativo en la presencia/ausencia de mutaciones de resistencia. El modelo inicial incluyó los siguientes efectos fijos: cantidad de años continuos de uso del sistema CL, zona, tipo de cultivar CL, si el muestreo fue hecho en una zafra con cultivo de CL o arroz convencional y las interacciones de primer orden entre ellos. Con un procedimiento Stepwise se descartaron las variables no significativas ($P > 0,05$). Los modelos se ajustaron con la función *glm* del paquete *stats* en R.

RESULTADOS

En el cuadro 1 se presentan las cantidades de plantas analizadas por zona, años de uso de CL, tipo de cultivar y mutación del cultivar con mayor presencia en la historia de la chacra. Predominaron las muestras de la zona este (85%). Los cultivares CL con mayor presencia en

¹ D. Sc., INIA. Programa Nacional de Investigación en Producción de Arroz. jrosas@inia.org.uy.

² Br., Estudiante Lic. Cs. Biológicas, Facultad de Ciencias – UdelaR, bsprunck@fcien.edu.uy

³ Téc. Arroz-Pasturas, INIA. Programa Nacional de Investigación en Arroz.

⁴ Br., Estudiante Ing. Biotecnología, Universidad ORT, milenaripoll@hotmail.com

⁵ Ing. Agr., Desarrollo Técnico de Mercado, BASF Uruguay, manuel.perez-ois@basf.com

⁶ Ing. Agr., Desarrollo Técnico de Mercado, BASF Uruguay, cesar.nieto@basf.com

⁷ Téc. Agr. INIA. Programa Nacional de Investigación en Producción de Arroz.

⁸ Ph.D., INIA. Programa Nacional de Investigación en Producción de Arroz. cmarchesi@inia.org.uy

⁹ M.Sc., INIA. Programa Nacional de Investigación en Producción de Arroz. nsaldain@inia.org.uy

las chacras de origen de las muestras fueron los híbridos y las variedades INTA. Se recibieron muestras de chacras con todos los niveles de intensidad de CL, sin embargo, el 85% de las muestras de la zona norte provinieron de chacras con más de 3 años de CL.

Cuadro 1. Muestras analizadas por el servicio de detección de arroz maleza resistente a imidazolinonas de 2012-2013 a 2017-2018.

Zona	Años CL	Híbrido (H) y variedad (V) sembrados, con las siguientes mutaciones					Total por intensidad
		H=S ₆₅₃ D V=A ₁₂₂ T	H=S ₆₅₃ D	V=A ₁₂₂ T	V=A ₁₂₂ T V=S ₆₅₃ D	V=S ₆₅₃ D	
Este	1	0	9	17	0	14	40
	2	20	12	40	26	13	111
	3	0	21	4	9	0	34
	4 (>3)	87	97	0	0	0	184
Subtotal zona E		107	139	61	35	27	369
Norte	1	0	0	8	0	0	8
	2	2	0	0	0	0	2
	3	0	0	0	0	0	0
	4 (>3)	0	0	0	5	52	57
Subtotal zona N		2	0	8	5	52	67
Total		109	139	69	40	79	436

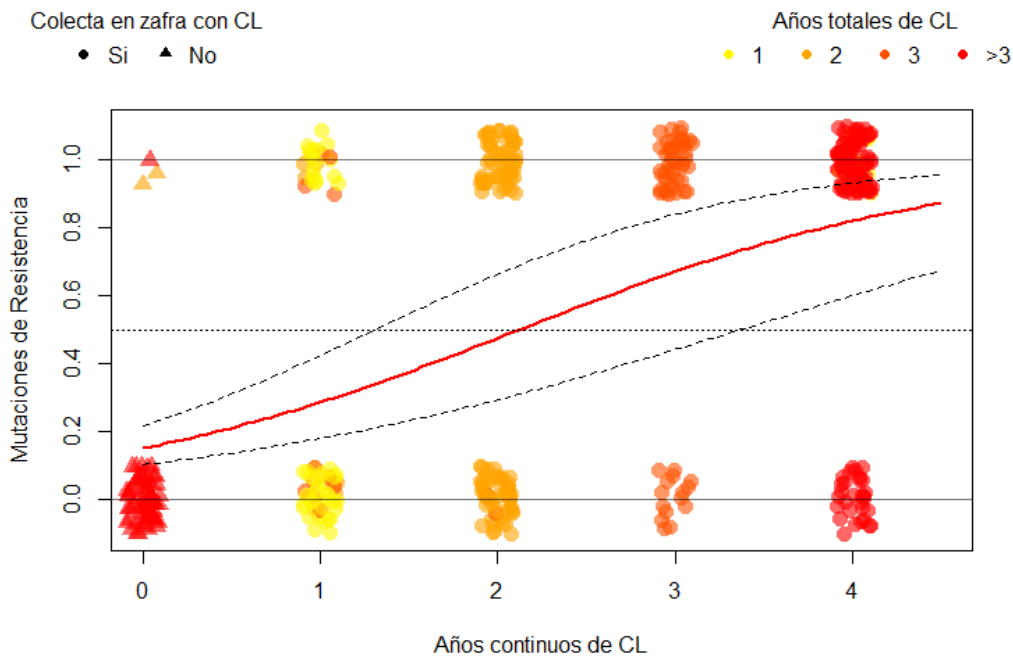


Figura 1. Probabilidad de hallazgo de mutaciones de resistencia a imidazolinonas en plantas de arroz maleza enviadas al servicio de detección, en función de los años continuos de uso de CL (0 = sin mutaciones de resistencia; 1 = heterocigota u homocigota resistente). La curva roja muestra las probabilidades predichas por el modelo de regresión logística para la ocurrencia de mutaciones de resistencia en función de los años continuos de CL, y las curvas discontinuas el intervalo de confianza del 95%. Los colores de los puntos indican la cantidad de años totales de uso de CL, y su forma el cultivo presente en el año de muestreo (círculos = cultivo CL, triángulos = arroz convencional).

