

Cría de Arroz

Elcio P. Guimaraes

Resumen Este capítulo trata sobre los aspectos de mejoramiento de uno de los cultivos más importantes para la seguridad alimentaria en el mundo. Inicialmente muestra cuán diverso es el arroz con 22 especies, diferentes niveles de ploidía y seis grupos de diversidad. La elección de progenitores para el cruce, cuando se dispone de una diversidad genética tan amplia, requiere una cuidadosa caracterización y evaluación del germoplasma, así como buenos conocimientos y habilidades de mejoramiento para tomar las decisiones correctas. Los mejoradores de arroz han tenido mucho éxito en mejorar el cultivo. Algunos hitos son: la contribución a la revolución verde con las variedades semienanas, el nuevo tipo de planta de arroz, el arroz híbrido y el arroz NERICA. A pesar de que hubo una serie de avances, los principales objetivos de mejoramiento en la mayoría de los programas nacionales siguen siendo similares desde hace mucho tiempo: aumentar el potencial de rendimiento del grano, la resistencia al ahijado, la calidad del grano y la tolerancia a la sequía. El principal método de mejoramiento utilizado para mejorar el arroz es el pedigrí, pero se agregaron al portafolio del mejorador el desarrollo de híbridos y el mejoramiento de la población. Los criadores han estado aprovechando las herramientas de la biotecnología para mejorar su capacidad de reproducción; sin embargo, muchos programas nacionales todavía tienen dificultades para integrarlos en los programas de mejoramiento y cómo equilibrar la asignación de recursos entre herramientas convencionales y modernas. El capítulo cierra con información sobre la capacidad de mejoramiento del arroz en todo el mundo, que muestra que los mejoradores de arroz están ampliamente distribuidos en todas las regiones y la capacidad existente, utilizando la información mencionada anteriormente, aún podrá hacer frente al desafío de hacer progreso genético para uno de los cultivos más importantes para la seguridad alimentaria.

1. Introducción

El arroz es el cultivo alimentario más importante del mundo con una producción total de alrededor de 600 millones de toneladas y ocupa el 11% de la tierra cultivable total del mundo; aporta 2.808 calorías/persona/día, lo que representa el 21% del aporte calórico total. es fuente

EP Guimaraes

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Viale delle Terme di Caracalla, Servicio de Cultivos y Pastizales (AGPC) – Sala C-778, 00153 Roma, Italia, correo electrónico: elcio.guimaraes@fao.org

de ingresos para más de 100 millones de cabezas de familia en todo el mundo (IRRI, 2002). Es uno de los cultivos responsables de la llamada revolución verde ocurrida en las décadas de 1960 y 1970.

Además de tener fuertes programas de mejoramiento en todas las diferentes regiones del mundo, este cultivo tiene tres centros de Grupos Consultivos sobre Investigación Agrícola Internacional (CGIAR) con el mandato de trabajar con arroz: el Instituto Internacional de Investigación del Arroz (IRRI), con mandato global; la Asociación para el Desarrollo del Arroz de África Occidental (WARDA), con mandato para trabajar en África Occidental; y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), con el mandato regional para América Latina.

Los centros internacionales hicieron un gran esfuerzo para educar y capacitar a los mejoradores de arroz en el momento de la revolución verde. Hoy, 25 o 35 años después, la mayoría de los mejoradores de arroz que trabajan en programas nacionales en todo el mundo representan ese período. Los viveros internacionales de evaluación de germoplasma [Programa Internacional de Pruebas de Arroz (IRTP) y Red Internacional para la Evaluación Genética del Arroz (INGER)] fueron excelentes herramientas para proporcionar a los nuevos mejoradores líneas de mejoramiento mejoradas, así como oportunidades adicionales de capacitación, incluidos ejercicios prácticos sobre técnicas de cría.

Este capítulo tiene como objetivo proporcionar información general sobre los siguientes temas: las fuentes de diversidad genética disponibles para los mejoradores; criterios a considerar al seleccionar material parental para generar variabilidad genética para el desarrollo de variedades; los logros genéticos más relevantes; métodos de mejoramiento de arroz utilizados en todo el mundo, cómo se ha integrado la biotecnología en los programas de mejoramiento, estrategia de producción de semillas genéticas; y elementos relacionados con la capacidad mundial para llevar a cabo programas de mejoramiento de arroz.

2 Diversidad genética

El éxito de las estrategias de mejoramiento depende en gran medida de la diversidad genética del cultivo. Los bancos de genes de arroz de todo el mundo exhiben una gran cantidad de diversidad genética presente en los cultivares de los agricultores, las variedades locales, así como en la composición genética de las 22 especies de *Oryza*. En el IRRI, en Manila, Filipinas, se conservan más de 108.000 accesiones (Jackson y Lettington, 2003); además, hay cientos de accesiones de arroz en fideicomiso en otros centros de CGIAR; WARDa; CIAT; y el Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA). Casi tantas accesiones se conservan en bancos de germoplasma en otros países asiáticos como China, India, Indonesia, Filipinas y Tailandia (Jackson et al., 1997). Además, considerando que el Proyecto Internacional de Secuenciación del Genoma del Arroz ha identificado más de 80 000 genes en el genoma del arroz y que cada gen tiene un número desconocido de alelos, la conclusión es que los mejoradores seguirán teniendo diversidad genética útil para aprovechar durante muchas generaciones. por venir siempre y cuando haya un buen germoplasma selecto.

El arroz pertenece al género *Oryza* y en los diversos intentos por clasificarlo no se obtuvo acuerdo en cuanto al número y nombres de las especies pertenecientes a este género. En 1994, Vaughan (1994) publicó un manual que indica

que el género tiene 22 especies. Sin embargo, solo se cultivan *O. sativa* y *O. glaberrima*. El número de cromosomas del arroz cultivado y sus especies afines varía de 24 a 48, siendo el número "n" igual a 12. Según Morishima (1984), basado en el paring cromosómico en la meiosis, el arroz tiene lo siguiente genomas: AA, BB, CC, EE y FF para las especies diploides y BBCC y CCDD para las especies tetraploides.

Las dos especies cultivadas, que son diploides ($2n = 24$), fueron domesticadas en diferentes condiciones ambientales. *O. sativa* fue domesticada en el sur y sureste de Asia y tiene las especies *O. rufipogon* y *O. nivara* como sus ancestros directos. *O. glaberrima* proviene de África occidental tropical y tiene como progenitor a *O. barthii*. El primero se cultiva en todos los entornos de cultivo de arroz del mundo. Sin embargo, el cultivo de la especie africana se limita a su región de origen.

Morishima y Oka (1981) dividieron las especies cultivadas en dos grupos llamados indica y japonica basándose en análisis de componentes principales de 11 características de variedad. Su estudio indicó que no había una característica específica que distinguiera claramente a los dos grupos; sin embargo, la existencia de los dos grupos puede probarse combinando dos o más características. Khush et al. (1984), usando trisómica, observaron una correspondencia completa entre los bloques de edad de enlace japonica e indica; es decir, no hubo un solo caso en el que los genes ubicados en un cromosoma japonica se encontraran en un cromosoma indica diferente. Harushima et al. (2002) creen que el proceso de domesticación provocó las diferencias entre los dos grupos, incluidas sus barreras reproductivas. El proceso evolutivo dio a estos dos grupos sus características distintivas, como la tolerancia a las bajas temperaturas y al estrés por sequía, la capacidad de respuesta a los fertilizantes, la capacidad de competir con las plantas vecinas y la capacidad fotosintética, entre otras cosas.

Con base en la distribución geográfica, Morinaga (1954) describió tres grupos morfológicos llamados japonica, javanica e indica. Oka (1958) indicó que los grupos japonica y javanica pueden considerarse como japonicas tropicales y templados, respectivamente. El primero tiene variedades altas con panículas pesadas (Glaszmann y Arrau deau, 1986). El tipo de planta ideal diseñado por Khush (1994), que puede ayudar a aumentar los rendimientos de arroz hasta en un 30 %, aprovecha la variabilidad genética de este grupo.

Glaszmann (1987) realizó un gran avance relacionado con los grupos de diversidad genética del arroz al analizar 1.688 variedades tradicionales asiáticas utilizando isoenzimas e identificó seis grupos genéticamente distintos, que se denominaron grupos I-VI. El Grupo I comprende las variedades de las regiones tropicales clasificadas por Oka (1958) como "indicas". En el otro extremo se encuentra el grupo VI donde se encuentran las variedades adaptadas a climas templados denominadas "japonicas" por Oka (1958). Este último grupo incluye la mayoría de las variedades de arroz de secano.

Como el arroz se cultiva en todo el mundo, su diversidad también se debe a la amplia gama de ecosistemas a los que se adapta el cultivo. Según el IRRI (2002), una forma de categorizarlo es distribuir los ecosistemas en cuatro grandes categorías: de regadío, de tierras bajas, de tierras altas y propensos a inundaciones. Una combinación de estos ecosistemas con diferentes zonas agroecológicas da una matriz muy compleja en la que la diversidad genética del arroz está disponible adaptándose naturalmente para satisfacer las demandas de los agricultores.

Aunque el arroz es un cultivo rico en términos de su diversidad genética, hay varios informes en la literatura que indican que las variedades liberadas por los programas de mejoramiento en diferentes partes del mundo tienen una base de diversidad genética limitada.

Cuevas-Pérez et al. (1992) y Montalbán et al. (1998) presentaron resultados sobre arroz de regadío y de secano en América Latina, respectivamente, indicando que las variedades comerciales lanzadas para ambos sistemas tenían una base genética estrecha. Guimaraes (2002) diseccionó las variedades brasileñas de arroz y llegó a la misma conclusión. Mishra (2002), considerando los enfoques de mejoramiento utilizados en la India y las variedades lanzadas en los últimos 30 años, concluyó: "la base genética se está estrechando y esto es motivo de preocupación". Rai (2003) agregó evidencia al analizar las 29 variedades liberadas en el estado indio de Kerala. También señaló que en Nigeria hay uniformidad genética dentro de las variedades de arroz de secano. Dilday (1990) mostró resultados similares al analizar la diversidad genética de las variedades de arroz liberadas en EE.UU. así como Kaneda (1985) en Japón. Sin embargo, como se indicó anteriormente, estos resultados no sugieren que esto sea cierto al observar las especies de arroz. Por ejemplo, Sun et al. (2001) analizaron *O. rufipogon* y *O. sativa* utilizando marcadores moleculares y concluyeron que aún presentan una amplia variabilidad genética en cuanto a número de alelos, número de genotipos, heterocigosidad y diversidad entre genes. En las especies cultivadas encontraron solo 4 alelos exclusivos pero en las especies silvestres hubo 78 de estos alelos. Estos resultados indican la amplia variabilidad genética aún presente en la especie, principalmente en los parientes silvestres.

