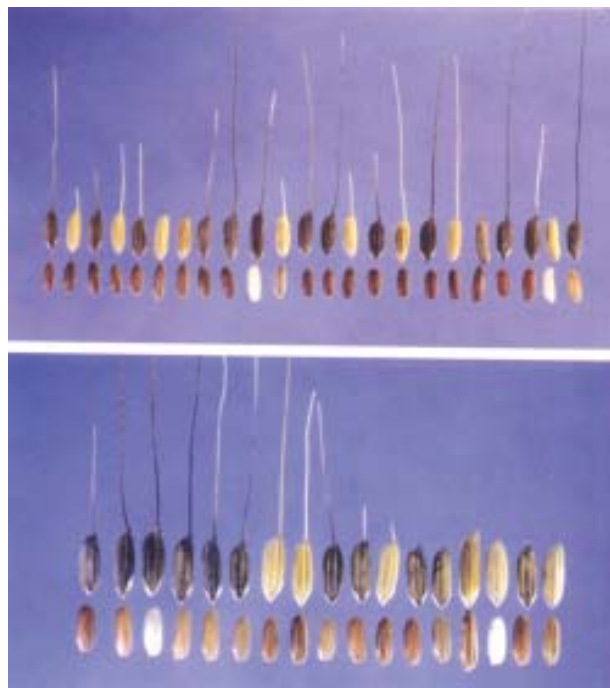


Cruzamiento natural en los cultivos de arroz*

En una reciente publicación de FAO referida a los “Arroces maleza”, se desarrolla exhaustivamente el tema de referencia para el caso de Estados Unidos y se analiza el problema que ha ocurrido por la contaminación por cruzamiento del arroz “rojo” con variedades cultivadas con resistencia a herbicidas. Esto último puede resultar en la paradoja que, con la intención de combatir el problema, lo podemos transformar en una “super” maleza. Uruguay, con un esquema de producción en base a rotaciones del cultivo con pasturas – o sea con baja intensidad del uso del suelo – y utilización de Semilla Certificada en más del 90% del área, ha mantenido bajo control la diseminación de la maleza arroz “rojo”. Y el no cultivar arroces transgénicos le ha permitido exportar nuevamente volúmenes importantes a la Unión Europea –con mayor valor del producto– cosa que no sucedía desde hace muchos años. Por considerarlo de interés extractamos, de dicha publicación, información técnica que consideramos aportará a la comprensión del problema.



Variación de las características de la espiguilla de la progenie de las segregaciones de las entradas 78/21 y 79/16 recolectadas en arrozales de Starbonnet (Mississippi) en 1978 y 1979. Nótese la variación en largo del grano, color de la cáscara y aristas.

Magnitud del cruzamiento natural en el arroz

El arroz es una especie autofecunda pero, como ocurre en otras especies autofecundas, los fitomejoradores han reconocido que la incidencia de la polinización cruzada es importante y debe ser considerada en sus trabajos. La hibridación de los arroces maleza -incluyendo el arroz rojo- con el arroz cultivado ha sido cuidadosamente revisada por Gealy (2005). Aquí se presentan algunos estudios clásicos sobre fecundación cruzada en arroz junto con hallazgos que han sido generalmente aceptados.

En 1938, cinco investigadores llevaron a cabo un trabajo cooperativo para determinar la magnitud

del cruzamiento natural del arroz en las principales áreas arroceras de los Estados Unidos de América (Beachell et al., 1938). En base a la literatura disponible en ese momento se sabía que el cruzamiento natural en el sur de Asia variaba para las variedades cultivadas entre 1,1 por ciento en Birmania (hoy Myanmar) a 4 por ciento en Bengala, pero llegaba hasta 8 por ciento en los arroces salvajes.

La incidencia de los cruzamientos naturales en el arroz en otra áreas de Asia era de 1 por ciento en Japón, 1,3 a 4 por ciento en Java, 2,4 por ciento para panojas embolsadas en las Filipinas y de 0,07 en

Sri Lanka. Sus experimentos en Estados Unidos de América comprendieron cruzamientos naturales de variedades de arroz glutinoso con variedades «normales» sembradas en surcos adyacentes en Arkansas, California, Louisiana y Texas. Los resultados obtenidos indicaron que la incidencia del cruzamiento natural variaba entre localidades, distancia, variedades, estación y condiciones climáticas y fue generalmente más alto en los estados húmedos del sur que en California.

En general, la magnitud del cruzamiento natural varió entre 0 y 3,39 por ciento con un promedio de 0,45 por ciento para todos los lugares. En un informe posterior de Malasia (Brown, 1957) también indicó un valor de 0,45 por ciento entre las variedades de ese país. Jondon (1959), uno de los autores de los experimentos en múltiples localidades sobre cruzamiento natural del arroz, discutió posteriormente el cruzamiento natural del arroz basado en sus experiencias y observaciones en Louisiana. Estableció que el cruzamiento natural ocurre entre las variedades de arroz o los arroces rojos que crecen en los arrozales y que florecen al mismo tiempo, a razón de uno por ciento en plantas sembradas a 30 cm de distancia.

Es interesante notar que hipotizó que cerca de la mitad de las panojas en un arrozal tienen una o más semillas resultantes de la fertilización con polen de otra planta cercana. Si «las plantas cercanas eran de arroz rojo y de arroz cultivado», la progenie podría ser un híbrido intervarietal blanco x rojo o viceversa.

El progreso hecho en el desarrollo de variedades de arroz resistentes a los herbicidas para el control del arroz rojo y otras malezas gramíneas que están desarrollando resistencia a distintos herbicidas ha estimulado la investigación sobre el flujo de genes entre variedades cultivadas y arroces maleza. El estudio de Langevin, Clay y Grece (1990) sobre la incidencia y efectos de los cruzamientos entre arroz cultivado y arroz rojo en Louisiana fue el primero realizado dentro de la nueva perspectiva biotecnológica. Los autores encontraron que el porcentaje del cruzamiento natural entre arroz rojo y variedades seleccionadas de arroz varió entre uno por ciento en la variedad Lemont —una cifra de acuerdo con lo sostenido durante mucho tiempo en base a los estudios de Beachell et al. (1938) y Jondon (1959)— hasta un aparente 52 por ciento para la variedad Nortai, lo que fue atribuido a la floración casi sincrónica entre las dos líneas. Sin embargo, Gealy, Mitten y Rutger (2003) sugirieron más tarde que esta alta tasa de cruzamiento no característica puede haber sobrestimado el verdadero porcentaje de cruzamientos, por lo menos en parte, debido al método usado de evaluación indirecta. Las poblaciones de los cruzamientos naturales fueron muy frecuentemente de grano medio, más altas y más tardías en su madurez que los progenitores cultivados. Los estudios en la hibridación del arroz rojo con arroces cultivados en el sureste de los Estados Unidos de América se aceleró en la década de 1990 debido a la inminente liberación de las variedades Clearfield resistentes al herbicida imazetafir.

Hibridación de arroz rojo y arroz cultivado en Estados Unidos



Tipos representativos de arroz maleza en Arkansas, EE.UU. A) bajo, compacto; B) bajo, abierto; C) alto intermedio; D) alto intermedio, abierto; E) alto, compacto; F) alto, dosel foliar abierto.

El arroz rojo de los Estados Unidos de América es genética y morfológicamente distinto. Si bien los arroces maleza fueron probablemente introducidos en el país como contaminantes de semillas importadas,

se considera que sólo pequeñas cantidades ingresaron por este medio. Las mutaciones genéticas naturales también ocurren en las poblaciones de plantas pero su frecuencia es muy baja y podrían no ser las

responsables por la extensa variabilidad observada en el arroz rojo. La explicación más plausible para la variedad entre los tipos de arroz maleza es la introgresión genética desde las plantas cultivadas junto con las introducciones originales de diferentes biotipos de arroz maleza.

Algunas de las progenies de la hibridación entre el arroz cultivados y el arroz rojo son eliminadas al principio del grupo híbrido en razón de algunas características indeseables, como por ejemplo madurez tardía o incapacidad para madurar antes de las heladas, escasa producción de semillas, infertilidad, pérdida de

la característica de desgranar o menor intensidad de la latencia de las semillas.

Muchas progenies no se establecen porque presentan características que reducen la competitividad tales como baja altura, tallos escasos y débiles, áreas foliar reducida, tendencia al vuelco temprano y otras. Las pocas progenies que se establecen presentan la mayoría de las características clave del parental maleza dominante y se desarrollan en tipos relativamente distintos de arroz maleza, por lo general el pericarpio rojo; incluso algunos podrían evolucionar en el tiempo hacia nuevas variedades de arroz pericarpio blanco.

Introgresión genética en el arroz rojo

Oryza sativa es una especie básicamente autofecunda. Las anteras liberan su polen exactamente en el momento antes de la abertura de las flores, pero la fecundación cruzada puede ocurrir y ocurre cuando las anteras permanecen expuestas después que las flores se cierran (Yoshida, 1981).

La sincronización floral es el elemento clave para la fecundación cruzada de *Oryza sativa* porque el polen permanece viable solamente unos pocos minutos una vez que es liberado al ambiente (Yoshida, 1981). Cuanto mayor es la separación temporal entre el momento de la floración de dos plantas de arroz, menor será la posibilidad de hibridación entre las mismas. Sin embargo, las flores tardías en una planta de floración temprana podrían estar disponibles para la fecundación cruzada con flores tempranas de una planta de floración tardía. La fecundación cruzada entre el arroz y el arroz rojo puede ocurrir con cualquier tipo de donante de polen o de receptor de polen, pero el arroz rojo por lo general más alto parece ser el donante de polen dominante (Estominos et al., 2003b; Zhang et al., 2003).

La ventaja de la altura del arroz rojo parece ser la explicación más lógica, pero las diferentes características florales del arroz cultivado y el arroz rojo también podrían estar involucradas en ese proceso. La dominancia del arroz rojo como polinizador parental no es ventajosa para la evolución de los nuevos tipos de arroz rojo. La sobrevivencia de la progenie podría ser sensiblemente disminuida, ya que la mayor parte de las semillas híbridas en la panoja no desgranadora de la variedad cultivada podría ser removida del campo con el grano cosechado y las pocas semillas desgranadas que llegan al suelo durante la cosecha tendrían poca latencia y germinarían, sucumbiendo a las temperaturas de congelación durante el invierno.

Por otro lado, la fecundación cruzada con el arroz rojo receptor de polen, o sea como parental femenino, podría favorecer la sobrevivencia de la progenie y la evolución de nuevos tipos de panojas de arroz rojo que podrían desgranar antes de la cosecha o como resultado de la cosecha. Muchas de esas podrían sobrevivir al invierno en estado de latencia.

Cruzamientos entre arroz variedad Clearfield y arroz rojo

(Nota: Clearfield es una marca registrada de BASF para los sistemas de producción con variedades resistentes IMI [imidazolinone] y el herbicida Newpath. Las variedades del sistema Clearfield tienen el prefijo CL antes del nombre o número de la variedad).

En campos comerciales de Arkansas, los cruzamientos entre arroz Clearfield y tres diferentes ecotipos de arroz rojo fueron detectados en tres de

los siete campos infestados con arroz BrHR, en cinco de ocho campos infestados con arroz SHR y en cuatro de seis campos infestados con tipos BHR. Esta



Fenotipo típico F₁ de híbridos entre arroz Clearfield y arroz rojo. A pesar del parental de arroz rojo, las plantas F₁ son generalmente más altas, más vigorosas y más erectas comparadas con el parental de arroz rojo.

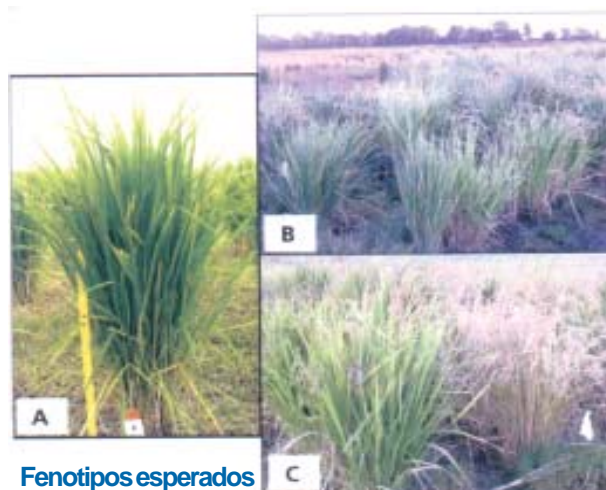
información deriva de un máximo de 100 plantas de arroz rojo escapadas al tratamiento y muestreadas en cada campo a la madurez. Dado que la fecundación cruzada es altamente dependiente de la sincronización de la floración, es posible deducir que el arroz rojo BrHR tiene la menor sobreposición con Clearfield en el momento de la floración.