Ante la ausencia de un diseño de muestreo, los resultados de este trabajo son descriptivos de las zafras y chacras estudiadas, y su generalización debe ser considerada con cautela. Las variables asociadas a la presencia de mutaciones fueron la cantidad de años de CL y la zona. El efecto de los años de uso de CL se muestra en la figura 1. La probabilidad de que las plantas analizadas fueran portadoras de mutaciones de resistencia supera el 50% cuando provienen de chacras con 2 o más años de CL. Sin embargo, se identificaron plantas con mutaciones en chacras con menos de 2 años continuos de CL (puntos en el cuadrante superior izquierdo de la figura 1). Inversamente, plantas sin mutaciones de resistencia fueron colectadas de chacras con más de 2 años de CL (puntos en el cuadrante inferior derecho de la figura 1).

Todas las chacras con arroz convencional en la zafra del muestreo tuvieron una historia previa de 2 o más años de CL total. De las plantas provenientes de estas chacras (triángulos en la figura 1), sólo un 3% presentó mutaciones de resistencia. El otro factor significativo fue la zona de origen de las muestras. Al remover el efecto de los años de uso de CL, las muestras de la zona este tuvieron una probabilidad de tener mutaciones de resistencia de 0,59 (IC 95% 0,45-0,72) y las del norte de 0,16 (IC 95% 0,05-0,35).

Los resultados de este trabajo coinciden con el límite de dos años continuos reportado en la literatura para la aparición de arroz maleza resistente a herbicida (Dauer et al., 2017). Sin embargo, el monitoreo realizado permitió identificar cruzamientos entre arroz CL y maleza producidos ya en el primer año de uso de la tecnología. Estos hallazgos pueden explicarse como semilla de maleza resistente originada en años anteriores con CL que sobrevivió al descanso del sistema. Más difíciles de explicar son los casos de mutaciones de resistencia provenientes de potreros con cultivo CL por primera vez (16 plantas provenientes de 5 chacras, todas de zona este). Estos casos sugieren mecanismos de dispersión de semilla de arroz maleza resistente por vías distintas al flujo de genes, como ser maquinaria, cursos de agua, animales, lotes de semilla, etc. Las plantas sin mutaciones colectadas en chacras con más de dos años de CL son probablemente simples escapes a la aplicación de herbicida, aunque también pueden considerarse una población candidata a presentar biotipos con mecanismos de resistencia a imidazolinonas distintos a las mutaciones en el sitio de acción del herbicida. De todas formas, todos estos individuos provienen de chacras o potreros en los que la mayoría de los individuos presentaron mutaciones de resistencia. La mayor proporción de plantas sin mutaciones de resistencia en chacras con más de 2 años de CL se encontró en la zona norte, lo que explica que el factor zona tuviera un efecto significativo en explicar la presencia de mutaciones. Esta mayor prevalencia en la zona norte de plantas sin mutación de resistencia en chacras con uso intenso de CL podría deberse a una mayor proporción de escapes en esta zona.

CONCLUSIONES

Una sola zafra de arroz cultivado resistente a herbicida es suficiente para que se produzca el cruzamiento con el arroz maleza, dando origen al predominio de malezas resistentes en el segundo año. Esto es un factor importante para el manejo de CL así como para recomendaciones de uso de nuevos sistemas como el arroz Provisia u otros que se desarrollen en el futuro.

La semilla de arroz maleza resistente se dispersa por otros mecanismos además del flujo génico. Por ello, todas las medidas de manejo que eviten o minimicen su aparición, multiplicación y dispersión deben ser empleadas con la máxima rigurosidad.

Este trabajo demuestra que la intensidad del uso de CL en chacras de nuestro país está asociada a la ocurrencia de arroz maleza con mutaciones de resistencia a imidazolinonas.

BIBLIOGRAFÍA

DAUER, J.; HULTING, A.; CARLSON, D.; MANKIN, L.; HARDEN, J.; MALLORY-SMITH, C. 2018. Gene flow from single and stacked herbicide-resistant rice (*Oryza sativa*): modeling occurrence of multiple herbicide-resistant weedy rice. *Pest Management Science*, 74(2) 348-355.

MEROTTO, A.; GOULART, I.; NUNES, A.; KALSING, A.; MARKUS, C.; MENEZES, F.; WANDER, A. 2016. Evolutionary and social consequences of introgression of nontransgenic herbicide resistance from rice to weedy rice in Brazil. *Evolutionary Applications*, 9(7): 837-846.

ROSAS, J.E.; GÓMEZ, A.; LAGO, F.; MACEDO, I. 2013. Monitoreo de arroz rojo resistente a imidazolinonas en chacras con uso intensivo del sistema Clearfied. *Treinta y Tres: INIA*. p. 3-5. (Serie Actividades de Difusión, 713)