Second (1982) encontró grandes diferencias en la frecuencia alélica entre las especies indica y japonica. Oka (1964) concluyó que la diversidad genética se mantiene dentro de los grupos independientemente de que haya cruces y recombinación en las generaciones segregantes. Junjian et al. (2002) utilizaron marcadores de repetición de secuencia simple (SSR) y estudiaron la diversidad genética entre indica y japonica. Encontraron números promedio similares de alelos: 4.4 y 4.3, respectivamente. Sin embargo, la distancia genética promedio fue mayor para las índicas, lo que sugiere un mayor nivel de variación genética para este grupo en relación con la japónica. Las dos especies silvestres incluidas en el estudio (*O. rufipogon* y *O. nivara*) quedan fuera del rango de las especies cultivadas, lo que sugiere la presencia de alelos únicos que aún deben utilizar los criadores para explotar la variabilidad entre especies. Este conocimiento se ha explotado para aumentar el potencial de rendimiento de las variedades comerciales (Xiao, Li, Grandillo, Ahn, Yuan, Tanksley y McCouch 1998; Moncada, Martíñez, Borrero, Gauch, Guimaraes, Tohme y McCouch 2001; Brondani, Rangel, Brondani y Ferreira 2002).

La importancia de tener diversidad genética disponible es la posibilidad de hacerla útil para desarrollar productos que tendrán impacto a nivel de campo de los agricultores. Los mejoradores de arroz han estado explotando este potencial de muchas maneras diferentes y creativas.

Hay algunos ejemplos en los que la explotación de parientes silvestres ha producido resultados significativos. La primera oportunidad de aprovechar las características únicas de los parientes silvestres fue mediante la explotación de la existencia de genes de resistencia a enfermedades e insectos. Khush (1977) utilizó *O. nivara* como fuente de resistencia al virus del enanismo de las gramíneas y la introdujo en los cultivares IR28, IR29 e IR30; además, de *O. rufipogon* se obtuvo la resistencia a la enfermedad viral denominada "tungro".

La resistencia al tizón bacteriano del arroz se obtuvo de *O. longistaminata* y se introdujo en la variedad comercial IR24 (Khush et al., 1990).

El primer híbrido de arroz se desarrolló en base a un sistema genético de esterilidad masculina del citoplasma identificado en la *O. sativa* L. f. espontánea en China (Shih-Cheng y Loung Ping, 1980). Khush (1994) combinó diferentes grupos genéticos (japonicas tropicales, índicas templadas y japonicas) para crear un nuevo tipo de arroz que se espera aumente el rendimiento de grano de las variedades comerciales en ~30%.

El arroz es rico en diversidad genética y los criadores tienen una amplia variedad cuando buscan materiales parentales.

3 Elección de germoplasma

Una de las tareas más difíciles para llevar a cabo un programa de mejoramiento exitoso es la elección del germoplasma. Para poder desarrollar una variedad con un conjunto de características deseables, los mejoradores de arroz deben asegurarse de que el germoplasma de origen tenga una variabilidad genética deseable. Después de que se eligen los padres y se realizan los cruces, casi no hay posibilidades de que aparezcan nuevos alelos en las poblaciones segregantes.

Para hacer la elección correcta del material parental que se utilizará en un programa de mejoramiento, los criadores deben conocer claramente el tipo de producto que se desarrollará; las características de la especie a criar; la capacidad combinatoria de los progenitores en el caso de cultivares híbridos; las condiciones ambientales del área objetivo; los aspectos sociales y económicos de los agricultores y los mercados; y los diferentes enfoques de mejoramiento disponibles para lograr los objetivos propuestos. Hoy, un elemento adicional a considerar es el aspecto legal en relación a los materiales a utilizar como padres.

En general, los programas de mejoramiento de arroz tienen dos productos finales principales diferentes. La primera y más común es una línea pura, que será evaluada y lanzada como variedad comercial. La segunda es una línea endogámica que será la progenitora de un híbrido comercial. Un producto intermedio puede ser una población con ciertas características deseables que podrían usarse para mejoras adicionales, para cultivares per se o para la extracción de líneas.

Si el objetivo de los criadores es desarrollar líneas puras es importante conocer la capacidad del progenitor para transferir sus características a las poblaciones segregantes. Un ejemplo interesante es la variedad de arroz "Ceysvoni" de Surinam; tiene un alto nivel de resistencia al añublo y un buen tipo de planta, así como un excelente tipo de grano para los estándares brasileños. Sin embargo, cuando se usan en cruces con otras variedades de secano y de regadío, las diferentes combinaciones no producen líneas de mejoramiento de alta calidad. En general, todas las poblaciones segregantes se descartan antes de llegar a la homocigosis. Parece que algunos materiales cuando se usan en cruces producen cambios indeseables en la composición genética de la población resultante. Otro ejemplo es el cultivar BG90-2, una variedad de arroz irrigado de alto rendimiento. Cada vez que se utilizó este genotipo en cruces, las poblaciones segregantes resultantes no parecieron retener su potencial de rendimiento y fueron descartadas antes de producir líneas homocigotas. Brondani et al. (2002) propusieron combinar este cultivar con especies silvestres para identificar el rendimiento

loci de rasgos cuantitativos relacionados (QTL). Es deseable obtener más información sobre la capacidad de combinación de los progenitores para lograr el objetivo propuesto.

En general, los mejoradores de arroz, así como los mejoradores de otros cultivos, tienden a reciclar y cruzar progenitores de alto rendimiento (por ejemplo, elite elite) entre ellos y realizan la máxima endogamia cuando buscan desarrollar nuevas variedades comerciales. Esta estrategia se basa en el concepto de que los cultivos autopolinizados tienen una gran parte de su variación genética como variación aditiva. Además, los progenitores de alto rendimiento con varianza genética reducida presentan una mayor probabilidad de generar genotipos superiores.

Otro aspecto importante a considerar es la genealogía del material parental. En general, los mejoradores evitan cruzar progenitores con una composición genética similar, porque su combinación no producirá una amplia variabilidad genética que limite las posibilidades de obtener combinaciones de genes deseables (genotipo deseado). Si el producto final es un híbrido, el conocimiento de la genealogía de los padres es crucial, ya que la heterosis se basa en las diferencias genéticas. El arroz híbrido se produce en base a la esterilidad masculina citoplasmático-genética. Requiere tres tipos de líneas de reproducción: una línea estéril masculina citoplásmica-genética (línea A), una línea de mantenimiento (línea B) y una línea de restauración (línea R). Por lo tanto, si el objetivo es producir arroz híbrido, el conocimiento de la capacidad combinatoria general y específica de las líneas se vuelve esencial.

La heterosis se basa en diferencias genéticas (entre otros factores), por lo que la información sobre la distancia genética entre las líneas A y R es fundamental para producir híbridos de alto rendimiento. Por lo tanto, el conocimiento sobre la genealogía del material parental es crucial.

Para facilitar el desarrollo de híbridos económicamente de alto rendimiento con todas las características agronómicas deseables, también es importante considerar otras características al seleccionar el material parental, como aspectos relacionados con la diferencia en el tipo y la forma del grano, la altura de la planta, la resistencia a bacterias bióticas y abióticas. hace hincapié La producción de semillas de arroz híbrido depende de una serie de factores, entre ellos la coincidencia en el período de floración de las líneas masculina y femenina. Es importante tener padres que se complementen bien, con buenas habilidades combinatorias específicas y generales.

Esta terminología fue introducida por Sprague y Tatum (1941) para diferenciar entre el rendimiento medio de un progenitor en cruces (capacidad de combinación general) y las desviaciones de las combinaciones individuales de la media (capacidad de combinación específica). El conocimiento de este comportamiento es más importante cuando predominan los efectos no aditivos.

Para crear una población de arroz, es importante elegir materiales parentales con altos niveles de diferencias genéticas para las características que se están seleccionando. Sin embargo, es deseable tener también una divergencia genética baja para los rasgos que el mejorador quiere mantener en la población. Khatiwada et al. (1996).

"Azucena", IRAT 104 y "Moroberekan" fueron los cultivares con mejor capacidad combinatoria general para tolerancia a la toxicidad por hierro y fueron los recomendados para cruza elite elite.

La elección del material parental depende de los objetivos de los criadores, del tipo de producto deseado, de la diversidad genética existente y de la información disponible, así como de la capacidad combinatoria de los parentales.

4 principales logros de cría

4.1 La Revolución Verde del Arroz

En la década de 1960, los científicos se dieron cuenta rápidamente de que la mayoría de las variedades tradicionales de arroz altas se alojaban fácilmente cuando se aplicaba fertilización con nitrógeno, lo que era la principal limitación para el rendimiento del grano (Khush et al., 2001). El IR8 semienano (sd1) fue la primera variedad de arroz de alto rendimiento desarrollada a partir de una combinación entre la variedad indonesia "Peta" y "Dee Geo Woo Gen" de Taiwán. El factor clave responsable del aumento del potencial de rendimiento fue la mejora del índice de cosecha. Sin embargo, a pesar de que IR8 tenía un gran inconveniente con respecto a la mala calidad de su grano, se convirtió en el símbolo de la revolución verde en el arroz. En unos pocos años, muchos países de todo el mundo estaban reemplazando sus cultivos tradicionales con las variedades modernas de alto rendimiento.

El ícono de la revolución verde del arroz, en comparación con las variedades tradicionales, exhibe ciertas características distintivas; tiene una estatura más corta, un ciclo de crecimiento más corto, mayor capacidad de macollaje, mayor capacidad fotosintética, capacidad de respuesta a los fertilizantes (principalmente nitrógeno) y, en consecuencia, un potencial de rendimiento mucho mayor en entornos de altos insumos.

En las décadas siguientes, el IRRI desarrolló IR36, que se convirtió en la variedad más plantada en la década de 1980 e IR64 fue la más utilizada en la década de 1990 (Peng y Khush, 2003). Además de estas variedades, el IRRI lanzó una gran serie de variedades codificadas por IR. Sin embargo, si bien estos materiales más nuevos se caracterizaron por su resistencia a enfermedades e insectos, no contribuyeron significativamente a las ganancias genéticas para el rendimiento de granos. Entonces, los científicos creyeron que un nuevo avance en el potencial de rendimiento tenía que venir a través de un nuevo tipo de planta.

4.2 El nuevo tipo de planta

Donald (1968) fue uno de los pioneros en la discusión sobre el mejoramiento de plantas de ideotipo. Yang et al. (1996) sugirieron que para desarrollar variedades de arroz de súper alto rendimiento era esencial aumentar el rendimiento biológico. En busca de una segunda revolución verde, el IRRI había estado trabajando en un nuevo ideotipo de arroz o nuevo tipo de planta (NPT) con un índice de cosecha de 0,6 (60 % de grano: 40 % de peso de paja) y con una mayor capacidad de fotosíntesis para aumentar el rendimiento biológico total. . Peng et al. (2005) consideraron los siguientes componentes en esta NPT: baja capacidad de macollamiento, pocos macollos improductivos, de 200 a 250 granos por panícula, de 90 a 100 cm de altura de planta, tallos gruesos y fuertes, sistema radicular vigoroso, y de 100 a 130 días del ciclo de crecimiento. Estas características permitirían que la planta de arroz transforme más energía en producción de granos, aumentando el potencial de rendimiento en aproximadamente un 20 % pero con más insumos y costos.

Incluso antes del IRRI, Japón fue el primer país en realizar investigaciones sobre la idea del TNP. En 1981, Japón lanzó un proyecto con el objetivo de combinar variedades de los grupos indica y japónica para desarrollar un cultivar de arroz de muy alto rendimiento (Wenfu et al., 2001). Dingkuhn et al. (1991) realizaron estudios fisiológicos para comprender las limitaciones del potencial de rendimiento de las variedades indica. Observaron que bajo sistemas de siembra directa, las plantas de arroz producían un área foliar excesiva, lo que causaba sombra mutua y reducción en la fotosíntesis del dosel y el tamaño del sumidero. Además, desarrollaron una gran cantidad de macollos improductivos.

El desarrollo de este NPT se basó en germoplasma de japónica tropical derivado de Indonesia, siendo la fuente de macollaje bajo, panículas grandes, tallos gruesos, sistema radicular vigoroso y baja estatura. Según Peng et al. (2005) el proceso de desarrollo del TNP fue más complicado de lo que se pensó originalmente. La primera generación de líneas de mejoramiento con las características mencionadas anteriormente no se desempeñó como se esperaba. Se realizaron nuevos cruces combinando las japónicas tropicales con líneas de mejoramiento indica de élite. La expectativa era que las líneas que salieran de estos cruces aumentarían el potencial de rendimiento del arroz de tierras bajas irrigadas en aproximadamente un 10%.

El desarrollo de variedades de arroz de super alto rendimiento siguiendo los conceptos propuestos por Khush y Peng (1996) ha encontrado varias dificultades técnicas. Sin embargo, los principios básicos siguen siendo los mismos. Horie (2001), Sheehy et al. (2001) y Murchie et al. (2001) analizaron varias de estas limitaciones fisiológicas y formuló argumentos técnicos destinados a abordarlas. Aunque los resultados de estas estrategias aún no están produciendo un impacto a nivel de campo de los agricultores, es importante destacar cómo los mejoradores de arroz han estado combinando conocimientos de manera creativa sobre diversidad genética, fisiología vegetal y métodos de mejoramiento de arroz para abordar estos desafíos. .

4.3 Arroz Híbrido

El concepto de tecnología de arroz híbrido se remonta a 1964 en China. Sin embargo, solo en 1970, cuando se identificó una planta de polen silvestre abortiva en el sur de China, la idea comenzó a materializarse. En 1980, Shih-Cheng y Loung Ping (1980) publicaron uno de los primeros artículos que indicaban el potencial del arroz híbrido. La estrategia propuesta entonces se basó en la esterilidad masculina producida por el sistema de polen abortivo identificado en la especie silvestre *O. sativa* L. f. espontáneo. Luego, el arroz híbrido se produciría a través del llamado sistema de tres líneas, donde una línea tendría la esterilidad masculina genética-citoplasmática; la segunda línea se encargaría de mantener la esterilidad, y una tercera se utilizaría como progenitor compatible del híbrido con la responsabilidad de restaurar la fertilidad.

El primer conjunto de líneas masculinas estériles genéticas y citoplásmicas se produjo en 1970, mientras que el primer arroz híbrido se lanzó al mercado en 1974, y los híbridos superaron, en promedio, a las variedades de arroz convencionales en un 20 %. En 1999, el área sembrada con híbridos era de aproximadamente 15,5 millones de hectáreas, lo que representa el 50% del área total de arroz y el 60% de la producción total de arroz de China (Guohui y Longping, 2003). Desde 1994, los híbridos

se han lanzado en India, Filipinas, Vietnam, Bangladesh e Indonesia. Las ganancias de rendimiento de los híbridos liberados en relación con las variedades convencionales varían del 20% en Filipinas al 30,2% en Vietnam (Virmani, 2003). India ha lanzado seis híbridos desde 1989, sin embargo, el ritmo de adopción por parte de los agricultores ha sido más lento de lo esperado y solo se cultivan 200 000 ha (Mishra et al., 2003). Entre los países mencionados anteriormente, Vietnam fue el primero en comenzar a liberar híbridos, inicialmente en 1979. Para 2001, tenía alrededor de 480 000 ha sembradas con híbridos (Hoan y Nghia, 2003). Indonesia comenzó su producción de híbridos en 1998 y ha lanzado dos híbridos públicos y cinco privados. La proyección es que se planten más de 500.000 ha en los próximos años (Suwarno et al., 2003). Bangladesh siguió en estrecha colaboración con IRRI y lanzó dos híbridos IRRI. Si bien el área plantada aún no es significativa, el gobierno ha puesto en marcha un plan maestro de arroz híbrido para impulsar su adopción (Julfiquar et al., 2003).

Para simplificar el sistema de producción de arroz híbrido, se introdujo el concepto de esterilidad masculina genética ambiental (EGMS). Los dos factores ambientales considerados fueron las sensibilidades al fotoperíodo (PGMS) y a la temperatura (TGMS), que están controladas por genes nucleares recesivos. Esta tecnología permite, según Mou et al. (2003), el uso de cualquier genotipo con buenas características como progenitor masculino, para obtener híbridos japonica (p. ej., es difícil identificar restauradores para este grupo), y para desarrollar híbridos intergrupales como indica/japonica (p. ej., hay no hay restricción en cuanto a la relación restaurador-mantenedor). El primer híbrido de dos líneas se lanzó en China. Representaba el 17,2% del área total de arroz híbrido en el país en 2001, unos 2,67 millones de hectáreas (Guohui y Longping, 2003).

4.4 NERICA Arroz

Los entornos de tierras secas de tierras altas y tierras bajas son los dos ecosistemas de producción de arroz más importantes de África, donde es el alimento básico para la población subsahariana. Ciertos problemas y condiciones ambientales desafiantes, así como las prácticas de producción comunes a estos ecosistemas, limitan la producción de arroz, como las malezas, las enfermedades y la presión de insectos, la disminución de la fertilidad del suelo, la acidez del suelo y el estrés por sequía. WARDA comenzó un programa para combinar las dos especies de arroz cultivadas *O. sativa* y *O. glaberrima* en 1991. Su diferencia genética requería el uso de un enfoque de mejoramiento diferente. Se empleó la técnica de rescate de embriones para obtener poblaciones segregantes viables (Jones et al., 1997). Los materiales recientemente desarrollados se denominaron "nuevo arroz para África" y se popularizaron como variedades NERICA. No existen muchas publicaciones técnicas sobre el desarrollo de estas variedades.

La información se recopila en forma de comunicados de prensa, en la página web de WARDA (www.warda.cgiar.org/) y en artículos como el de Jones y Wopereis-Pura (2001). Las principales características de estas nuevas variedades, en comparación con la tradicional *O. glaberrima*, cultivada por los agricultores, son su mejor capacidad para competir con las malezas, sus panículas más grandes con alrededor de 400 granos y un mayor potencial de rendimiento. Además, se reduce el desgrane, los tallos son más fuertes, lo que evita el acame, la madurez

ocurre alrededor de 30 días antes que otros cultivos convencionales, y tienen una mayor resistencia a los estreses bióticos y abióticos más comunes, así como una mejor adaptabilidad a los suelos pobres de cultivo de arroz africano. La historia de éxito de las variedades NERICA incluye una fuerte participación de los agricultores en el proceso de evaluación de las líneas de mejoramiento, así como en el desarrollo de los materiales (p. ej., iniciativas de agricultores-obtendores, fitomejoramiento participativo, consulte el Capítulo 14). La información sobre el impacto de esta tecnología se puede encontrar en WARDA (2003).

5 objetivos actuales de reproducción

Un aumento en la productividad es siempre uno de los principales objetivos de cualquier programa de mejoramiento de cultivos, incluido el arroz. Sin embargo, se puede identificar una larga lista de objetivos para este cultivo que varían en importancia de una región a otra, de un país a otro e incluso dentro de un país determinado. En la secuencia se describen algunos ejemplos de los objetivos actuales de reproducción.

Aumentar el potencial de rendimiento del grano es el objetivo principal de casi todos los programas de mejoramiento de arroz en todo el mundo. Los principales impactos, enumerados en otra parte de este capítulo, están relacionados con el desarrollo de nuevas estrategias para aumentar el potencial genético de rendimiento de grano de las variedades. No obstante, todavía hay regiones en el mundo donde las hojas y pajas de arroz juegan un papel importante en el sustento de los agricultores.

La resistencia al añublo ha sido uno de los objetivos de los mejoradores de arroz más investigados durante décadas. Esta enfermedad es la plaga más extendida del arroz. Está presente en casi todos los países y zonas agroecológicas donde se cultiva arroz. Provoca daños en hojas y panículas. Las estrategias de mejora deben basarse en la pirámide de genes o en la resistencia y/o tolerancia múltiples a largo plazo porque el hongo tiene un conjunto complejo de razas y el patógeno suele superar la resistencia de un solo gen en muy poco tiempo.

Las características de calidad del grano varían de una región a otra y de los requisitos del mercado. Muy a menudo, los agricultores descartan las variedades porque no cumplen con los estándares de calidad requeridos. Un ejemplo de la importancia de la característica para determinar el éxito de un programa de mejoramiento es el arroz de secano en Brasil. Hasta la década de 1980, el tipo de grano más buscado en la región centro-oeste de Brasil era el tipo de tierras altas (grano grueso medio a largo). Sin embargo, debido a la presión de mercado ejercida por la industria del sur de Brasil (tipo de grano de arroz irrigado - tipo de grano largo y delgado), el tipo de grano de secano perdió mercado. El programa de arroz de secano tuvo que cambiar rápidamente su objetivo de tipo de grano y solo cuando se lanzaron variedades de secano con granos largos y delgados, el arroz de secano volvió a ser popular nuevamente. Los tipos de arroz de calidad de grano especial también son un objetivo de muchos programas de mejoramiento en todo el mundo en la actualidad.

La tolerancia a la sequía es otro rasgo muy investigado en el arroz. La tendencia al aumento de la escasez mundial de agua, la gravedad gradual de la escasez de agua en todo el mundo debido al cambio climático y la gran demanda de agua de las variedades de arroz hacen que este sea un objetivo muy importante de los programas de mejoramiento de arroz. Además, debido a la urbanización y la presión de otros cultivos comerciales más importantes, el cultivo de arroz

ha sido empujado a áreas menos favorables con mayores problemas de disponibilidad de agua.

La complejidad del rasgo y las dificultades para desarrollar un sistema de selección confiable y simple hacen que el desarrollo de variedades tolerantes sea un desafío importante. El uso de herramientas biotecnológicas está haciendo un aporte significativo para identificar genes y estrategias para incorporarlos en nuevas variedades. Sin embargo, el progreso aún está por debajo del nivel requerido para producir un impacto significativo en la producción de arroz debido a la complejidad genética de la característica.

Un punto importante a destacar es que los mejoradores tienen un tremendo desafío para hacer frente a las demandas de los agricultores y los mercados. Otros objetivos desafiantes incluyen la resistencia al tizón bacteriano y de la vaina, y varios virus; resistencia a insectos como saltahojas pardo, saltahojas verde (vector de virus tungro) y mosquito de las agallas; y tolerancia a la salinidad, toxicidad por hierro y bajas temperaturas.

6 Métodos y Técnicas de Crianza

6.1 Métodos convencionales de mejoramiento de arroz

Si uno hace una revisión de la literatura mundial sobre los métodos de mejoramiento comúnmente utilizados para desarrollar variedades de arroz en todo el mundo, la selección de pedigrí siempre está en la parte superior. Más del 85% de las variedades de arroz publicadas en Crop Science Society of America se han desarrollado a través de la selección de pedigrí. Cuando hay posibilidades de llevar a cabo más de una generación por año (p. ej., viveros de invierno), el método se combina con la descendencia a granel modificada o incluso con una sola semilla para acelerar el proceso de tener líneas puras para la evaluación agronómica.

Este capítulo se centrará en métodos que son más exclusivos o que pueden traer nuevos elementos a la atención de los lectores.

6.2 Mejora de la población a través de la selección recurrente

Esta sección no tratará de diseccionar el mejoramiento de la población de arroz a través de la selección recurrente, pero destacará las experiencias del uso de tales métodos en América Latina, donde el método se ha empleado durante más de 15 años. Existen programas de mejoramiento con diferentes capacidades a cargo de organismos internacionales como el CIAT, el "Centro de cooperación internacional en investigación agronómica para el desarrollo" (Cirad) y varios programas nacionales como la Corporación Brasileña de Investigación Agropecuaria (Embrapa), y la "Fundación para la Investigación Agrícola" (Danac), entre otros.

Una pregunta que uno podría hacerse es por qué se deben considerar estrategias de mejora de la población que incluyan poblaciones genéticamente amplias para un cultivo de autopolinización como el arroz. La respuesta a esta pregunta es simple: varios informes indican que las ganancias genéticas obtenidas por diferentes programas de mejoramiento en todo el mundo y

particularmente en América Latina (Santos et al., 1997; Muralidharan et al., 2002) se están estancando o incluso disminuyendo. Además, otros reportes indican que la base genética de las variedades de arroz se está estrechando (Dilday, 1990; Cuevas-Pérez et al., 1992; Rangel et al., 1996).

El mejoramiento de la población a través de la selección recurrente es un método de mejoramiento tradicional que se ha utilizado en maíz durante más de 50 años (Hull, 1945; Dudley y Lambert, 2004). Sin embargo, no ha sido una elección de metodología de mejoramiento común en cultivos autopolinizados. Fujimaki (1979) sugirió su aplicación en arroz mediante esterilidad masculina. En soja, Werner y Wilcox (2004) informaron que los resultados de la esterilidad masculina facilitaron la mejora de la población para las características de rendimiento. Wang et al. (1996) utilizaron el gen Tai Gu para inducir esterilidad y aplicar selección recurrente en trigo. Estos son otros ejemplos exitosos de la utilización de la mejora de la población facilitada por la existencia de genes de esterilidad masculina. Sin embargo, se muestran menos casos en la literatura en los que la esterilidad masculina fue inducida por la aplicación de productos químicos (Picard et al., 2004).

El cruce manual en arroz es una tarea laboriosa como lo describe Guimaraes (1999). Algunos de los requisitos cuando se usan métodos de selección recurrente son producir progenies (a veces cruces cuando se usan familias de hermanos completos o medios) y recombinar los seleccionados después de ensayos experimentales replicados en diferentes entornos. Por lo tanto, la utilización de métodos de mejoramiento poblacional en arroz solo se volvió factible luego del descubrimiento del gen de esterilidad masculina obtenido por Singh e Ikehashi (1981) a través de la mutación inducida de la variedad de arroz "IR36". El gen macho estéril recesivo fue empleado en 1984 por Embrapa y Cirad para crear poblaciones con bases genéticas amplias (Taillebois y Guimaraes, 1989; Rangel y Neves, 1997). Además, la simplificación del método de cruce desarrollado por Taillebois y Castro (1986) y descrito por Sarkarung (1991) contribuyó significativamente a promover el uso de métodos de mejoramiento que requieren una gran cantidad de cruces cada año.

El mejoramiento de poblaciones mediante selección recurrente en arroz es una metodología ampliamente utilizada en América Latina; sin embargo, no es tan popular en otros lugares. En el arroz, como probablemente sucede en casi todos los cultivos de autopolinización, los mejoradores tienden a utilizar la selección por pedigrí, que es un complemento de la selección recurrente si se maneja bien. **El proceso de mejoramiento genético es cíclico, buscando aprovechar los avances de los años anteriores. En general, cada año los mejoradores seleccionan las mejores líneas de mejoramiento para realizar nuevos cruces élite entre ellas y/o con nuevo germoplasma.** Guimaraes et al. (1996), al analizar el programa de mejoramiento de arroz de secano en el CIAT, que se basa en el pedigrí y la selección masiva modificada, encontró que "a pesar de que el CIAT no siguió el método de selección recurrente, se utilizó un enfoque modificado, similar a la metodología propuesta". " durante el período 1984-1993. El objetivo de tener tales ciclos es capitalizar las ganancias genéticas realizadas en años anteriores; sin embargo, a través de la selección de pedigrí esto se hace de manera no sistemática. **La característica principal de la selección recurrente es aumentar las frecuencias de los alelos favorables,** como lo señaló Hull (1945) al describir el proceso de selección recurrente. Así, **al aplicar el método de selección recurrente en arroz,**

los criadores están siguiendo el mismo principio pero de manera sistemática y a largo plazo. Por lo tanto, la selección recurrente permite ciclos de mejoramiento definidos y más cortos, la posibilidad de un seguimiento más preciso de las ganancias genéticas y oportunidades para desarrollar líneas de mejoramiento con una amplia composición genética.

El mejoramiento genético de poblaciones mediante selección recurrente en América Latina es, a diferencia del maíz, reciente y data de 1996. Esto se debe en parte al apoyo de la Organización de los Estados Americanos (OSA), Embrapa, Cirad y CIAT quienes ofrecieron las primeras capacitaciones curso para introducir el tema a los criadores de la región. Como siguiente paso, Embrapa y el CIAT pusieron a su disposición poblaciones de amplia base genética. Además, se brindó un seguimiento cercano por parte de criadores más experimentados de ambas instituciones. Además, Chatel y Guimaraes (1997) prepararon un manual que brinda orientación para el desarrollo y mejoramiento de la población de arroz. Guimarães (1997) fue el primero en reportar los avances de los diferentes programas de mejoramiento en la región. Se produjeron informes similares en 2000 (Guimaraes, 2000) y 2004 (Guimaraes, 2005). Durante los últimos 15 años estos programas han logrado avances significativos. Actualmente existen más de 50 poblaciones de arroz de base genéticamente amplia desarrolladas en la región (GRUMEGA Grupo de Mejoramiento Genético Avanzado en Arroz, 2006a). En Argentina, los programas de mejoramiento desarrollaron poblaciones indica PARG-1 y PARG-2 (Marassi et al., 2000) y PARG-3 (Marassi et al., 2004) con el objetivo de mejorar la tolerancia al frío. Para la misma característica, los programas de mejoramiento en Chile desarrollaron poblaciones de japónica PQUI-1 y PQUI-2 (Hernaiz L et al., 2004). Graterol (2000) describió cómo se produjeron poblaciones de PFD-1 y PFD-2 en Venezuela para adaptarse a dos condiciones ambientales diferentes (épocas de crecimiento de invierno y verano). En Cuba, el programa nacional desarrolló las poblaciones IACuba-1 y IACuba-2 en busca de una población genéticamente diversa adaptada a los desafíos locales (Pérez-Polanco et al., 2000). El cultivar CG-91 con resistencia al añublo del arroz para condiciones de secano fue desarrollado por Guimaraes y Correa-Victoria (2000). Una investigación similar ha sido realizada por Courtois et al. (1997) para arroz de secano.

Los mejoradores de América Latina destacaron las siguientes ventajas del uso del mejoramiento genético de poblaciones mediante selección recurrente: (a) la posibilidad de crear y manejar sus propias poblaciones segregantes sin incurrir en los gastos adicionales necesarios para evaluar a los padres potenciales cada año; tener un programa de cruce estructurado; mantener información detallada sobre líneas y padres; (b) la posibilidad de tener líneas mejoradas y diversas disponibles al final de cada ciclo recurrente, así como continuar avanzando en el aumento de la frecuencia de genes favorables en la población; (c) los programas nacionales pueden tener más de un programa de mejoramiento de la población con recursos adicionales mínimos, evitando la duplicación de actividades similares en un año determinado (en lugar de tener que evaluar cientos de líneas de dos poblaciones en un año, el programa puede organizarse de tal manera que en un año dado una población se encuentra en fase de recombinación y la otra en fase de evaluación en línea); y (d) como en (b) el proceso de desarrollo varietal puede integrarse con el programa de mejora de la población y convertirse en un proyecto único y más poderoso.

Una ventaja extra que vale la pena destacar es la posibilidad de integrar diferentes programas de mejoramiento de arroz dentro de los países. En Brasil, la fase de evaluación de las diferentes poblaciones en manejo para los ecosistemas de regadío y de tierras altas es compartida entre organismos estatales, unidades de Embrapa y universidades. Cada socio lleva a cabo la evaluación de las progenies en menos lugares que en las evaluaciones realizadas por los programas de mejoramiento único. Todas las ubicaciones se agrupan y se realiza un análisis combinado. La selección de las mejores familias para la fase de recombinación se realiza mediante la discusión de los resultados en una reunión conjunta. Las mejores líneas en cada ubicación son conservadas por el programa de mejoramiento local para una mayor selección y desarrollo de líneas. En Venezuela se adoptó una estrategia similar a través de la "Fundación Danac", que desarrolló las poblaciones PFD-1 y PFD-2 y evalúa a las familias a través del programa nacional, las universidades y el sector privado.

Muchos programas de arroz en América Latina no tenían un proyecto de mejoramiento totalmente operativo. En general, dependían de introducciones ad hoc de líneas puras de otros programas nacionales u organizaciones internacionales más fuertes. Hoy, estos programas están liberando variedades mejoradas obtenidas de líneas segregantes utilizadas para la recombinación y el desarrollo de nuevos ciclos recurrentes. Un buen ejemplo de este progreso se puede ver en Bolivia, que recientemente liberó la variedad "Esperanza" (GRUMEGA, 2006b). Chile ha colaborado estrechamente con el CIAT durante mucho tiempo y siempre ha tenido un sólido programa de mejoramiento. En 1990 el país decidió agregar a su cartera de métodos de mejoramiento la selección recurrente para mejoramiento genético (Alvarado-A, 1997), y en 2007 ha liberado R-Quila 23 (GRUMEGA, 2006c). En la región, los países están llevando a cabo sus programas de mejoramiento poblacional utilizando diferentes estrategias de selección recurrente para el mejoramiento genético.

La mayoría de los países utilizan el procedimiento de selección recurrente S1-S2, evaluando y seleccionando plantas S0, avanzando a la generación S0:1 fuera de la temporada de crecimiento normal y evaluando y seleccionando familias S0:2 para la recombinación. En países templados, donde dos temporadas de crecimiento por año no son viables a menos que se utilicen viveros de invierno, los científicos evalúan y seleccionan las familias S0:1 y S1:2. Muy rara vez los científicos de estos países utilizan un esquema de selección diferente, por lo tanto, los efectos no aditivos no se consideran en el mejoramiento genético. En casi todos los casos, se han informado ganancias genéticas para los rasgos objetivo al comparar generaciones más avanzadas con las poblaciones originales o ciclos recurrentes menos avanzados. Brasil tiene un programa de mejoramiento de arroz muy fuerte y ha sido uno de los promotores de esta metodología. La primera variedad derivada de una población genéticamente amplia bajo selección recurrente fue liberada en 2002 (GRUMEGA, 2006d). Los programas de mejoramiento actualmente manejan cinco poblaciones para condiciones de riego (Rangel et al., 2000) y ocho para ecosistemas de tierras altas (Castro et al., 2000). Se llevaron a cabo estudios de evaluación en diferentes poblaciones para evaluar la eficacia del método en arroz. Rangel et al. (2005) reportaron una ganancia genética de 6.65% luego de evaluar dos ciclos de selección recurrente en la población de arroz bajo riego CNA-IRAT 4.

Badan et al (2005) informaron ganancias del 6,2 % después de seleccionar la resistencia al añublo del arroz al comparar los ciclos 1 y 2 de la población de arroz de secano CNA-7. Además, la evaluación de tres ciclos de selección recurrente para rendimiento de grano y cuello blut en CG-3

6.3 Arroz Híbrido

obtener heterosis, pero su expresión mejora a medida que se exploran combinaciones entre variedades pertenecientes a diferentes grupos (Índica y japónica). Una alternativa para desarrollar híbridos con mayor potencial podría ser el uso de genes de mejora del rendimiento de otros

especie (Yuan, 2003). Los marcadores moleculares están tratando de identificar genes restauradores en el fondo de japonica (Tan et al., 1998) y genes termosensibles de esterilidad masculina genética (Yamaguchi et al., 1997; Latha et al., 2004). Además, se ha informado que la selección asistida por marcadores (MAS) ayuda en el desarrollo de híbridos con resistencia a enfermedades e insectos en China (He et al., 2004).

6.4 Cría de mutaciones

El uso de diferentes fuentes derivadas de mutaciones inducidas fue una opción popular para generar diversidad genética para rasgos específicos en el arroz en la década de 1980. Hoy en día, la técnica se convirtió en parte del conjunto de herramientas que tienen los mejoradores para mejorar las características específicas del arroz en variedades bien adaptadas. La intención de esta sección no es discutir todos los aspectos relacionados con el uso del mejoramiento por mutación, sino resaltar algunos éxitos y señalar la importancia de las mutaciones para el mejoramiento del arroz.

Según Wang (1992), durante el período 1966–1990, se lanzaron 78 variedades en China que se originaron a partir de la reproducción por mutación. Más recientemente, de 1991 a 2004, hubo un número similar (77) de nuevas liberaciones provenientes de la aplicación de mutaciones (Chen et al., 2006). El mutágeno más popular sigue siendo los rayos gamma y las características mutadas son las responsables de la expresión de fenotipos agronómicos (p. ej., resistencia a plagas) y de calidad del grano.

En Indonesia, la primera variedad mutante (Atomita 1) fue lanzada en 1982 y hasta el día de hoy hay 14 variedades lanzadas oficialmente, 13 de ellas fueron mejoradas para estreses bióticos como la resistencia al saltamontes pardo; en todos los casos el agente mutágeno fueron los rayos gamma (Ismachin y Sobrizal, 2006).

Vietnam es uno de los países productores de arroz más importantes del mundo. Informes de Tran et al. (2006) indicaron que durante el período 1990 y 2002 el Instituto de Genética Agropecuaria desarrolló y liberó 10 variedades, la mayoría con mejor calidad de grano, además de otras características agronómicas; una vez más, los rayos gamma fueron los agentes mutágenos más comúnmente utilizados.

Maluszynski et al. (1998) resumió el número de variedades mutantes liberadas oficialmente y encontró a los "cereales" como el grupo con el mayor número, seguido por las leguminosas y los cultivos industriales. Entre los cereales el arroz presentó el mayor número con la cebada en segundo lugar. En el arroz, las principales características mejoradas fueron la madurez temprana, la altura de la planta y la resistencia a enfermedades. Vale la pena mencionar que el famoso gen *sd1* (ver la sección sobre los principales logros de reproducción) es un mutante. Sin embargo, el rasgo mutado más comúnmente en todos los cultivos fue el "semi-enanismo". La Tabla 1 resume el número de variedades liberadas en todo el mundo, que fueron desarrolladas mediante el uso de mutágenos. La base de datos de variedades mutantes de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) indica que hubo 2.541 liberaciones hasta marzo de 2007. La mayor cantidad proviene de cereales (1.212), seguida de legumbres y cultivos industriales. Entre los cereales el arroz presentó el mayor número (525) con la cebada en segundo (303) y el trigo en tercero (200).

Cuadro 1 Variedades mutantes de arroz publicadas oficialmente en la FAO/IAEA Mutant
Base de datos de variedades, marzo de 2007

País	Variedades publicado (#)	País	Variedades publicado (#)
Bangladesh	5	Japón	70
Brasil	28	Corea	7
Burkina Faso	3	Birmania	5
China	222	Nigeria	3
Costa Rica	2	Pakistán	10
Costa de Marfil	26	Filipinas	8
Francia	5	Portugal	1
Guayana	26	Rumania	1
Hungría	3	Senegal	2
India	40	Sri Lanka	1
Indonesia	6	Tailandia	4
Irak	3	EE.UU	23
Italia	2	Vietnam	28

7 Integración de Nuevas Biotecnologías en Programas de Mejoramiento

El primer y más importante aspecto para aprovechar con éxito la variedad de herramientas biotecnológicas disponibles para los mejoradores de arroz es tener un sistema bien estructurado, eficiente y un programa de mejoramiento efectivo. Esta afirmación puede parecer obvia para muchos lectores, pero no refleja la realidad de una gran parte de los programas de mejoramiento de arroz en países en desarrollo de todo el mundo.

La FAO ha iniciado un proyecto mundial de fitomejoramiento y biotecnología asociada evaluación en 2002. Este trabajo se ha concluido en una muestra de más de 50 países en desarrollo en todas las diferentes regiones productoras de arroz. Entre otras cosas, los resultados indican que casi todos los países han realizado inversiones en el área de biotecnología recientemente. Sin embargo, solo un número muy limitado de ellos ha reforzado sus actividades de crianza y, lo que es peor, la gran mayoría ni siquiera tiene programas de mejoramiento bien estructurados y completamente operativos que puedan incorporar herramientas biotecnológicas. Para agregar a esto, muy pocas veces han asegurado vínculos entre esfuerzos biotecnológicos y prioridades o estrategias de mejoramiento.

El cultivo de anteras es una herramienta biotecnológica simple que ha existido durante bastante tiempo. largo tiempo. La técnica permite el desarrollo de líneas dobles haploides o verdaderas líneas de mejoramiento, lo que acorta el ciclo de mejoramiento y ayuda a producir arroz nuevo variedades. Uno de los principales usos de las líneas dobles haploides es para el desarrollo de mapeo de poblaciones para análisis molecular y mapeo de marcadores de ADN (Lu et al., 1996).

Como se mencionó anteriormente en este capítulo, el arroz tiene una serie de especies que pueden y se han utilizado para abordar problemas específicos de mejoramiento como la resistencia a plagas y Tolerancia a estreses abióticos. Sin embargo, una de las principales limitaciones en el uso de la naturaleza parientes en los programas de mejoramiento es la falta de cruzabilidad entre especies debido a

Diferencias cromosómicas y genéticas. Una alternativa para superar estas barreras sexuales es utilizar el rescate de embriones y la fusión de protoplastos, que son técnicas biotecnológicas sencillas que se han utilizado con éxito en arroz. Jones et al. obtuvieron progenies fértiles de *O. sativa* y *O. glaberrima* mediante retrocruzamiento y producción de doble haploide. (1997). Las variedades NERICA, mencionadas en otra parte de este capítulo, brindan un buen ejemplo de cómo se usaron estas técnicas para ayudar a abordar algunos objetivos de mejoramiento específicos.

Los fitomejoradores quieren utilizar marcadores moleculares. En el arroz se están utilizando varios tipos diferentes de marcadores, entre los que se pueden encontrar los siguientes: polimorfismos de longitud de fragmentos de restricción (RFLP); marcadores de ADN polimórficos amplificados aleatoriamente (RAPD); polimorfismos de longitud de fragmentos amplificados (AFLP); tecnología de matriz de diversidad (DART); polimorfismos de longitud de secuencia simple (SSLP), también conocidos como SSR o microsatélites; elementos transponibles (TE); y/o polimorfismos de un solo nucleótido (SNP). Si se identifican genes de interés y se vinculan a algunos de estos marcadores, se pueden utilizar para ayudar en la selección en un proceso conocido como MAS.

El conocimiento de la ubicación del gen y el marcador, la fuerza del enlace y la estabilidad es esencial. Por lo tanto, se requiere información básica y los mapas de ligamiento molecular juegan un papel importante. Los mapas de arroz se han desarrollado con ese fin; el primer mapa RFLP se publicó en 1988 y fue construido en la Universidad de Cornell por McCouch et al. (1988).

Los criadores están interesados en transferir genes de interés de un padre a otro. Este proceso se puede facilitar marcando dichos genes, lo que significa identificar un vínculo estrecho entre el gen objetivo y un marcador molecular. Al seleccionar el marcador, el mejorador selecciona indirectamente el rasgo de interés usando MAS con las limitaciones de la selección indirecta. En la literatura, hay ejemplos de aplicación de MAS en arroz para ayudar a los programas de retrocruzamiento; de hecho, estudios teóricos han indicado que MAS puede ayudar a reducir de 6 a 3 el número de retrocruzamientos necesarios para transferir un gen objetivo (Frisch et al., 1999). En arroz híbrido, Chen et al. (2000) transfirieron un gen de resistencia al tizón bacteriano de la hoja a un progenitor ampliamente utilizado. Huang et al. (1997b) piramidaron con éxito cuatro genes de resistencia al tizón bacteriano a través de MAS en una variedad de arroz. Sin embargo, la aplicación de esta herramienta en programas de mejoramiento convencional ha sido limitada. El genoma del arroz es uno de los más estudiados por científicos de todo el mundo. Arumuganathan y Earle (1991) lo describieron con 430 Mb. Chen et al. (2002) lo describió como 400 Mb una vez reevaluado. Goff et al. (2002) secuenciaron el genoma de japónicas y Yu et al. (2002) hizo lo mismo con las índicas. Tener el genoma del arroz secuenciado trae un desafío nuevo y más importante que es utilizar esta información para identificar las funciones biológicas de estos genes y sus interacciones con otros genes y entornos.

Por lo tanto, la coincidencia entre el genotipado y el fenotipado juega un papel importante y la existencia de programas de mejoramiento con excelentes técnicas de selección y criadores capaces son esenciales para capturar los mejores avances de la biotecnología moderna y descartar el resto. La introducción de un gen extraño en el arroz mediante la producción de arroz genéticamente modificado permite a los mejoradores abordar problemas que sin esta tecnología no serían factibles. El arroz dorado es el caso más conocido de aplicación de la ingeniería genética en arroz en la década de 1990. Este proyecto específico modificó genéticamente la vía de la provitamina A en el arroz. La mayoría de los casos, sin embargo,

estaban relacionados con la producción de arroz transgénico para resistencia a enfermedades, insectos y estrés abiótico. Khush y Brar (2003) presentaron una tabla con 19 ejemplos de arroz transgénico.

Para cerrar esta sección, no es redundante reiterar la necesidad de integrar herramientas biotecnológicas y ciertas técnicas exitosas en los programas de mejoramiento existentes. Los responsables de la toma de decisiones responsables de la asignación de recursos para la investigación no deberían tener dos opciones: biotecnología o fitomejoramiento, sino solo una forma integradora de avanzar, que es garantizar la integración de estas actividades para producir variedades mejoradas que satisfagan las demandas de los agricultores.

8 Producción de semillas de cimentación

La producción de semillas es uno de los pasos clave para el éxito de una variedad. Por lo tanto, debe considerarse como una parte integral de los programas de mejoramiento. El objetivo de esta sección es indicar los vínculos entre la producción de semillas base y las fases involucradas en un programa de mejoramiento. Como ejemplo de cómo se puede hacer esto, usaré la experiencia pasada de los Centros de Arroz y Frijoles de Embrapa en Brasil.

Las poblaciones segregantes producidas por los cientos de cruces realizados cada año se llevan al campo y avanzan a través de la selección de pedigrí o la selección masiva modificada. Tan pronto como los mejoradores identifican posibles líneas de mejoramiento en las generaciones F4, F5 o F6, se incluyen en los ensayos de observación, que se plantan en lugares de todo el país. Las mejores 50–100 líneas se promueven a pruebas preliminares de rendimiento plantadas en varios lugares también en todo el país. Esta es la etapa en la que los mejoradores comienzan a considerar líneas para la producción de semillas base. Los especialistas en semillas de la sede, junto con los mejoradores, seleccionan alrededor de 100 panículas para iniciar el proceso de producción de semillas mediante el proceso de fila de panículas. A medida que las líneas de mejoramiento pasan de los ensayos de rendimiento preliminares a los ensayos de rendimiento avanzados y regionales, el proceso de multiplicación de semillas avanza de 2 a 3 kg de semilla base a la cantidad requerida de semillas de alta calidad necesarias para atender a los productores de semillas. Esta estrategia requiere una gran movilización de recursos, ya que comienza con 20 a 30 líneas de mejoramiento con potencial para ser liberadas como variedades y termina con una o dos variedades liberadas. Sin embargo, acelera el proceso de liberación varietal permitiendo llegar al momento de la liberación con una gran cantidad de semillas de alta calidad. Además, vincula a los mejoradores y especialistas en semillas en las primeras etapas del proceso de producción de semillas, lo que garantiza la alta

9 Capacidad de mejoramiento de arroz en todo el mundo

La FAO, en colaboración con los centros CGIAR y otras partes interesadas, ha estado evaluando la capacidad nacional de fitomejoramiento y biotecnología relacionada, como se propone en el Plan de Acción Mundial (FAO, 1996) del Tratado Internacional sobre Fitogenética.

Recursos para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2002). El mecanismo para recopilar información sobre la capacidad de los países es una encuesta que se centra en varios temas de mejoramiento y biotecnología. Para este capítulo, el análisis considerará el número de fitomejoradores² equivalentes a tiempo completo¹ (ETC)² disponibles en todas las instituciones públicas y privadas en cada país encuestado y la asignación de recursos por cultivo (arroz en este caso). Se pidió a las organizaciones que proporcionaran el número total de mejoradores FTE y el porcentaje de los recursos totales que se asignó a las actividades de mejoramiento de arroz. Los números de la Tabla 2 se obtuvieron multiplicando el número total de FTE por el porcentaje de asignaciones de recursos para el arroz. Los resultados preliminares de la encuesta para una muestra de países de Asia Central fueron publicados por Guimaraes et al. (2006a) y en África por Guimaraes et al. (2006b). Estos resultados cubrieron todos los cultivos; sin embargo, en este capítulo la atención se centrará únicamente en el arroz (Cuadro 2). Como era de esperar, debido a la importancia del cultivo de arroz para la población asiática, la mayor cantidad de mejoradores FTE se observó en Asia, a pesar de que esa fue la región con la menor cantidad de países encuestados (solo cuatro países fueron muestreados). Los resultados indicaron que había 84,9 mejoradores de arroz, lo que representa el 21,6% del total de mejoradores FTE de la región, el porcentaje más alto de todas las regiones. El siguiente resultado más alto se encontró para América Latina, que tenía 46 mejoradores de arroz FTE, alrededor del 17,1% del número total de mejoradores de arroz FTE en la región. Como el arroz es el alimento básico para la mayoría de los países de estas dos regiones, estos resultados reflejan la importancia que los programas nacionales le dan al desarrollo de variedades mejoradas.

El número total de mejoradores de arroz en Brasil representa el 50% del número de mejoradores de arroz presentes en los siete países muestreados en América Latina. Embrapa tiene dos tercios del número total de mejoradores de arroz FTE en el país. Le siguen las organizaciones estatales con números mucho más bajos, mientras que el sector privado tiene solo dos criadores trabajando en el país. Considerando la capacidad de mejoramiento de todo el país, el arroz representa sólo el 4,4% (Cuadro 2).

En África, para muchos países, principalmente en África Occidental, el arroz es el alimento básico y una de las fuentes de calorías más importantes. Los resultados en la Tabla 2 reflejan su importancia por el número total de mejoradores de arroz FTE que trabajan en África. Una parte importante de los 28,4 FTE mejoradores de arroz se encuentran en África occidental. Todos los países de África occidental tienen, con la excepción de Níger y Senegal, más de dos mejoradores que trabajan en programas nacionales de mejoramiento de arroz. Sin embargo, si observamos el número total de mejoradores FTE en África, el arroz representa una fracción muy pequeña (3,6 %). El potencial que tiene el arroz en los países de África Occidental se debe a su creciente popularidad en los patrones de consumo, aunque la brecha entre la oferta y la demanda sigue siendo significativa. No obstante, algunos países han invertido en el mejoramiento del arroz para contribuir al crecimiento de la producción local de arroz (Oladele y Sakagami, 2004).

¹ Un Equivalente a Tiempo Completo (ETC) es el trabajo realizado por una persona que tiene alguna responsabilidad relacionada con el fitomejoramiento (mejoramiento genético, desarrollo de líneas, evaluación de líneas o estudios genéticos) durante un año (365 días).

² La encuesta consideró fitomejoradores a todo el personal científico con titulación en fitomejoramiento y también a los directamente involucrados en actividades de fitomejoramiento.

Cuadro 2 Distribuciones del número de equivalentes de mejoradores de arroz de tiempo completo de organizaciones seleccionadas obtenidas a través de una encuesta realizada en Brasil en 2005

Organización	Arroz criadores	Criadores para otros cultivos	criadores (#)	Criadores de arroz (%)
Brasil	20.5	446.5	467.0	4.4
abraz	13.0	201.0	214.0	6.1
Instituciones del Estadob	4.0	123.0	127.0	3.1
universidadesb	1.5	89.5	91.0	1.6
Empresas privadasb	2.0	33.0	35.0	5.7
Latinoaméricac	46	222.6	268.6	17.1
África	28.4	770.6	799.0	3.6
Cercano Oriente y Norte África	6.1	595.5	601.6	1.0
Asia Central y Cáucaso	16.9	1,240.0	1,257.0	1.3
Asiag	84.9	307.5	392.4	21.6
Europa del Esteh	7.7	1.022,0	1.030,0	0.7

^a organización pública de investigación del país con 37 centros de investigación
(www.embrapa.br)

^b La muestra incluyó 8 instituciones estatales, 20 universidades y 7 empresas privadas distribuidas por todo el país

^c Los ocho países de la muestra fueron Argentina, Bolivia, Costa Rica, República Dominicana, Ecuador, Nicaragua, Uruguay y Venezuela. Todos los datos se refieren a 2004 excepto Venezuela que tiene datos para 2001

^d Los 15 países incluidos en la muestra fueron Angola, Camerún, Etiopía, Ghana, Kenia, Malawi, Malí, Mozambique, Níger, Nigeria, Senegal, Sierra Leona, Uganda, Zambia y Zimbabue. Todos los países se refieren a 2001, con la excepción de Etiopía y Sierra Leona (2004) y Angola y Camerún (2003)

^e Los siete países incluidos en la muestra fueron Argelia, Sudán, Jordania, Líbano, Omán, Túnez y Turquía. Todos los países tienen datos para 2004 excepto Argelia y Sudán (2001)

^f Los siete países incluidos en la muestra fueron Kazajistán, Kirguistán, Tayikistán, Uzbekistán, Armenia, Georgia y Azerbaiyán. Todos los datos son de 2004

^g Los cuatro países incluidos en la muestra fueron Bangladesh, Filipinas, Tailandia y Sri Lanka. Toda la información son para 2004

^h Los cinco países incluidos en la muestra fueron Albania, Bulgaria, Macedonia, Moldavia y República Eslovaca. Todos los datos son de 2004

El arroz no es un cultivo importante en Asia Central y el Cáucaso, por lo que solo el 1,3% del total de mejoradores FTE de la región están trabajando con el cultivo. Kazajistán, el mayor productor de la región, cultivaba sólo 83.000 ha en 2006 (FAOSTAT, 2006) y tenía 12,1 mejoradores de arroz FTE en 2004. Los números más pequeños se encontraron para las regiones de Europa del Este y Cercano Oriente y África del Norte, pero tienen una considerable número total de criadores FTE. La producción de arroz no tiene la misma alta prioridad en estas regiones como lo hace en Asia o América Latina. Por lo tanto, los cabe esperar que las asignaciones de recursos para las actividades de mejoramiento del arroz sean limitadas en comparación con otros cultivos como el trigo y el maíz.

En conclusión, las diferentes regiones asignan sus recursos de mejoramiento de acuerdo con sus prioridades de cultivo. Además, los mejoradores de arroz están ampliamente distribuidos en todas las regiones. Lo que es más importante, la mencionada diversidad genética y la

la sabia elección de germoplasma ayuda a lograr la seguridad alimentaria en países donde el arroz es un alimento básico. Esto, sin embargo, depende de la aplicación de la creatividad a los diferentes enfoques de mejoramiento y el uso inteligente de las herramientas biotecnológicas.

Referencias

- Alvarado-A, JR (1997) Mejoramiento de riego en Chile y utilización de las selecciones recurrentes. En: Guimaraes, EP (Ed.) Selección recurrente en arroz. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia, págs. 117–123.
- Arumuganathan, K. y Earle, ED (1991) Contenido de ADN nuclear de algunas especies importantes. *Planta Mol. Biol. Rep.* 9, 208–218.
- Badan, AC de., Guimaraes, EP y Ramis, C. (2005) Ganancia genética para la resistencia al añublo en una población de arroz. En: Guimaraes, EP (Ed.) Mejoramiento de poblaciones, Una forma de explotar los recursos genéticos del arroz en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma, Italia, págs. 299–329.
- Brondani, C., Rangel, PHN, Brondani, RPV y Ferreira, ME (2002) QTL, mapeo e introgresión de rasgos relacionados con el rendimiento de *Oryza glumaepatula* a arroz cultivado (*Oryza sativa*) usando marcadores microsatélites. *teor. aplicación Genética*. 104, 1192–1203.
- Castro, E. Da M. de., Morais, OP de., Sant'Ana, EP, Breseghello, F. and Neto, FP de M. (2000) Mejoramiento poblacional de arroz de tierras altas en Brasil. En: Guimaraes, EP (Ed.) Avances en el mejoramiento poblacional en arroz. Embrapa Arroz e Feijao, Santo Antonio de Goias, Brasil, págs. 221–240.
- Chatel, M. and Guimaraes, EP (1997) Selección recurrente en arroz, usando un gen androestéril. Centro Internacional de Agricultura Tropical y Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agronómica para el Desarrollo, Cali, Colombia. págs. 1–70.
- Chen, S., Lin, XH, Xu, CG y Zhang, QF (2000) Mejora de la resistencia al tizón bacteriano de 'Minghui 63', una línea élite de arroz híbrido, mediante selección asistida por marcadores moleculares. *Ciencia de cultivos* 40, 239–244.
- Chen, M., Presting, G., Barbazuk, WB, Goicoechea, JL, Blackmon, B., Frang, G., Kim, H., Frisch, D., Yu, Y., Sun, S., Higingbottom, S., Phimphilai, J., Phimphilai, D., Thurmond, S., Gaudette, B., Li, P., Lui, J., Hatfield, J., Main, D., Farrar, K., Henderson, C., Barnett, L., Costa, R., Williams, B., Walsler, S., Atkins, M., Hall, C., Budiman, MA, Tomkins, JP, Luo, M., Bancroft, I., Salse, J., Regad, F., Mohapatra, T., Singh, NK, Tyagi, AK, Soderlund, C., Dean, RA y Wing, RA (2002) Un mapa físico y genético integrado del genoma del arroz. *Célula vegetal* 14, 537–545.
- Chen, X., Liu, X., Wu, D. y Shu, QY (2006) Avances recientes en el mejoramiento genético y la mutación del arroz. mejoramiento de germoplasma en China. *Planta mutante. Rep.* 1(1), 4–6.
- Courtois, B., Nelson, R. y Roumen, E. (1997) Creación de un acervo genético para mejorar la resistencia parcial a *Piricularia* en el arroz de secano, mediante la selección recurrente. En: Guimaraes, EP (Ed.) Selección recurrente en arroz. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia, págs. 189–202.
- Cuevas-Pérez, FE, Guimaraes, EP, Berrio, LE y Gonzalez, DI (1992) Base genética del arroz de riego en América Latina y el Caribe, 1971 a 1989. *Crop Sci.* 32, 1054–1059.
- Dilday, RH (1990) Contribución de las líneas ancestrales en el desarrollo de nuevos cultivares de arroz. *Ciencia de cultivos* 32, 1054–1058.
- Dingkuhn, M., Penning De Vries, FWT, De Datta, SK y van Laar, HH (1991) Conceptos para un nuevo tipo de planta para arroz tropical inundado de siembra directa. En: Arroz inundado de siembra directa en los trópicos. Instituto Internacional de Investigación del Arroz, Manila, Filipinas, págs. 17–38.
- Donald, CM (1968) El mejoramiento de ideotipos de cultivos. *Euphytica* 17(3), 385–403.

- Dudley, JW and Lambert, RJ (2004) 100 generaciones de selección para aceite y proteína en maíz. Raza vegetal. 24(1), 79–110.
- FAO (1996) Plan de Acción Global de Conservación y Utilización Sostenible de la Planta Recursos genéticos para la alimentación y la agricultura. Roma, Italia.
- FAO (2002) Tratado Internacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia.
- FAOSTAT (2006) Base de datos estadísticos de la FAO sobre alimentación y agricultura. Disponible en <http://faostat.external.fao.org/default>. Consultado el 05 de diciembre de 2006.
- Frisch, M., Bohn, M. y Melchinger, AE (1999) Comparación de estrategias de selección para el retrocruzamiento asistido por marcador de un gen. Ciencia de cultivos 39, 1295–1301.
- Fujimaki, H. (1979) Selección recurrente mediante el uso de esterilidad masculina para el mejoramiento del arroz. Jpn. agricola Res. Como. 13, 153–156.
- Glaszmann, JC (1987) Isoenzimas y clasificación de variedades de arroz asiático. teor. aplicación Gineta. 74, 21–30.
- Glaszmann, JC y Arraudeau, M. (1986) Variación del tipo de planta de arroz, relación "japonica" – "javanica". Arroz gineta. Boletín. 3, 41–43.
- Goff, SA, Ricke, D., Lan, TH, Presting, G., Wang, R., Dunn, M., Glazebrook, J., Sessions, A., Oeller, P., Varma, H., Hadley, D., Hutchison, D., Martin, C., Katagiri, F., Lange, BM, Moughamer, T., Xia, Y., Budworth, P., Zhong, J., Miguel, T., Paszkowski, U., Zhang, S., Colbert, M., Sun, WL, Chen, L., Cooper, B., Park, S., Wood, TC, Mao, L., Quail, P., Wing, R., Dean, R., Yu, Y., Zharkikh, A., Shen, R., Sahasrabudhe, S., Thomas, A., Cannings, R., Gutin, A., Pruss, D., Reid, J., Tavtigian, S., Mitchell, J., Eldredge, G., Scholl, T., Miller, RM, Bhatnagar, S., Adey, N., Rubano, T., Tusneem, N., Robinson, R., Feldhaus, J., Macalima, T., Oliphant, A. y Briggs, S. (2002) Una secuencia preliminar del genoma del arroz (*Oryza sativa* L. ssp. *japonica*). Ciencia 296, 92–100.
- Graterol, MEJ (2000) Caracterización de poblaciones e introducción de conservación para iniciar un programa de mejoramiento poblacional de arroz en Venezuela. En: Guimaraes, EP (Ed.) Avances en el mejoramiento poblacional en arroz. Embrapa Arroz e Feijao, Santo Antonio de Goias, Brasil, págs. 87–103.
- GRUMEGA [Grupo de Mejoramiento Genético Avanzado en Arroz] (2006a) Catálogo Registro de Acervos Genéticos y Poblaciones, para el Mejoramiento del Arroz por Selección Recurrente. Disponible en http://iserver.ciat.cgiar.org/grumega/tiki-download_wiki_attachment.php?attId=56. Consultado el 6 de diciembre de 2006.
- GRUMEGA [Grupo de Mejoramiento Genético Avanzado en Arroz] (2006b) Bolivia, "Esperanza" (2006) Nueva variedad de arroz para condiciones de secado. Disponible en http://server.ciat.cgiar.org/grumega/tiki-download_wiki_attachment.php?attId=18. Consultado el 6 de diciembre de 2006.
- GRUMEGA [Grupo de Mejoramiento Genético Avanzado en Arroz] (2006c) Chile, "R Quila 23" (2006) Disponible en http://iserver.ciat.cgiar.org/grumega/tiki-download_wiki_attachment.php?attId=16. Consultado el 6 de diciembre de 2006.
- GRUMEGA [Grupo de Mejoramiento Genético Avanzado en Arroz] (2006d) Cultivar de arroz irrigado da EPAGRI, SCS 113-Tio Taka. Disponible en http://iserver.ciat.cgiar.org/grumega/tiki-download_wiki_attachment.php?attId=58. Consultado el 6 de diciembre de 2006.
- Guimaraes, EP (1997) Selección recurrente en arroz. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia. págs. 1–240.
- Guimaraes, EP (1999) Hibridacao em arroz. En: Borem, A. (Ed.) Hibridacao artificial de plantas. Universidade Federal de Vicosa (UFV), Vicosa, Brasil, págs. 101–120.
- Guimaraes, EP (2000) Avances en el mejoramiento poblacional en arroz. Embrapa Arroz y Feijao, Santo Antonio de Goias, Brasil. págs. 1–311.
- Guimaraes, EP (2002) Diversidad genética de la producción de arroz en Brasil. En: Nguyen, VN (Ed.) Diversidad genética en la producción de arroz, estudios de caso de Brasil, India y Nigeria. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma, Italia, págs. 11–35.

Guimaraes, EP (2005) Mejoramiento de poblaciones, Una forma de explotar los recursos genéticos del arroz en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Roma, Italia. págs. 1–350.

Guimaraes, EP and Correa-Victoria, F. (2000) Utilización de la selección recurrente para desarrollar resistencia a *Pyricularia grisea* Sacc. en arroz. En: Guimaraes, EP (Ed.) Avances en el mejoramiento poblacional en arroz. Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antonio de Goias, Brasil, págs. 165–175.

Guimaraes, EP, Borrero, J. and Ospina-Rey, Y. (1996) Diversidad genética del germen de arroz de secano Plasma distribuido en América Latina. *Pesq. Agropec. Sujetadores*. 31(3), 187–194.

Guimaraes, EP, Bedoshvili, D., Morgounov, A., Baboev, S., Iskakov, A., Muninjanov, H., Kueneman, E. y Paganini, M. (2006a) Fitomejoramiento y competencia biotecnológica relacionada en Asia Central y recomendaciones para fortalecer la capacidad regional. *Teoría Agromeridiana. aplicación agrícola Res. J. 2*, 137–143.

Guimaraes, EP, Kueneman, E. y Carena, MJ (2006b) Evaluación de la capacidad nacional de fitomejoramiento y biotecnología en África y recomendaciones para la futura creación de capacidad. *hort. ciencia* 41, 50–52.

Guohui, M. y Longping, Y. (2003) Logros y desarrollo del arroz híbrido en China. En: Virmani, SS, Mao, CX y Hardy, B. (Eds.) Arroz híbrido para la seguridad alimentaria, el alivio de la pobreza y la protección ambiental. Instituto Internacional de Investigación del Arroz, Manila, Filipinas, págs. 247–256.

Harushima, Y., Nakagahra, M., Yano, M., Sasaki, T. y Murata, N. (2002) Variación diversa de barreras reproductivas en tres cruces de arroz intraespecíficos. *Genética* 160, 313–322.

He, Y., Li, X., Zhang, J., Jiang, G., Liu, S., Chen, S., Tu, J., Xu, C. y Zhang, Q. (2004) Gene Pyramiding to mejorar el arroz híbrido mediante técnicas de marcadores moleculares. Congreso Internacional de Ciencias de los Cultivos Brisbane, Australia, del 26 de septiembre al 1 de octubre. http://www.cropsscience.org.au/icsc2004/poster/3/4/4/1041_heyuqing.htm. Consultado el 06 de abril de 2007.

Hernaiz-L, SI, Alvarado, JR, Chatel, M., Castillo, D. y Ospina, Y. (2004) Mejorando poblaciones de arroz irrigado para clima templado en Chile. En: Guimaraes, EP (Ed.) Mejora de la población, Una forma de explotar los recursos genéticos del arroz en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma, Italia, págs. 129–143.

Hoan, NT y Nghia, NH (2003) Desarrollo y uso de arroz híbrido en Vietnam. En: Virmani, S. S., Mao, CX y Hardy, B. (Eds.) Arroz híbrido para la seguridad alimentaria, el alivio de la pobreza y la protección ambiental. Instituto Internacional de Investigación del Arroz, Manila, Filipinas, págs. 357–371.

Horie, T. (2001) Aumento del potencial de rendimiento en arroz de regadío: rompiendo la barrera del rendimiento. En: Peng, S. y Hardy, B. (Eds.) Investigación del arroz para la seguridad alimentaria y el alivio de la pobreza. Instituto Internacional de Investigación del Arroz, Manila, Filipinas, págs. 3–25.

Huang, N., Ángeles, ER, Domingo, J., Magpantay, G., Singh, S., Zhang, G., Kumaravadivel, N., Bennet, J. y Khush, GS (1997a) Pirámide de la resistencia al tizón bacteriano genes en arroz: selección asistida por marcadores usando RFLP y PCR. *teor. aplicación Gineta*. 95, 313–320.

Huang, N., Parco, A., Mew, T., Magpantay, G., McCouch, S., Guiderdoni, E., Xu, J., Subudhi, P., Ángeles, ER y Khush, GS (1997b) Mapeo de RFLP de isoenzimas, RAPD y QTL para la forma del grano, resistencia al saltahoja pardo en una población de arroz doblemente haploide. *Cría molecular* 3(2), 105–113.

Hull, FH (1945) Selección recurrente para capacidad de combinación específica en maíz. *Mermelada. Soc. Agron.* 37 (2), 134–145.

Ismachin, M. y Sobrizal (2006) Una contribución significativa de las técnicas de mutación al arroz. reproducción en Indonesia. *Planta mutante. Rep.* 1(1), 18–22.

IRRI (2002) Almanaque del arroz, libro de consulta de la actividad económica más importante del planeta. Tercera edición. Maclean, JL, Dawe, DC, Hardy, B. y Hettel, GP (Eds.) Instituto Internacional de Investigación del Arroz, Manila, Filipinas. págs. 1–253.

Jackson, MT, Loresto, GC, Appa Rao, S., Jones, M., Guimaraes, EP y Ng, NQ (1997) Rice. En: Fuccillo, D., Sears, L. y Stapleton, P. (Eds.) Biodiversidad en fideicomiso, conservación y uso de

- recursos fitogenéticos en los Centros CGIAR. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, págs. 273–291.
- Jackson, MT y Lettington, RJL (2003) Conservación y uso de germoplasma de arroz, un paradigma en evolución bajo el Tratado Internacional sobre Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura. En: Producción sostenible de arroz para la seguridad alimentaria. Actas de la 20ª sesión de la Comisión Internacional del Arroz. Bangkok, Tailandia, 23 a 26 de julio de 2002, págs. 75 a 88.
- Jones, M., Dingkuhn, M., Aluko, GK y Semon, M. (1997) Interespecifica *Oryza sativa* L. x *O. glaberrima* Steud. progenies en el mejoramiento del arroz de secano. *Euphytica* 94(2), 237–246.
- Jones, M. y Wopereis-Pura, M. (2001) Historia de Nerica y PVS. Informe interno, África Occidental Asociación para el Desarrollo del Arroz (WARDA); Bouake, Costa de Marfil.
- Julfikar, AW, Jamil Hasan, M., Azad, AK, Anwar Hossain, M. y Virmani, SS (2003) Investigación y desarrollo de arroz híbrido en Bangladesh. En: Virmani, SS, Mao, CX y Hardy, B. (Eds.) Arroz híbrido para la seguridad alimentaria, el alivio de la pobreza y la protección ambiental. Instituto Internacional de Investigación del Arroz, Manila, Filipinas, págs. 235–245.
- Junjian, N., Colowit, PM y Mackill, DJ (2002) Evaluación de la diversidad genética en el arroz subespecies utilizando marcadores de microsatélites. *Ciencia de cultivos* 42(2), 601–607.
- Kaneda, C. (1985) Desarrollo de variedades de arroz de muy alto rendimiento. *Agricultura Japón* 19, 25–29.
- Khatiwada, SP, Senadhira, D., Carpena, AL, Zeigler, RS y Fernandez, PG (1996) Variabilidad y genética de la tolerancia a la toxicidad por aluminio en arroz (*Oryza sativa* L.). *Theor. aplicación Gineta*. 93(5–6), 738–744.
- Khush, GS (1977) Resistencia a enfermedades e insectos en arroz. *Adv. Agron.* 29, 265–341.
- Khush, GS (1994) Aumento del potencial de rendimiento genético del arroz, perspectivas y enfoques. En t. Arroz Com. Noticias 43, 1–8.
- Khush, GS y Brar, DS (2003) Biotecnología para el mejoramiento del arroz: progreso e impacto. En: Producción sostenible de arroz para la seguridad alimentaria. Actas de la vigésima sesión de la Comisión Internacional del Arroz, Bangkok, Tailandia, 23 a 26 de julio de 2002, págs. 41 a 58.
- Khush, GS y Peng, S. (1996) Rompiendo la frontera de rendimiento del arroz. En: Reynolds, MP (Eds.) Aumento del potencial de rendimiento en trigo: rompiendo las barreras. Actas del taller realizado del 26 al 28 de marzo de 1996, Ciudad Obregón, Sonora, México. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, El Batán, México. págs. 36–51.
- Khush, GS, Singh, RJ, Sur, SC y Librojo, AL (1984) Trisomías primarias del arroz, origen, morfología, citología y uso en el mapeo de ligamiento. *Genética* 107, 141–163.
- Khush, GS, Bacalangco, E. y Ogawa, T. (1990) Un nuevo gen para la resistencia al tizón bacteriano de *O. longistaminata*. *Arroz gineta*. Noticias 7, 121–122.
- Khush, GS, Coffman, WR y Beachell, HM (2001) La historia del mejoramiento del arroz: la contribución del IRRI. En: Rockwood, WG (Ed.) Investigación y producción de arroz en el siglo XXI: Simposio en honor a Robert F. Chandler Jr. Instituto Internacional de Investigación del Arroz, Manila, Filipinas, págs. 117–135.
- Latha, R., Thiyaqarajan, K. y Senthilvel, S. (2004) Genética, comportamiento de la fertilidad y análisis de una nueva línea TGMS, TS6, en arroz. *Raza vegetal*. 123(3), 235–240.
- Lu, C., Shen, L., Tan, Z., Xu, Y., He, P., Chen, Y. y Zhu, L. (1996) Mapeo comparativo de QTL para características agronómicas del arroz en diferentes entornos utilizando una población haploide duplicada. *teor. aplicación Gineta*. 93(8), 1211–1217.
- Mao, CX (2001) Mejorando la producción de semillas para acelerar la comercialización global de arroz híbrido. En: Peng, S. y Hardy, B. (Eds.) Investigación del arroz para la seguridad alimentaria y el alivio de la pobreza. Instituto Internacional de Investigación del Arroz, Manila, Filipinas, págs. 221–229.
- Marassi, JE, Marassi, MA, Chatel, M. y Borrero, J. (2000) Desarrollo de poblaciones de arroz en Argentina. En: Guimaraes, EP (Ed.) Avances en el mejoramiento poblacional en arroz. Embrapa Arroz e Feijao, Santo Antonio de Goias, Brasil, págs. 173–186.
- Marassi, MA, Marassi, JE, Chatel, M. y Ospina, Y. (2004) Explotación de los recursos genéticos del arroz en Argentina a través del mejoramiento poblacional. En: Guimaraes, EP (Ed.) Mejoramiento de poblaciones, Una forma de explotar los recursos genéticos del arroz en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma, Italia, págs. 113–127.

- Maluszynski, M., Ahloowalia, B., Ashri, A., Nichterlein, K. y Zanten, LV (1998) Mutación inducida en la mejora del germoplasma y mejoramiento del arroz. En: Evaluación y orientación hacia el siglo XXI. Actas de la 19ª sesión de la Comisión Internacional del Arroz, El Cairo, Egipto, 7–9 de septiembre de 1998, págs. 194–204.
- McCouch, SR, Kochert, G., Yu, ZH, Wang, ZY, Khush, GS, Coffaman, DR y Tanksley, S.
D. (1988) Mapeo molecular de cromosomas de arroz. teor. aplicación Gineta. 76, 815–829.
- Mishra, B. (2002) Mejora varietal para la producción de arroz en India. En: Nguyen, VN (Ed.)
Diversidad genética en la producción de arroz, estudios de caso de Brasil, India y Nigeria. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma, Italia, págs. 37–91.
- Mishra, B., Viraktamath, BC, Ilyas Ahmed, M., Ramesha, MS y Vijayakumar, CHM (2003)
Desarrollo y uso de arroz híbrido en la India. En: Virmani, SS, Mao, CX y Hardy, B. (Eds.)
Arroz híbrido para la seguridad alimentaria, el alivio de la pobreza y la protección del medio ambiente. Instituto Internacional de Investigación del Arroz, Manila, Filipinas, págs. 265–286.
- Moncada, P., Martíñez, CP, Borrero, J., Gauch, H. Jr., Guimaraes, EP, Tohme, J. and McCouch, SR (2001)
Quantitative trait loci for yield and yield components in an Población BC2F2 de *Oryza sativa* x *Oryza rufipogon* evaluada en un ambiente de montaña. teor. aplicación Gineta. 102, 41–52.
- Montalbán, R., Destro, D., Silva, EF y Montano, JC (1998) Base genética de cultivares de arroz de secano brasileño. J. Genet. Criar. 52, 203–209.
- Morinaga, T. (1954) Clasificación de variedades de arroz en base a la afinidad. En: Arroz Internacional
Comisión. Grupo de Trabajo sobre Mejoramiento del Arroz Rep. 5ª Reunión.
- Morishima, H. (1984) Relaciones de especies y la búsqueda de ancestros. En: Tsunoda, S. y Takahashi, N. (Eds.)
Biología del arroz. Ciencia de Japón Soc. Prensa. Tokio, Japón, págs. 3–30.
- Morishima, H. y Oka, HI (1981) Diferenciación filogenética del arroz cultivado. XXVII Evaluación numérica de la diferenciación Indica – Japonica. JPN. J. