

Incremento del potencial de rendimiento en arroz

Edgar A. Torres*

Fitomejorador Programa Arroz. Centro Internacional de Agricultura Tropical-Fondo Latinoamericano de Arroz de Riego (CIAT-FLAR). Cali, Colombia.

RESUMEN

El incremento del rendimiento potencial en arroz es uno de los caracteres más importantes en el mejoramiento de este cultivo; sin embargo, la tasa de ganancia genética ha sido baja y aún parece estancarse. De hecho hay mayor oportunidad para el incremento de la producción en la explotación de la brecha de rendimiento. A pesar de ello, resultados de investigaciones recientes sugieren que es posible aumentar el rendimiento.

El rendimiento potencial tiene una definición con amplias implicaciones para el mejoramiento del mismo. De acuerdo con Evans y Fisher (1999), el rendimiento potencial se refiere al rendimiento de un cultivar en el ambiente en el cual está adaptado, sin limitaciones por agua y nutrientes y con los estreses por malezas, vuelco, enfermedades e insectos efectivamente controlados. Esto implica que el rendimiento potencial es el resultado de la interacción entre el ambiente y el cultivar y está dado en ambientes altamente favorecidos. Otras definiciones de rendimiento incluyen el rendimiento a nivel de productor, que es el rendimiento normalmente obtenido en una región con el manejo agronómico normal; y el rendimiento alcanzable que es la producción obtenida cuando el productor realiza un excelente manejo agronómico y controla efectivamente las deficiencias nutricionales. Para que el mejoramiento para rendimiento potencial sea útil, los cultivares de mayor rendimiento, deben ser adoptados por los productores y este progreso debe ser un componente fundamental del incremento en los rendimientos a nivel de productor.

La inversión de recursos en el mejoramiento del rendimiento potencial debe ser analizada en relación con la inversión en el mejoramiento del manejo agronómico del cultivo, pues la mayoría de los productores alcanzan menos del 60% del potencial genético de la variedad y del clima en un determinado sitio. En

*Autor de correspondencia: Edgar A. Torres

E-mail: e.a.torres@cgiar.org

los trópicos de América Latina el rendimiento potencial fluctúa entre 10 a 11 toneladas durante la época seca y entre 6 a 7 toneladas durante el periodo de lluvias. Sin embargo, debido a problemas como siembra en épocas no adecuadas, baja calidad de las semillas, deficiente preparación del suelo y manejo del riego, deficiente uso del nitrógeno, problemas de malezas, plagas y enfermedades etc.; los rendimientos en la mayoría de campos de productores son mucho menores que el rendimiento obtenidos por los mejores productores que son un 20 a 25% menores que el rendimiento potencial (Witt *et al*; 2007). Según los mismos autores, esto significa que existe una brecha en el rendimiento de aproximadamente 35 a 40% que podría cerrarse con mejores prácticas de manejo agronómico. Entretanto, suponiendo que con el mejoramiento se pueden alcanzar unas 12 toneladas de rendimiento potencial, esto significaría un 20% de oportunidad para aumentar la producción. En consecuencia, los esfuerzos en mejorar el rendimiento potencial están justificados cuando al mismo tiempo este en marcha una estrategia para cerrar la brecha en el rendimiento a través del manejo agronómico o dicha diferencia entre el rendimiento alcanzable y el rendimiento de los productores no exista.

Definición del rendimiento

El rendimiento en el arroz es un carácter complejo, pues es el resultado final de varios componentes que se determinan secuencialmente durante el ciclo del cultivo. En términos generales el rendimiento es el resultado del producto entre el número de granos llenos por unidad de área y el peso de los mismos. Entretanto, el número de granos llenos por unidad de área es el resultado del número de panículas por unidad de área, el número de granos por panícula y el porcentaje de granos llenos (Yoshida, 1981). Cada uno de estos componentes es determinado en una etapa específica de la planta. En condiciones de siembra directa el número de panículas es dependiente de la densidad de siembra y del porcentaje de emergencia. El número de granos por panícula se determina durante el periodo vegetativo y es el resultado de la diferencia entre el número de primordios diferenciados que dan origen a espiguillas y flores; y el número de estos que se degenera (Yoshida 1981). El número de flores diferenciadas es proporcional al contenido de nitrógeno en las etapas tempranas del periodo reproductivo, la eficiencia en la diferenciación de flores por unidad de N absorbido es muy dependiente del genotipo; por el contrario, el número de flores que se degenera es determinado por la disponibilidad de carbohidratos no estructurales disponibles alrededor de dos semanas antes de la floración que dependen a su vez de la tasa de crecimiento durante este periodo (Horei, T. 2004). El porcentaje de granos llenos es determinado antes, durante y después de la floración; condiciones de clima desfavorables tales como bajas o altas temperaturas cerca del estadio de reducción (meiosis) y la antesis, pueden inducir esterilidad; así mismo, condiciones desfavorables durante las fases iniciales del llenado pueden causar la cesación del crecimiento, resultando en granos vacíos. Finalmente, el peso del grano es rígidamente controlado por el tamaño de la cáscara y puede ser modificado ligeramente por la radiación solar durante dos semanas después de

la antesis (Yoshida 1981). Entender las interrelaciones entre los componentes del rendimiento y la influencia de las condiciones ambientales y de manejo del cultivo es clave para el mejoramiento del rendimiento potencial.

Creación de las variedades semi-enanas

Este entendimiento llevó a la creación del tipo de planta semi-enano de arroz que condujo a la revolución verde y duplicó el rendimiento potencial en el arroz. Inspirados en el concepto del Tipo de Planta (Jennings, 1964), los mejoradores de IRRI produjeron las variedades semi enanas de arroz al cruzar 'Peta', una variedad alta tipo indica de alto macollamiento con la variedad enana de Taiwan 'Dee Geo Woo Gen'. Estas se caracterizaron por poseer una alta capacidad de macollamiento, tallos fuertes y rígidos, hojas erectas, insensibilidad al fotoperiodo, respuesta al uso de nitrógeno y alto índice de cosecha. El potencial de rendimiento de estas variedades es de 10 toneladas en la estación seca (Hargrove y Coffman, 2006). El experimento clave que demostró el potencial de rendimiento de las variedades semi-enanas fue realizado en la estación seca de 1966, el objetivo fue determinar el máximo rendimiento bajo el mejor manejo posible. En estos ensayos, 'IR 8' tuvo un promedio de 9,4 ton/ha y en un ensayo específico el rendimiento fue de 10,3 toneladas, cuando el promedio nacional en Filipinas estaba alrededor de 1 tonelada (Hargrove y Coffman, 2006). La diseminación de las variedades de tipo moderno en America Latina comenzó en 1968 a través de la cooperación entre el CIAT, Fedearroz e ICA, se ha estimado que las variedades semienanas contribuyeron con un 20% adicional en la producción de arroz en America Latina (Cuevas Pérez *et al*; 1995). Sin embargo, aunque los cálculos con modelos de simulación indican que el rendimiento potencial teórico en los trópicos durante la estación seca, de acuerdo a la radiación solar disponible, es de 15,9 tn/ha; el rendimiento potencial en los trópicos de las variedades de alto rendimiento continua alrededor de 10 toneladas por hectárea después de 30 años de la liberación de 'IR 8' (Penget *et al*; 1999). Este hecho resalta la necesidad de invertir mayores esfuerzos en el mejoramiento del rendimiento potencial en arroz.

El nuevo tipo de planta

Más recientemente, y debido a las críticas al tipo de planta semi-enano, el IRRI propuso varias modificaciones al tipo de planta con el objetivo de aumentar el rendimiento potencial; sin embargo, no se han logrado avances significativos. Los científicos proponentes del nuevo tipo de planta razonaron que las variedades semi enanas invertían muchos recursos en tallos no productivos y en índice de área foliar excesivo, lo cual además favorecía la presencia de enfermedades; por tanto, una vía para aumentar el rendimiento era reducir el número de tallos. Por otra parte, para alcanzar un mayor tamaño del vertedero en el nuevo tipo de planta, el número reducido de panículas en tipos de planta de bajo macollamiento debería ser compensado con un mayor número de granos por panícula. Las características del nuevo tipo de planta incluían: Baja

capacidad de macollamiento, sin tallos no productivos, 200 a 250 granos por panícula, 90 – 100 cm. de estatura, tallos fuertes, sistema radicular vigoroso, múltiple resistencia a enfermedades e insectos, 110 – 130 días de duración, índice de cosecha de de 0,6 y un rendimiento potencial de 13-15 toneladas/ha. Los trabajos de mejoramiento se iniciaron en 1990 utilizando como donadores de los caracteres germoplasma japonica tropical de tipo bulu (Penget *al.*, 1999). Las primeras evaluaciones de rendimiento realizadas en 1993 mostraron que las líneas del nuevo tipo de planta tuvieron un rendimiento inferior que las variedades indicas debido a la baja producción de biomasa y al pobre llenado de grano (Penget *al.*, 1999). Entonces, los esfuerzos de los investigadores se dirigieron a aumentar la capacidad de macollamiento, reducir el arreglo compacto de los granos en la panícula y mejorar el llenado del grano utilizando cruzamientos entre la primera generación del nuevo tipo de planta y padres elites de tipo indica (Penget *al.*, 2005). Las líneas avanzadas resultado de este trabajo se evaluaron en el 2003 y 2004 durante la estación seca en el campo experimental de IRRI. Los resultados mostraron que en general la segunda generación del nuevo tipo de planta no mostró superioridad en rendimiento sobre los testigos de tipo semi enano debido a que: No hubo mayor producción de biomasa o mayor índice de cosecha en las líneas NTP; el tamaño de la panícula fue similar entre las variedades semi enanas y las líneas NTP y el porcentaje de llenado del grano de las línea NTP fue inferior al de las variedades semi-enanas utilizadas como testigo (Penget *al.*, 2005).

Avances en el desarrollo de genotipos con mayor número de granos por panícula

La idea de reducir el número de tallos e incrementar el número de granos por panícula ha sido empleada con éxito por investigadores japoneses para desarrollar cultivares de alto potencial de rendimiento. Los materiales semi-enanos desarrollados en IRRI no tenían buena adaptación a la zona templada; sin embargo, en Corea en la década del 60 se inició un programa extensivo de cruzamientos entre variedades indicas y variedades japónicas que dieron como resultado un tipo de planta de alto potencial de rendimiento llamado ‘Tongil’ (Kushibuschi K., 1997). Este tipo de cultivares impactó a los mejoradores japoneses quienes vieron en este tipo de planta, semi-enanas de pocas panículas pero un número muy alto de granos por panícula, una vía para aumentar el potencial de rendimiento (Yonezawa K. 1997). Con este tipo de cruzamientos indica por japónica se desarrollaron en la década del 90 una serie de cultivares entre los que se destaca la variedad ‘Takanari’; la cual ha mostrado una superioridad del 36% sobre ‘Nipponbare’ y un potencial de rendimiento alrededor de 11 toneladas (Fisher and Edmeades, 2010). Katsura y colaboradores (2007) demostraron que este cultivar tuvo un rendimiento igual a ‘Liangyoupeijiu’ un súper híbrido ampliamente cultivado en China en dos años consecutivos en un ambiente templado. Estas variedades poseen una alta tasa de crecimiento durante el periodo reproductivo tardío (14 a 0 días antes de floración) debido a una mayor eficiencia en el uso de la radiación lo cual le permite acumular una

mayor cantidad de carbohidratos no estructurales y en consecuencia un adecuado llenado del mayor número de granos por panícula (Takai, *et al*; 2005). Otras variedades desarrolladas recientemente con mejor calidad de grano como 'Akita 63' han mostrado consistentemente en tres años un rendimiento alrededor de 11 toneladas (Fisher y Edmeades 2010). Los resultados de Japón, aunque referidos a la zona templada, indican que aumentar el número de granos llenos por panícula es una alternativa correcta para aumentar el potencial del rendimiento en arroz.

Los esfuerzos del CIAT y el FLAR

Los esfuerzos para incrementar el rendimiento potencial en América Latina también se enfocan en la combinación de caracteres claves especialmente el aumento del número de granos por panícula. Después de la introducción de las variedades semi-enanas los esfuerzos del mejoramiento se concentraron en introducir resistencia al virus de la Hoja Blanca, a Piricularia y mejorar la calidad de grano en este tipo de planta; entretanto, la selección para adaptación condujo a un incremento en la altura de la planta, reducción en el número de tallos e incrementos en el número de granos por panícula; el rendimiento potencial (con protección) fue similar a las variedades semi-enanas (Cuevas-Pérez, *et al* 1995). Con el objetivo de ampliar la base genética del cultivo se introdujo en el programa de mejoramiento del CIAT germoplasma africano. Como resultado de esos esfuerzos se liberaron nuevas variedades entre las que se destaca 'Fedearroz 50' desarrollada por Fedearroz a partir de germoplasma del CIAT. Esta variedad tiene un rendimiento potencial muy elevado alrededor de 11 toneladas en la estación seca en los trópicos y reúne una serie de características como color verde oscuro, hoja bandera larga y erecta y un follaje de permanencia verde, macollamiento intermedio y panículas largas. Estas características llevaron a investigadores del FLAR a proponer y seguir un modelo para incrementar el potencial del rendimiento en arroz basado en la acumulación de características tales como: altura intermedia, tallos fuertes con tolerancia al vuelco, hojas erectas de color verde oscuro intenso, follaje de permanencia verde y panículas largas (Jennings *et al*, 2002). Esta estrategia es el resultado natural de la selección por adaptación a las condiciones de cultivo en los trópicos, donde en general utilizan siembra directa, que ha conducido a la producción de un tipo de planta intermedio con panículas largas y macollamiento intermedio.

Las líneas desarrolladas con este concepto de panículas largas han mostrado ventajas en rendimiento sobre las variedades recientemente liberadas. En la estación seca del 2007, Torres y colaboradores evaluaron un grupo de líneas de panículas largas en varios ambientes, los resultados indicaron que varias líneas experimentales tuvieron un mayor rendimiento que los testigos; sin embargo, debido a la interacción con el ambiente, ninguna línea fue superior en todas las localidades. El número de granos por panícula tuvo una correlación positiva con el rendimiento pero negativa con el número de panículas por metro cuadrado. Las limitantes para obtener el mayor rendimiento derivado de las panículas largas

fueron el volcamiento por la mayor altura y la esterilidad asociada a las panículas largas. Durante el segundo semestre de 2009 se evaluaron en Palmira un nuevo grupo de líneas de panículas largas y se compararon con 'FL1028', 'Fedearroz 50', 'Fedearroz 60' e 'IR 64'. Los resultados indicaron que una línea experimental que combina tallos fuerte, tolerancia al vuelco, macollamiento intermedio, panículas largas, alta fertilidad y color verde oscuro fue significativamente superior a los testigos y rindió 9,7 ton/ha un 20% más que la variedad Fedearroz 60. El rendimiento potencial en esta línea, medido en pequeños cuadros, fue de 12 toneladas; la producción de biomasa de 2,34 kg por metro cuadrado y el índice de cosecha de 0,49. La variable más importante asociada a rendimiento fue el número de granos llenos por metro cuadrado confirmándose los resultados observados en el 2007 y resultados de otros autores como Yoshida (1981). El testigo 'IR64' tuvo un rendimiento alto, de 9,1 toneladas, debido al elevado número de panículas por metro cuadrado y alta fertilidad. Estos resultados indican que el aumento del rendimiento puede lograrse manteniendo un adecuado número de panículas por metro cuadrado mientras que se aumenta el número de granos por panícula y la fertilidad de la misma. Un resultado similar podría lograrse aumentando el número de panículas por unidad de área; sin embargo, el crecimiento excesivo limita esta estrategia como mencionan Penget *et al.* 1993.

Lo anterior indica que un excelente llenado del grano es fundamental para mejorar el potencial de rendimiento en arroz y obtener ventajas de la característica de mayor número de granos por panícula. A menudo los cultivares con panículas muy largas tienen problemas con el llenado del grano debido a que el incremento en el número de granos por panícula se ha dado por el aumento de las flores en los raquis secundarios de la panícula los cuales son granos inferiores en la capacidad de llenado (Kato, 2010). Sin embargo, existen materiales de panículas largas con buen llenado del grano (Takai, 2006; Katsura *et al.*, 2007). De acuerdo con Horei *et al.* (2003) y Horei (2004) la característica responsable por el mejor llenado de grano en las variedades recientemente liberadas en Japón es la acumulación de carbohidratos no estructurales debida a una mayor tasa de crecimiento durante las fases tardías del periodo reproductivo. Los carbohidratos no estructurales reducen la degeneración de las flores determinando de esta forma el número de granos que se pueden llenar, influyen en la actividad como vertedero de los granos en desarrollo, en el tamaño del grano y en el número de células del endospermo; determinando finalmente, el peso del grano y el porcentaje de granos llenos. Entretanto, Yang y Zang (2010) citan investigaciones que demuestran que el pobre llenado de los granos inferiores no es debido a una limitación en el suministro de carbohidratos, sino que, este se debe a la baja actividad de enzimas claves en la acumulación de carbohidratos que están involucradas en el metabolismo de los carbohidratos en el endospermo en desarrollo. Entender los factores claves del llenado del grano es fundamental para aumentar el rendimiento potencial en arroz.

El aporte de la biología molecular

Los mecanismos moleculares responsables por el mejor llenado de grano y el rendimiento en general están siendo dilucidados lo cual permitirá avanzar mucho más rápido en el mejoramiento para rendimiento potencial. Por ejemplo,

Nagata *et al.* (2002), encontraron que la acumulación de los carbohidratos no estructurales estuvo controlada por QTL's presentes en los cromosomas 1, 4, 5, 7, 11 y 12. De ellos los alelos indica presentes en los cromosomas 5 y 11 aumentaron la producción de carbohidratos no estructurales y ejercieron un efecto positivo en el llenado del grano. Otros genes potenciales relacionados con el transporte eficiente de carbohidratos de las vainas de las hojas a los granos durante el llenado del grano están siendo identificados (Oshugi, 2005). Recientemente, los estudios en la expresión de los genes relacionados con el metabolismo del carbono durante el llenado del grano pueden proporcionar una oportunidad para mejorar el llenado del grano de los granos inferiores. Por ejemplo, se ha propuesto que tres genes relacionados con la invertasa de la pared celular *OsCIN1*, *OsSIN2*, y *OsCIN3* tienen un papel complementario de sinergia en la descarga de asimilados durante el llenado del grano (Yang y Zhang, 2010). Asimismo, se ha observado que las expresiones de los genes relacionados con las enzimas *INV3*, *RSus3*, *AGPL-1* y *AGPS2* fueron mayores en los granos superiores de mejor llenado, que en los inferiores (Yang y Zhang, 2010). Más recientemente, se ha encontrado que la enzima invertasa celular codificada por el gen *GIFI* tiene un papel clave en la deposición del carbono durante los estadios tempranos del llenado del grano y que una alta expresión de este gen, puede aumentar el llenado del grano y el peso de los mismos (Yang y Zhang, 2010, Xing y Zang, 2010). De esta forma modificaciones en la acumulación de carbohidratos no estructurales, la translocación y acumulación de los mismos durante el llenado del grano permitirían mejorar el llenado del grano y obtener la mayor ventaja del tipo de materiales de mayor número de granos por panícula. Otros genes relacionados con los componentes de rendimiento también han sido identificados y validados como se mencionan en la revisión de Xing y Zang (2010).

CONCLUSIONES

Finalmente una estrategia para el incremento del rendimiento potencial en arroz debe incluir:

1. Identificar los factores claves para alto rendimiento en diversos ambientes con ensayos de evaluación de rendimiento y sus componentes con un grupo de genotipos comunes
2. Identificación clara de ambientes homogéneos con sistemas de producción y oferta ambiental disponible
3. Identificación de factores limitantes al rendimiento potencial en cada ambiente. En muchos ambientes se requerirá solamente tolerancia a estreses para proteger el nivel de rendimiento alcanzado en los ambientes favorables
4. En los ambientes favorables se debe continuar en la acumulación de caracteres favorables para alto rendimiento como hojas erectas de color verde oscuro y senescencia tardía, altura de planta intermedia, tallos fuertes con tolerancia al vuelco, capacidad de macollamiento intermedio y panículas con mayor número de granos y alta fertilidad

5. Identificar nuevos donantes de panículas largas e identificar los genes responsables de esta característica
6. Identificar donadores de excelente llenado de grano en diversas condiciones e identificar los genes responsables por esta característica
7. Combinar el excelente tipo de planta con las panículas largas y el buen llenado con el apoyo de la biotecnología.

REFERENCIAS

- Cuevas-Peréz, F.; Berrio, L.E.; Gonzalez, D. Correa-Victoria, F. y Tulande, E. 1995. Genetic Improvement in Yield of Semidwarf Rice Cultivars in Colombia. *Crop Science* 35:725-729.
- Evans, L.T. y R.A. Fisher. 1999. Yield Potential: Its definition, Measurement and Significance. *Crop Science* 39: 1544-1551.
- Fisher, R.A. and G. Edmeades. 2010. Breeding and Cereal Yield Progress. *Crop Science* 50 S85- S110.
- Hargrove, T. and W. Coffman. Breeding History. *Rice Today* Oct - Dec. 2006.
- Horei, T.; I.; Lubis; T. Takai; A. Ohsumi; K. Kuwasaki; K. Katsura. and NiiA. 2003. Physiological Traits Associated with High Yield Potential in Rice. In: Mew. T.; D.S. Brar; S. Peng; D. Dawe. and B. Hardy. (eds). *Rice Science: Innovations and Impact for Livelihood*. IRRI. Los Baños-Phillipines, pp. 117-145.
- Horei, T. 2004. Determination of yield potential and associated traits in Rice. *Gamma Field Symposia Number 43. Improvement of Crop Productivity and Mutation*. Institute of Radiation Breeding Japan. pp. 1-11.
- Jennings, P.R. 1964. Plant Type as a Breeding Objective. *Crop Science* 4:13-15.
- Jennings, P.R.; L.E. Berrio; E. Torres y E. Corredor. 2002. Una estrategia de mejoramiento para incrementar el potencial de rendimiento en Arroz. *Foro Arrocero Latinoamericano* 8:10-13.
- Katsura, K.; S. Maeda; T. Horie and T. Shiraiwa. 2007. Analysis of Yield Attributes and Crop Physiological Traits of Liangyoupeijiu, a hybrid recently bred in China. *Field Crops Research* 103:170-177.
- Kato, T. 2010. Variation and Association of the Traits Related to Grain Filling in Several Extra-Heavy Panicle Type Rice under Different Environments. *Plant Production Science* 13: 185-192.

- Kushibuchi, K. 1997. Historical Changes in Rice Cultivars. *In*: Matsuo T.; Fusuhara, Y.; Kikuchi F. and Yamaguchi H (eds) *The Science of the Rice Plant, Volume Three, Genetics*. Food and Agriculture Policy Research Center, Tokyo, chap. 2. pp. 837-875.
- Nagata, K.; H. Shimizu and T. Terao. 2002. Quantitative Trait Loci for Nonstructural Carbohydrate Accumulation in Leaf and Sheaths of Rice and their Effects on Grain Filling. *Breeding Science* 52: 275-283.
- Oshugi, O. 2005. Carbon Metabolism to improve sink and source function. *In*: K.; Toriyama; K.L. Heong; B. Hardy (eds). 2005. *Rice is Life: Scientific Perspectives for the 21st Century*. Proceedings of the World Rice Research Conferencia. Los Baños Philippines. International Rice Research Institute and Tsukuba (Japan): Japan International Research Center for Agricultural Sciences. CD-ROM. pp. 120-123.
- Peng, S.; K.G. Cassman; S.S. Virmani; J. Sheehy and G.S. Kush. 1999. Yield Potential Trends of Tropical Rice since the Release of IR8 and the Challenge of Increasing Yield Potential. *Crop Science* 39: 1552-1559.
- Peng, S.; G.S. Khush and K.G. Cassman. 1993. Evolution of the New Plant Ideotype for Increased Yield Potential. *In*: *Breaking the Yield Barrier: Proceedings of a workshop on rice yield potential in favorable environments*. IRRI, Manila, Philippines. pp. 5-20.
- Peng, S.; R. Laza; R. Visperas; G.S. Khush and V. Parminder. 2005. Progress in Breeding the New Plant Type for Yield Improvement: A Physiological View. *In*: K. Toriyama; K.L. Heong; B. Hardy (eds). 2005. *Rice is Life: Scientific Perspectives for the 21st Century*. Proceedings of the World Rice Research Conferencia. Los Baños Philippines. International Rice Research Institute and Tsukuba (Japan): Japan International Research Center for Agricultural Sciences. CD-ROM. pp. 130-131.
- Takai, T.; S. Matsuura; T. Nishio; A. Ohsumi; T. Shiraiwa and T. Horie; 2005. Rice Yield Potential is Closely Related to Crop Growth Rate during the Last Reproductive Period. *Field Crops Research* 96: 328-335
- Torres, E.; S.J. Carabali; L.E. Berrio; E. Graterol; C.R. Pérez y J.B. Figueroa. 2009. Evaluation of Long Panicles Lines in Several Environments. *CIAT Rice Program Annual Report 2009*.
- Witt, C.; R.J. Buresh; S. Peng; V. Balasubramanian and A. Doberman. Nutrient Management. *In*: T. Fairhurst; C. Witt; R. Buresh and A. Doberman (eds). *Rice: A practical guide to nutrient management*. 2nd Ed. International Rice Research Institute, International Plant Nutrition Institute and International Potash Institute 2007. pp. 3-45.

- Xing, Y. and Q. Zhang. 2010. Genetic and Molecular Basis of Grain Yield. *Annual Review Plant Biology* 61:421-422.
- Yang J. and J. Zang. 2010. Grain Filling Problem in Super Rice. *Journal of Experimental Botany* 61: 1-5.
- Yonezawa, K. 1997. Yield Components. *In*: T. Matsuo; Y. Fusuhara; F. Kikuchi and H. Yamaguchi (eds) *The Science of the Rice Plant, Volume Three, Genetics*. Food and Agriculture Policy Research Center, Tokyo, chap. 2. pp. 401- 412.
- Yoshida, S. 1981. *Fundamentals of Rice Crop Science*. The International Rice Research Institute. Los Baños Laguna, Philippines 1981. 268 p.