El porcentaje de cruzamiento tuvo diferencias entre los biotipos de arroz rojo. En general, el arroz rojo BrHR mostró la mayor tasa de fecundación cruzada (0,763 por ciento), el arroz rojo SHR la tasa más baja (0,109 por ciento) y los tipos BHR una tasa intermedia (0,434 por ciento).

El grado de fecundación cruzada detectado en los campos comerciales fue generalmente mayor que el detectado en las pequeñas parcelas de investigación. Esto podría ser debido a una mayor carga de polen en los campos comerciales que en las miniparcelas experimentales. El flujo efectivo de polen del campo de Clearfield fue observado hasta seis metros de la interfase con arroz rojo SHR. El mayor número de híbridos fue encontrado en la interfase con un promedio de fecundación cruzada de 0,003 por ciento en las parcelas experimentales sembradas con CL161. El número de híbridos declinó drásticamente a un metro de distancia a un promedio de fecundación cruzada de 0,001 por ciento.

Más allá de esta distancia fue detectado un número muy bajo y casual de híbridos (entre cero y

dos) en cada metro después de la interfase. Por esta razón es necesaria y está justificada la distancia de separación recomendada de 10m en los campos de producción de semilla (Khush, 1993). Sin embargo, en China los cruzamientos han sido documentados hasta 43m de distancia entre Minghui-63 y *Oryza rufipogon* (Song et al., 2003). Sin duda, varios factores, algunos de ellos mal identificados y otros escasamente comprendidos, tienen un papel importante en el flujo efectivo de polen y la resultante tasa de fecundación cruzada.



Fenotipos esperados de cruzamientos entre arroz Clearfield resistente a herbicida y arroz rojo de cáscara pajiza A), fenotipo F₁; B) y C), segregación

de plantas F₂, en un amplio rango de alturas y períodos de madurez. Una planta extremadamente temprana y otra tardía se observan en C).

Características de la progenie de los cruzamientos entre arroz cultivado y arroz rojo

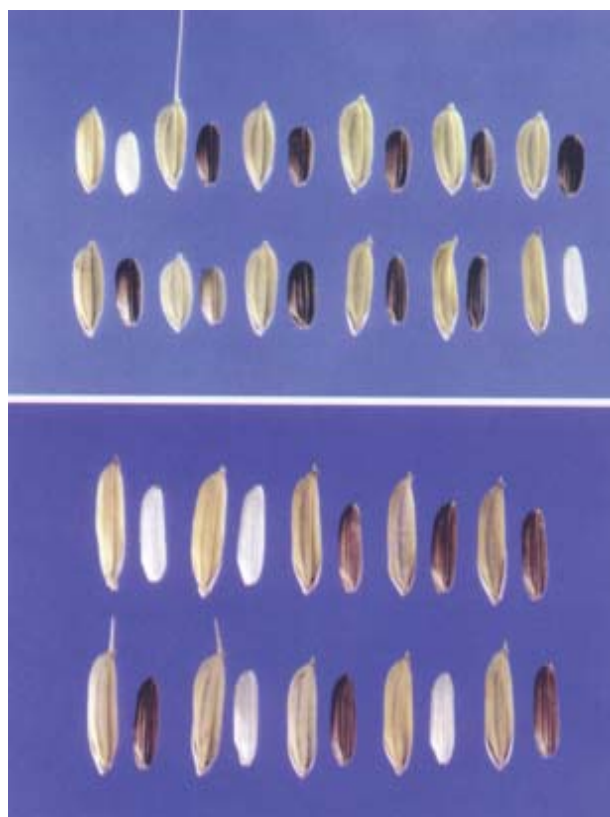
A partir de cruzamientos entre arroz cultivado y arroz rojo místico (sin arista) se producen plantas F₁ (primera generación luego del cruzamiento), notoriamente diferentes, a saber, madurez tardía, mística, parte inferior de los tallos o vainas basales de las hojas de color verde normal, granos medios rojos. Sin embargo, los cruzamientos con arroces rojos BHR aristados y/o SHR aristado presentan madurez normal, aristas rosadas, parte inferior de los tallos de color púrpura y granos medios rojos (Gealy, 2005). La comprensión de las características fenotípicas esperadas en las poblaciones híbridas F₁ y F₂ puede ayudar a los productores de arroz, agrónomos y molineros a identificar el arroz rojo y a tomar decisiones para su manejo.

La resistencia al herbicida imazetafir es heredada como un gen parcialmente dominante (Shrivain et al., 2006b; Burgos et al., 2006b). Cerca del 50 por ciento de las plantas F₂ sobrevivirán a una aplicación de herbicida mientras que el 25 por ciento de la población exhibirá un nivel intermedio de resistencia. Sin embargo, las plantas F₂ segregarán varios tipos de plantas, algunas de las cuales son más bajas que la variedad de arroz mientras que otras son mucho más altas que el parental de arroz rojo.

En la continuación de un trabajo aún no publicado, cerca del 5 por ciento de las plantas F₂ fueron muy cortas -80 cm o menos- 25 por ciento fueron casi tan altas como el parental CL161 y el resto fueron mucho más altas que los parentales del arroz comercial o el arroz rojo con cáscara pajiza. La fenología de las plantas F₂ también varía desde extremadamente tempranas a extremadamente tardías, con la mayoría de las plantas que florecen entre 90 a 100 días después de la siembra, similar a ambos progenitores. Algunos de los tipos de plantas con características que son compatibles con el cultivo del arroz y con caracteres específicos de maleza, por ejemplo, desgrane y latencia, podrían evolucionar con el tiempo a formas de población estables, establecerse y contribuir a la diversidad de los arroces maleza. Si tales poblaciones tienen genes de resistencia a los herbicidas, el conjunto de tipos de arroces rojos en el sur de los Esta-

dos Unidos podría incrementarse con los tipos resistentes a los herbicidas.

En estudios con plantas F₂ derivadas de cruzamientos manuales entre arroz rojo y arroz transgénico resistente al glufosinato o arroz no transgénico no resistente a herbicidas, las características fenotípicas tales como la germinación de la semilla y el desgrane variaron considerablemente y a menudo fueron intermedias entre el arroz cultivado y los progenitores de arroz rojo y no tenían más características de maleza (p. ej., latencia o desgrane) que sus progenitores originales de arroz rojo (Oard et al., 2000). Por ello, sólo el carácter de resistencia a los herbicidas fue un contribuyente importante a la adecuación de las poblaciones del arroz rojo derivadas de los cruzamientos con arroz transgénico.



Variación en el largo del grano, aristas, tipo de espiguilla y color del pericarpio de la progenie segregada de la entrada 78/21 recolectada en un campo de arroz de Mississippi en 1978. Es notable la variación en largo de grano de corto a extra largo.

Al resumir los trabajos sobre el cruzamiento natural entre arroz cultivado y arroz rojo en los Estados Unidos de América hasta el 2004, Gelay y Estominos (2004a, 2004b) notaron que mientras las tasas de fecundación cruzadas entre los arroces rojos y los arroces convencionales o variedades resistentes a los herbicidas han sido variables, fueron casi siempre menores de 0,5 por ciento.

La tasa específica de fecundación cruzada pareció haber sido influenciada por múltiples factores: la variedad de arroz, el ecotipo de arroz rojo, las distancias horizontales y verticales entre las panojas, la sincronización de la floración y otros aspectos ambientales no bien entendidos aún.

Los trabajos anteriores y los estudios más recientes comentados en esta sección pueden ser resumidos como sigue. En los Estados Unidos de América el arroz rojo es fenotípica y genéticamente diferente como resultado de múltiples introducciones de arroces maleza rojos en semillas contaminadas importadas durante las primeras etapas del cultivo en el país y por la hibridación natural entre los tipos de arroz rojo importados y sus progenies y la hibridación natural entre una sucesión de tipos de arroz maleza rojo y una sucesión de variedades cultivadas de arroz.

La actual tecnología de arroz que incluye las variedades resistentes a herbicidas es una herramienta poderosa para el manejo de las infestaciones de arroz maleza rojo pero debe ser usada de acuerdo con los protocolos y recomendaciones que acompañan dicha tecnología y con otras herramientas (culturales, químicas, normativas) para manejar esos arroces a fin de proporcionar y asegurar un control sostenible del arroz rojo.

(*) La publicación tiene la coautoría del Ing. Agr. (M.Sc) Gonzalo Zorrilla, quien revisó la transcripción parcial realizada. ■