

HÍBRIDOS DE ARROZ

F. Molina¹, P. Blanco²

PALABRAS CLAVE: Potencial de rendimiento, vigor, calidad

INTRODUCCIÓN

Uno de los desafíos más importantes de la agricultura para los próximos 50 años será producir suficientes cantidades de alimentos para la creciente población mundial. La tasa de incremento de la producción de arroz en todo el mundo se ha estancado en los últimos diez años (Yang *et al.*, 2007). El último "gran salto" en el rendimiento de arroz se produjo en la década de 1960. Durante ese periodo, el Instituto Internacional de Investigación en Arroz (IRRI) desarrolló la variedad de arroz semi-enana IR 8, la cual producía dos toneladas más por hectárea que otras variedades comerciales. Los programas asiáticos y sudamericanos de mejoramiento, rápidamente adoptaron IR 8 para introducir el rasgo semienano en germoplasma adaptado, lo que fue pilar fundacional de la llamada "revolución verde". Con la contribución de IR 8, el rendimiento del arroz aumentó de 4 t/ha a 6 t/ha en Asia. Luego de la revolución verde, se han realizado mejoras en las prácticas de manejo, fertilización nitrogenada, pesticidas para el control de malezas, hongos e insectos, pero las variedades convencionales han alcanzado una meseta de rendimiento (Peng, 1999). El arroz híbrido ha demostrado ser una tecnología efectiva para aumentar los rendimientos no solo en China, sino también en otros países como Filipinas, Bangladesh, Indonesia, Pakistán, Ecuador, Guinea y los EE. UU. (Longping, 2004). La tecnología de arroz híbrido, según algunos investigadores, pudo aumentar el rendimiento en grano en ~ 20-30% bajo condiciones de riego en China.

HETEROSIS

La ventaja de rendimiento producida por los híbridos en el arroz y otros cultivos puede ser explicado por la teoría de la heterosis. En el caso del arroz, la heterosis se refiere al fenómeno de que la progenie de cruces de diversas variedades endogámicas es superior a ambos padres para rendimiento, tamaño de panícula, número de espiguillas por panícula, número de tallos productivos, tolerancia al estrés, etc. De acuerdo con varios informes (Peng *et al.*, 2007; Cao y Zhang, 2014), la heterosis en el arroz fue descrita por primera vez por Jones en 1926, quien descubrió que las plantas de arroz F1 producían más tallos y rendimiento en grano que las variedades. Las tres hipótesis clásicas para la explicación de la heterosis son dominancia, sobre dominancia y epistasis. La hipótesis de la dominancia describe la acción complementaria de los alelos superiores de ambas líneas endogámicas parentales en múltiples loci sobre los alelos desfavorables correspondientes, lo que lleva al vigor híbrido (Jones, 1917). La teoría de la sobredominancia afirma que el híbrido heterocigoto (Aa) en uno o más loci es superior a cualquiera de los padres homocigotos (AA o aa) (Goff, 2013). En el arroz, la teoría más compleja y aceptada para explicar la heterosis es la epistasis (Cao y Zhang, 2014). La teoría describe la interacción entre y dentro de locis de alelos favorables para diferentes genes aportados por los dos padres. Cada gen, por si solo, puede mostrar una acción aditiva, dominante o sobredominante.

HÍBRIDOS Y MACHOESTERILIDAD

El arroz es típicamente una planta autopolinizada o autofecunda, aunque se crean híbridos comerciales utilizando líneas macho estériles como progenitores femeninos que no producen polen viable. Los dos principales sistemas de reproducción híbrida consisten en el sistema CMS de tres líneas (machoesterilidad citoplasmática) o el método PTGMS de dos líneas (machoesterilidad foto-termosensible). El sistema de tres líneas utiliza una línea CMS, una línea restauradora y una línea mantenedora CMS, para producir semillas híbridas F1 y

¹ Ing. Agr., Ph.D. INIA. Programa Nacional de Investigación en Producción de Arroz. fmolina@inia.org.uy

² Ing. Agr., M.Sc. INIA Programa Nacional de Investigación en Producción de Arroz. Hasta junio 2018

mantener la línea CMS. Este sistema se ha utilizado en China desde la década de 1970 con éxito.

En 1973, un mutante espontáneo con macho esterilidad genética por fotoperiodo (PGMS) fue encontrado en *Oryza sativa* variedad japónica Nongken 58, en la provincia de Hubei, China. Este mutante dio lugar al sistema de dos líneas, con la particularidad que la misma línea, se puede utilizar para producir semilla híbrida en condiciones de días largos o cuando la temperatura está por encima de un punto crítico, usualmente 28 °C (Longping, 1990). A su vez, se pueden usar como línea mantenedora en condiciones de días cortos o por debajo de un punto crítico, usualmente 23°C durante etapas de crecimiento sensibles. Este sistema es una innovación importante para aprovechar el vigor híbrido en el arroz. En comparación con el sistema de tres líneas, las ventajas del sistema incluyen, una gama más amplia de recursos de germoplasma utilizados como padres, una mejor calidad del grano y mayores rendimientos, y procedimientos más sencillos para la reproducción y producción de semilla híbrida (Cao y Zhang, 2014; Yang, 2007). Sin embargo, el sistema TGMS (termosensible) exhibe algunos desafíos. Durante la producción de semillas híbridas bajo altas temperaturas, una caída repentina en la temperatura puede ser catastrófica, debido a una reversión en la fertilidad que resultaría en autofecundación de semillas de la planta macho esteril (Nas *et al.*, 2005). La mayoría (> 95%) de las líneas PTGMS utilizadas en la producción de arroz híbrido en China, se derivaron de tres líneas progenitoras independientes, Nongken 58S (NK58S), Annong S-1 y Zhu 1S. Según algunos estudios el sistema de dos líneas puede aumentar el rendimiento en un 5-10% sobre el sistema híbrido de tres líneas. En los últimos años, los híbridos de dos líneas se han adaptado a la producción de granos a gran escala en China. Desde los años 90 el área de híbridos en China ha seguido aumentando cada año utilizando ambos sistemas (Cao y Zhang, 2014).

DESARROLLO DE HÍBRIDOS DE ARROZ FUERA DE LA REGIÓN

El área mundial del arroz en los últimos 9 años ha variado entre 156 y 161 millones de hectáreas. India y China son los mayores productores mundiales con 43 y 30 millones respectivamente. Estos mismos países son pioneros en la adopción de híbridos llegando en el caso de China a 50 % del área e India al 7%. Particularmente en China alrededor de 3 millones de hectáreas son plantadas con híbridos de 2 líneas y 12 millones con híbridos de 3 líneas o CMS. En Estados Unidos, si bien la adopción es más reciente, la tecnología ha tenido una tasa de adopción muy elevada en los últimos 13 años. Arkansas es el estado productor de arroz más grande con el 51% del área total de arroz. En el año 2003 por ejemplo, los híbridos se plantaban en menos del 1% de las tierras de arroz, sin embargo, en 2014 el área de arroz híbrido en este estado aumentó a casi 40%, a 27% en Louisiana, y al 43% en Texas. Hasta la fecha, los híbridos comerciales de EE. UU. son producidos exclusivamente por RiceTec, Inc. de Alvin, Texas. Su germoplasma se originó en China, pero fue mejorado durante dos décadas para su adaptación a las condiciones ambientales en los Estados Unidos.

DESARROLLO DE HÍBRIDOS EN LA REGIÓN

En América Latina dicha tecnología es más reciente con relación a China y a USA. Los esfuerzos para el desarrollo de arroz híbrido comenzaron a principios de los 90's a través de la participación de Embrapa-Cirad, Fedearroz de Colombia y posteriormente RiceTec. Esta última fue la primera empresa en liberar híbridos comerciales para el Cono Sur en 2004. En Brasil el área de híbridos creció rápidamente de mil hectáreas en el 2004 a 110 mil hectáreas en el 2014. Las mismas se concentran en la zona sur de Brasil, distribuidas en Rio Grande del Sur (70 mil ha) y Santa Catarina (20 mil ha). Este desarrollo estuvo básicamente basado en INOV CL. Dicho híbrido "subsana" algunos problemas que habían tenidos híbridos anteriores en termino de calidad de grano. A nivel nacional, el primer híbrido comercial y de alto potencial de rendimiento fue Avaxi en su versión convencional y Clearfield®. El mismo fue plantado en un área reducida y no prosperó básicamente por problemas de calidad y vuelco. En el año 2009 la misma empresa liberó Inov, y posteriormente Inov CL. Dicho cultivar no posee tal ventaja en rendimiento como Avaxi pero posee una calidad molinera y culinaria adecuada a las exigencias de Uruguay y la región. En la figura 1 se puede ver la evolución de área sembrada con híbridos en los últimos 7 años. En los últimos años el área ha tendido a bajar levemente, ubicándose en

torno al 10% en esta última zafra. Los elevados costos de la producción, el elevado potencial de las variedades y pequeñas diferencias en calidad quizás estén explicando dicha reducción.



Figura 1. Porcentaje de área sembrada por año con híbridos en Uruguay
Nota: El área corresponde solamente a INOV CL

PERSPECTIVAS DEL PROGRAMA NACIONAL

El Programa Nacional de Producción de Arroz de INIA desde hace más de 15 años se ha involucrado en el desarrollo de híbridos adaptados para la región. En un principio desarrollando un acuerdo de transferencia de parentales a la empresa RiceTec para su uso en combinaciones híbridas. Como producto de este esfuerzo se pudo desarrollar el primer híbrido para la región superando las 100 mil hectáreas se siembra en el 2014. Paralelamente a esto en el año 2012 INIA fue socio fundador del Consorcio de Híbridos de Arroz para América Latina (HIAAL) formado por varios países de la región, el CIAT y el FLAR. El mismo ha permitido ser partícipes del desarrollo de la tecnología, sacar provecho de una red extensa de evaluación multiambiental al mismo tiempo que se explota un germoplasma bastante diverso aportado por los socios. Este esfuerzo también permite reducir los costos de la investigación en relación con un programa de híbridos independiente maximizando las capacidades de cada porgama.

BIBLIOGRAFÍA

- CAO, L., & ZHAN, X.** 2014. Chinese experiences in breeding three-line, two-line and super hybrid rice. In Rice-Germplasm, Genetics and Improvement. InTech.
- GOFF, S. A., & ZHANG, Q.** 2013. Heterosis in elite hybrid rice: speculation on the genetic and biochemical mechanisms. *Current opinion in plant biology*, 16(2), 221-227.
- JONES, J. W.** 1926. Hybrid vigor in rice. *J. Am. Soc. Agron*, 18:423-428.
- LONGPING Y.** 1990. Progress of two-line system hybrid rice breeding. *Sci Agric Sin* 23(3):1-6.
- LONGPING Y.** 2004. Hybrid Rice for Food Security in the World. *FAO Rice Conference 04/CRS.21*
- PENG, S., CASSMAN, K. G., VIRMANI, S. S., SHEEHY, J., & KHUSH, G. S.** 1999. Yield potential trends of tropical rice since the release of IR8 and the challenge of increasing rice yield potential. *Crop Science* 39:1552-1559.
- PENG, H. F., ZHANG, Z. F., WU, B., CHEN, X. H., ZHANG, G. Q., ZHANG, Z. M., ... & LU, Y. P.** 2008. Molecular mapping of two reverse photoperiod-sensitive genic male sterility genes (rpms1 and rpms2) in rice (*Oryza sativa* L.). *Theoretical and applied genetics*, 118(1), 77-83.
- YANG, W., PENG, S., LAZA, R. C., VISPERAS, R. M., & DIONISIO-SESE, M. L.** 2007. Grain yield and yield attributes of new plant type and hybrid rice. *Crop Science*, 47(4), 1393-1400.