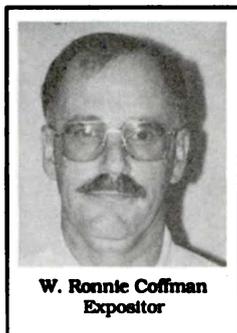


# Un Nuevo Enfoque para el Mejoramiento del Arroz en América Latina



W. Ronnie Coffman  
Johnson Olufowote  
Pablo Grau  
Reynaldo Villareal\*

## Resumen

**La crisis ocasionada por la deuda externa ha debilitado los programas nacionales de investigación de arroz en América Latina, y ha aumentado su dependencia de los programas regionales y mundiales del CIAT y del IRRI.**

**Si bien el germoplasma mejorado producido por los IARC ha traído consigo cierto grado de uniformidad genética, también ha brindado inmensos beneficios a los programas nacionales de investigación agrícola y a los productores de arroz de la región. Estos beneficios se ven hoy en día amenazados, ya que tanto el IRRI como el CIAT, en respuesta a las presiones ejercidas por sus donantes, han comenzado a "avanzar" hacia la biotecnología, y están tratando de extrapolar el éxito que han tenido en sus programas de mejoramiento de cultivos a la compleja labor del manejo de los recursos. Una nueva estrategia para el mejoramiento del arroz en América Latina debe tener en cuenta los puntos siguientes: 1) desde el punto de vista de la diversidad genética, es conveniente abandonar el método de mejoramiento centralizado empleado por el IRRI y el CIAT; 2) el CIAT reducirá los recursos destinados al mejoramiento convencional del arroz, y se ocupará más de las biotecnologías que apoyen el mejoramiento del arroz; y 3) un plan factible (con posibilidades de éxito) debe utilizar, de manera más eficaz, los recursos humanos de los programas nacionales de investigación que hoy languidecen a causa de las restricciones económicas. Una estrategia semejante debe incluir: 1) la identificación y el establecimiento de sitios experimentales esenciales para el mejoramiento; 2) la evolución de INGER hacia una entidad cooperativa de contratación; y 3) el CIAT considerado como fuente de tecnología avanzada.**

## Introducción

Durante los últimos 25 años, los incrementos en la producción alimentaria de los países en vías de desarrollo han rebasado en gran medida a los obtenidos en el mundo desarrollado (Huke y Huke, 1990), sobre todo en lo que se refiere al cultivo del arroz con riego en América Latina. Por desgracia, el crecimiento demográfico en muchos de estos países ha sido tan rápido durante el mismo período, que el incremento per cápita en la producción resulta insignificante e incluso negativo. En

\* Profesor y Jefe, Asistentes Graduados de Investigación, y Profesor Visitante, respectivamente, Departamento de Fitomejoramiento y Biometría, Cornell University, USA.

América Latina, el aumento de la producción alimentaria no ha podido mantener el ritmo de crecimiento de la población, que fue del 2.4% anual durante los últimos 10 años (CIAT, 1991). Este crecimiento de la población ha puesto en peligro los recursos naturales, y es evidente que, si se continúa con las políticas actuales en agricultura y en planificación familiar, la crisis alimentaria podría extenderse y afectar a sectores de la población diferentes del de bajos ingresos en los países en vías de desarrollo. En éstos, el índice diario de mortalidad causada por el hambre y la desnutrición es, por lo menos, de 40,000 personas (Peterson, 1991). Brown y Young (1990) sostienen que el incremento de los precios de los granos, y la lucha por los alimentos que se desencadenaría como resultado de la crisis alimentaria, podría desestabilizar los gobiernos nacionales y amenazar la integridad del sistema monetario internacional.

Al pensar en una estrategia para el mejoramiento del arroz en los próximos años, debemos tener en cuenta que la crisis ocasionada por la deuda externa ha afectado en grado sumo los programas nacionales de investigación sobre arroz en América Latina, y ha aumentado su dependencia de los programas regionales y mundiales del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y del Instituto Internacional de Investigación sobre el Arroz (IRRI). El precio de la tecnología mejorada que desarrollaron y difundieron estos centros ha sido un incremento alarmante en la uniformidad genética (Cuevas-Pérez et al., 1991; Hargrove, 1979; Hargrove et al., 1979, 1980 y 1988). Si bien la generación de germoplasma mejorado por los Centros Internacionales de Investigación Agrícola (IARC) ha dado como resultado un cierto grado de uniformidad genética, también ha brindado inmensos beneficios a los programas nacionales de investigación agrícola y a los productores de arroz de la región. Tales beneficios se ven ahora amenazados, ya que el IRRI y el CIAT, en respuesta a las presiones ejercidas por los donantes, han comenzado a "avanzar" hacia la biotecnología, y tratan de extrapolar el éxito que han alcanzado en los programas de mejoramiento de cultivos específicos a la difícil tarea de administrar los recursos naturales.

En cualquier escenario realista del mundo actual, la brecha que existe entre las necesidades y las oportunidades se hará forzosamente más grande con el tiempo, y los científicos especializados en arroz en América Latina tendrán que afrontar la perspectiva de hacer más con menos recursos. En su plan estratégico para los años 90, el CIAT (1991) contempla una reducción del 20% (en términos reales) en la asignación de recursos para la investigación sobre arroz; sería pues ridículamente optimista creer que aumentará, o incluso que se estabilizará, el apoyo financiero concedido a los programas nacionales de investigación sobre arroz. Para esta ponencia se nos pidió que pensáramos en posibles métodos para continuar con el mejoramiento del arroz en América Latina, teniendo en cuenta que actualmente existe una dependencia excesiva de la IR8. Cualquier intento de diversificar la base genética del arroz se

encuentra necesariamente relacionado con la función desempeñada por el CIAT y los programas nacionales de investigación sobre arroz, y está inscrito en una época de recursos financieros limitados; por consiguiente, en este trabajo se propone una metodología que tiene en cuenta la situación real que vivimos.

## **Base Genética del Arroz en América Latina**

El arroz ocupa más de una tercera parte de la superficie sembrada con cereales en los países en vías de desarrollo, y alrededor de 50% más que la superficie sembrada con trigo, el segundo cultivo en importancia en esos países. El esfuerzo por crear variedades modernas de alto rendimiento se intensificó con la fundación del IRRI en Los Baños, Filipinas, en 1960. El primer logro importante del IRRI fue la creación de variedades semienanas de alto rendimiento e insensibles al fotoperíodo, para lo cual empleó la fuente de enanismo *Dee-geo-woo-gen* (DGWG). En 1966, la liberación de la variedad IR8 (un derivado de DGWG) por el IRRI inició la "Revolución Verde" en la producción de arroz, en muchos países de Asia, África y América Latina. Desde esa fecha se ha recomendado el empleo de cientos de variedades de arroz de alto rendimiento para condiciones de riego y condiciones favorables de temporal (secano) en las tierras bajas de casi todos los países del mundo que cultivan arroz.

Gracias a la liberación de variedades por parte del IRRI, la difusión de las variedades modernas de arroz de alto rendimiento ha sido más amplia en Asia; la mayoría de ellas contiene la fuente DGWG (Hargrove et al., 1979). De la superficie total sembrada con arroz, la fracción en que se sembraron variedades modernas en 1982-1983 varió de un mínimo de 13%, aproximadamente, en Tailandia, a un máximo de 85% en Filipinas (Singh, 1985). Virmani et al. (1978), Zan et al. (1984), John y Gunneweg (1985), y Olufowote (1985) documentaron bien la difusión de las variedades modernas de arroz de alto rendimiento en África. Los progenitores de gran parte de estas variedades contienen a IR8 o a TN1, por lo que se remontan a la fuente DGWG. Las variedades para tierras de secano tienen una base genética más amplia.

Rubinstein (1985), Manosalva de Nivia et al. (1991), y González Tous et al. (1991) estudiaron las variedades modernas de arroz de alto rendimiento que más se cultivan hoy en día en América Latina. Rubinstein (1985) afirma que la proporción de la superficie total de arroz que se sembró con variedades de alto rendimiento en esa región aumentó alrededor del 1% en 1969 al 10% en 1974, y que en 1981 el 26% de la superficie plantada con arroz en 24 países latinoamericanos se sembró con variedades de alto rendimiento. No obstante, si se excluye Brasil (que tiene una ecología de secano particularmente desfavorable), el proceso de adopción fue de alrededor del 16% en 1971 y cerca del 70% en 1981. Entre 1973 y 1990, se cultivaron unas cuantas variedades sobresalientes

en América Central. Cuevas Pérez et al. (1992) señalaron que la base genética de casi todas las variedades cultivadas en América Latina incluían DGWG, introducida ésta en la región a través de la IR8 y de otras líneas de mejoramiento creadas en las primeras etapas del programa de mejoramiento del IRRI.

Desde hace por lo menos 20 años, cuando se produjo la epifitía del tizón sureño de la hoja del maíz en Estados Unidos (National Academy of Sciences, 1972), los mejoradores de arroz son conscientes de los problemas potenciales de la uniformidad genética, pero no han diversificado aún el germoplasma utilizado. Las razones de ello son complejas, y los fitomejoradores experimentados las conocen a la perfección. Los programas bien financiados del IRRI y del CIAT han homogeneizado el germoplasma de arroz que se emplea a nivel mundial y regional. Miles de variedades tradicionales que habían evolucionado a nivel local han sido reemplazadas por docenas de variedades semienanas, con fenotipo y genotipo (supuestamente) semejantes, y que han sido obtenidas de una misma base. Los materiales —o variedades utilizadas como progenitores— que usan tales programas de mejoramiento pueden diversificarse; las variedades que ellos producen, sin embargo, son seleccionadas de acuerdo con parámetros de comportamiento superior, según la manera en que se combinen los progenitores. A causa de los efectos de conservación del ligamiento, los productos de un determinado programa de mejoramiento tienden a desarrollar cierta identidad, que equivale virtualmente a la semejanza genotípica. Los análisis de genealogías efectuados por Cuevas Pérez et al. (1992), Hargrove et al. (1980, 1988), Manosalva de Nivia et al. (1991), y González Tous et al. (1991), respaldan la existencia de este bien conocido fenómeno.

## **El Programa de Arroz del CIAT**

El Programa de Arroz del CIAT y la Red Internacional para la Evaluación Genética del Arroz (INGER), relacionada con él, constituyen la base de la investigación sobre arroz en la región latinoamericana. Durante el próximo decenio, el programa se ha fijado como meta: 1) ampliar la base genética actual del arroz de riego con el fin de aumentar la estabilidad de la producción; 2) lograr una expresión más completa del potencial de rendimiento —y mantenerla— en los sistemas que cuentan con riego, y reducir el empleo de insumos externos; 3) crear germoplasma de arroz de alto rendimiento para condiciones de secano, y adaptarlo a las sabanas; 4) reforzar la capacidad de los programas nacionales de hacer investigación destinada a mejorar y estabilizar la producción de arroz; y 5) fomentar el intercambio eficaz de información. Estos objetivos aparecen en el plan estratégico del CIAT para los años 90 (CIAT, 1991). En ese informe se establece con claridad que el CIAT abandonará el mejoramiento aplicado de los cultivos, con la esperanza de que los programas nacionales

de investigación, que han sido fortalecidos durante años, se hagan cargo de esas actividades. Los recursos asignados al arroz se reducirán en un 20%, y este porcentaje se destinará a actividades relacionadas con el manejo de los recursos naturales; se espera además que el Programa de Arroz continúe cumpliendo con el extenso plan de actividades que se mencionó antes. Es posible que, dada la actitud que actualmente prevalece entre los donantes, los dirigentes del CIAT tengan pocas oportunidades de decidir sobre lo que se hará en el futuro. Es preciso, sin embargo, recordarles constantemente, a ellos y a los donantes, que los programas de mejoramiento de cultivos (en especial, del arroz) han aportado más de la mitad de los beneficios obtenidos en la producción agrícola (Evenson, 1991; Ruttan, 1987), y que continúan manteniendo e incrementando tales beneficios. La nueva estrategia toma recursos financieros de una oportunidad comprobada, cual es el mejoramiento del arroz, y los destina a una necesidad, a saber, el manejo de los recursos naturales. Esta última es, sin duda, urgente, pero ha sido mal definida, y no representa necesariamente una oportunidad para el CIAT, a no ser el mayor atractivo que ejercerá en los donantes.

## **Capacidad Nacional de Investigación**

El fortalecimiento de la capacidad de investigación de los programas nacionales ha sido uno de los objetivos del CIAT y de otros IARC desde el comienzo. La estrategia del CIAT para los años 90 depende, en gran medida, de que los programas nacionales de investigación asuman la responsabilidad de hacer investigación sobre algunos cultivos (incluyendo el arroz), labor que, hasta el presente, ha desarrollado el centro. La realidad es que los programas nacionales de investigación son cada vez más débiles (von der Osten, 1987). Cuentan con recursos humanos bien capacitados, pero su situación económica es, en general, bastante precaria. Aun los más fuertes (Brasil y México) están sujetos a grandes fluctuaciones presupuestales, y tienen dificultad para brindar un apoyo estable a las actividades de investigación de largo plazo, como el fitomejoramiento. El plan estratégico del CIAT (CIAT, 1991) reconoce este problema, pero lo descarta como un efecto a corto plazo de la crisis ocasionada por la deuda externa. Un plan más realista aceptaría que la limitada disponibilidad de recursos financieros que padecen los programas nacionales constituye un problema a largo plazo, y trazaría una estrategia para resolverlo.

## **Estrategia para el Mejoramiento del Arroz en América Latina**

Toda estrategia que sea útil para el mejoramiento del arroz en América Latina debe reconocer los siguientes hechos: 1) desde el punto de vista de la diversidad genética, es conveniente alejarse del método de

mejoramiento centralizado aplicado por el IRRI y el CIAT; 2) el CIAT reducirá los recursos destinados al mejoramiento del arroz y emprenderá investigación biotecnológica avanzada que respalde el mejoramiento del arroz; y 3) un plan factible, es decir, que tenga posibilidades de éxito, utilizará de manera más eficaz los recursos humanos de los programas nacionales, los cuales languidecen por causa de las restricciones económicas. La estrategia debe incluir los siguientes puntos: 1) la identificación y el establecimiento de sitios experimentales esenciales para el mejoramiento; 2) la evolución de INGER en una entidad cooperativa de contratación; y 3) el acceso al CIAT como a una fuente de tecnología avanzada.

## **Sitios Experimentales Esenciales para el Mejoramiento**

Haciendo uso de un conjunto de datos procedentes del Vivero Internacional de Arroz para la Tolerancia al Frío (IRCTN), Brown et al. (1983) agruparon los ambientes que presentaban climas y condiciones edáficas similares, e identificaron sitios óptimos de selección para hacer más eficaces los programas de fitomejoramiento. Un ambiente que permita hacer una discriminación adecuada entre los genotipos tendrá un elevado coeficiente de regresión del índice genotípico, en tanto que un ambiente que prediga en forma constante el comportamiento de los genotipos en otros sitios tendrá un elevado coeficiente de determinación. Para que un medio de selección sea óptimo, debe presentar valores altos en estos dos factores estadísticos.

Mbenga (1989) empleó la interacción genotipo x ambiente para mejorar la elección de los sitios experimentales de los ensayos de maíz en la región oriental de Gambia. Los sitios se evaluaron por la contribución que hacían a las interacciones  $G \times A$ , por la variación genética, y por su idoneidad como sitios experimentales. Mbenga utilizó el modelo AMMI (efectos principales acumulativos e interacciones multiplicativas), para estudiar las interacciones de los genotipos en las diferentes localidades, e identificó uno de los cuatro sitios donde la selección de genotipos se acercaba más a la ideal.

Yau et al. (1991) emplearon un análisis de conglomerados (cluster analysis) para clasificar los sitios experimentales del trigo harinero en Asia Occidental, en Africa del Norte, y en la región mediterránea de Europa. Estas regiones presentan grandes variaciones en cuanto a la humedad, la temperatura y el estrés biótico. Se usaron los datos obtenidos de los Ensayos Regionales de Rendimiento de Trigo Harinero efectuados por ICARDA/CIMMYT en 1983-1984 y en 1985-1986. Los investigadores, valiéndose de los datos de dos años correspondientes al rendimiento de grano de 21 y 23 líneas de trigo en 30 y 40 sitios

experimentales, respectivamente, llegaron a la conclusión de que el mejoramiento que lograrse una adaptación amplia a esta región sería una labor muy difícil, y que la región debería subdividirse en dos grupos experimentales, uno de riego o elevada precipitación (REP) y otro de temporal o baja precipitación (TBP). Los autores recomendaron que, dada la escasez de recursos, los conglomerados que incluyeran muy pocos sitios no merecían un programa de mejoramiento independiente. No obstante, dada la mayor variabilidad de los ambientes TBP en comparación con los REP, el mejoramiento para obtener adaptación amplia en las zonas del primer grupo sería más difícil; por tanto, sería más conveniente dividir estas zonas en dos o tres subregiones más o menos homogéneas, y obtener líneas de trigo harinero específicas para cada subregión.

Se espera que los datos generados por INGER en los últimos años permitirán identificar los sitios experimentales clave en las distintas zonas agroecológicas de América Latina. Entre tales sitios debe elegirse un 'sitio esencial de mejoramiento' empleando criterios que tengan en cuenta las instalaciones y los servicios disponibles. Es preciso reconocer que el empleo de un método estricto de 'sitios clave' para evaluar el germoplasma puede descartar sitios de selección que presenten factores adversos importantes, aunque desconocidos. Fox (1989) estudió la importancia de los sitios 'atípicos', y dio ejemplos tomados de la experiencia del CIMMYT. Si bien es evidente que se debe aplicar el sentido común para elegir los sitios experimentales clave para el mejoramiento, también es obvio que el método propuesto aquí debe ser más económico y productivo. Basta mirarlo a la luz de la situación actual, es decir, cuando los sistemas nacionales de investigación tratan en vano de apoyar extensos programas de mejoramiento de arroz.

## **Nuevo Rostro de INGER en América Latina**

La Red Internacional para la Evaluación Genética del Arroz (INGER) desempeña una función muy útil en el intercambio y en la evaluación del germoplasma mejorado de arroz en América Latina, y en el mundo entero. Es de gran utilidad sobre todo para los programas nacionales más pequeños que, sin esa red, no tendrían acceso a los materiales mejorados. Un aspecto negativo de INGER es su contribución a la homogeneización del germoplasma mejorado en toda la región, la cual hace que la región entera sea potencialmente más vulnerable a las epifitias causadas por plagas y enfermedades.

En la actualidad, INGER podría convertirse en una entidad cooperativa de contratación, que aprovecharía de manera eficaz a los científicos capacitados en investigación sobre arroz en la región. Los contratos versarían sobre las labores de mejoramiento y verificación que se llevan a cabo en los sitios esenciales de mejoramiento y en los sitios

experimentales clave. Este método de contratación para la investigación, que emplea científicos de los programas nacionales de investigación agrícola, ha sido aplicado con gran éxito por el Centro Internacional de la Papa (CIP), y su popularidad está aumentando en otros IARC.

## La Nueva Función del CIAT

De acuerdo con esta nueva estrategia, el CIAT podría proporcionar servicios en que se emplearan las nuevas tecnologías las cuales, en la actualidad, se encuentran más allá de las posibilidades de casi todos los programas nacionales. De especial importancia serían los mapas genómicos en que aparezcan características importantes desde el punto de visto económico; su manejo es posible gracias al polimorfismo en longitud de los fragmentos de la restricción enzimática (RFLP) (McCouch et al., 1988). A medida que se avance en el mapa genómico del arroz, la capacidad de evaluar los genotipos —ya no los fenotipos— se perfeccionará, y podrá utilizarse para incrementar la diversidad genética de las variedades que se cultivan en la región. La tecnología de los RFLP hará posible también la inclusión, en el genoma de una línea o variedad, de genes procedentes de especies silvestres o de variedades mal adaptadas; al mismo tiempo, minimizará los problemas inherentes al ligamiento de genes (Tanksley et al., 1989). La tecnología del RFLP puede utilizarse también para incorporar genes con el fin de obtener resistencia a plagas y enfermedades y, en especial, para acumular en forma piramidal genes que den resistencia a enfermedades importantes como la pircularia. Este tipo de tecnología incrementará, de una parte, la eficiencia y la eficacia de la selección por resistencia, y de otra, permitirá a los investigadores analizar, transferir y combinar genes con una velocidad y precisión que no eran posibles anteriormente. Como no se limitan a genes individuales, los marcadores de RFLP pueden usarse para manipular características cuantitativas de manera conceptualmente sencilla, y permitirán la producción de variedades que posean ciertas combinaciones de caracteres. Anteriormente era muy difícil lograr esas combinaciones, y por ello se consumía mucho tiempo produciendo tales variedades.

## Referencias

- Brown, K.D., M.E. Sorrells y W.R. Coffman. 1983. A method for classification and evaluation of testing environments. *Crop Sci.* 23:889-893.
- Brown, L.R. y J. E. Young. 1990. Feeding the world in the nineties. En: L.R. Brown et al. (eds.). *State of the World. Worldwatch Institute report on progress toward a sustainable society.* W.W. Norton, Nueva York. p. 59-78.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1991. *CIAT in the 1990s and beyond: A strategic plan*, 2 partes. Cali, Colombia. 78 p.

- Cuevas Pérez, F., E.P. Guimarães, L.E. Berrío y D.I. González. 1992. Genetic base of irrigated rice in Latin America and the Caribbean, 1971-1989. *Crop Sci.* 32(4): (en imprenta).
- Evenson, R.E. 1991. Notes on the measurement of the economic consequences of agricultural research investments. Trabajo presentado at the Cornell International Institute for Food, Agriculture and Development Workshop on Assessment of International Agricultural Research Impacts for Sustainable Development, 16-19 June.
- Fox, P.N. 1989. Position paper on CIMMYT International Wheat Nurseries (unpublished). CIMMYT, El Batán, México. 19 p.
- González Tous, D.I., L.E. Berrío Orozco, N. Manosalva de Nivia y F. Cuevas Pérez. 1991. Origen de las variedades de arroz en Colombia, 1971-1989. Informe de investigación, INGER-América Latina. CIAT, Cali, Colombia.
- Hargrove, T.R. 1979. Diffusion and adoption of semidwarf rice cultivars as parents in Asian rice breeding programs. *Crop Sci.* 19:571-574.
- Hargrove, T.R., W.R. Coffman y V.L. Cabanilla. 1979. Genetic interrelationships of improved rice varieties in Asia. IRRRI Research Paper Series no. 23. IRRRI, Manila, Filipinas. 34 p.
- Hargrove, T.R., W.R. Coffman y V.L. Cabanilla. 1980. Ancestry of improved cultivars of Asian rice. *Crop Sci.* 20:721-727.
- Hargrove, T.R., V.L. Cabanilla y W.R. Coffman. 1988. Twenty years of rice breeding: The role of semidwarf varieties in rice breeding for Asian farmers and the effects on cytoplasmic diversity. *Bioscience* 38(10):675-681.
- Huke, R.E. y E.H. Huke. 1990. Rice: Then and now. IRRRI, Los Baños, Filipinas.
- Jacquot, M. 1978. Varietal improvement programme for pluvial rice in francophone Africa. En J.W. Buddenhagen y G.J. Persley (eds.). *Rice in Africa: Proceedings of a conference held at the International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria, 7-11 March, 1977.* Academic Press, Londres. p. 117-129.
- John, V.T. y H.A.M.I. Gunneweg. 1985. Adoption, spread and production impact of modern rice varieties in Africa. En *Proceedings of the 16th Session of the International Rice Commission, 10-14 June, 1985, Los Baños, Filipinas. Rice: Progress assessment and orientation in the 1980s.* Int. Rice Comm. Newsl. 34(2):93-96. Edición especial.
- McCouch, S.R., G. Kochert, Z.H. Yu, Z.Y. Wang, G.S. Khush, W.R. Coffman y S.D. Tanksley. 1988. Molecular mapping of rice chromosomes. *Theor. Appl. Genet.* 76(6):815-829.

- Manosalva de Nivia, N., L.E. Berrío Orozco, D.I. González Tous y F. Cuevas Pérez. 1991. Variabilidad genética del arroz en América Central. Trabajo presentado en la 37th Annual Meeting of the Cooperative Program for the Improvement of Crops and Animals in Central America, Panamá, marzo 18-20, 1991.
- Mbenga, M.S. 1989. The use of genotype and environment interactions to enhance maize (*Zea mays* L.) cultivar and test site selection in the eastern part of the Gambia. Tesis (M.S.). Graduate School, Cornell University, Ithaca, NY.
- Muchnik de Rubinstein, E. 1985. The impact of high-yielding rice varieties in Latin America. En Proceedings of the 16th Session of the International Rice Commission, 10-14 June, 1985, Los Baños, Filipinas. Rice: Progress assessment and orientation in the 1980s. Int. Rice Comm. Newsl. 34(2):97-109. Edición especial.
- National Academy of Sciences. 1972. Genetic vulnerability of major crops. NAS. Washington, DC. 307 p.
- Olufowote, J.O. 1985. The adoption, spread and production impact of modern rice varieties in West Africa. Trabajo preparado para la International Rice Commission, FAO, Roma, Italia.
- Peterson, W. 1991. World hunger: A solution with food stamps. Choices 6(2):24-26.
- Ruttan, V.W. 1987. Toward a global agricultural research system. En V.W. Ruttan y C. Pray (eds.). Policy for Agricultural Research. Westview Press, Boulder, CO. p. 65-97.
- Singh, R.B. 1985. Rice paddy production in the Asia-Pacific region: Past performance and future prospects. En Proceedings of the 16th Session of the International Rice Commission, 10-14 June, 1985, Los Baños, Filipinas. Rice: Progress assessment and orientation in the 1980s. Int. Rice Comm. Newsl. 34(2):53-76. Edición especial.
- Tanksley, S.D., N.D. Young, A.H. Paterson y M.W. Bonierbale. 1989. RFLP mapping in plant breeding: New tools for an old science. Biotechnology 7(3):257-264.
- Virmani, S.S., J.O. Olufowote y A.O. Abifarin. 1978. Rice improvement in tropical anglophone Africa. En I.W. Buddenhagen y G.J. Persley (eds.). Rice in Africa: Proceedings of a conference held at the International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria, 7-11 March, 1977. Academic Press, Londres. p. 101-116.
- von der Osten, A. 1987. The impact of research on development: Needs and potentials. En B. Webster, C. Valverde y A. Fletcher (eds.). The impact of research on national agricultural development: Report on the First International Meeting of National Agricultural Systems and the Second IFARD Global Convention, Brasilia, 6-11 October, 1986. ISNAR, La Haya, Holanda. p. 41-46.

**Yau, S.K., G. Ortiz-Ferrara y J.P. Srivastava. 1991. Classification of diverse bread wheat-growing environments based on differential yield responses. Crop Sci. 31:571-576.**

**Zan, K., V.T. John y M.S. Alam. 1984. Rice production problems in Africa. En D.L. Hawksworth (ed.). Advancing agricultural production in Africa: Proc. CAB's First Scientific Conference, Arusha, Tanzania, 12-18 February, 1984. CAB, Farnham Royal, Slough, Reino Unido. p. 64-70.**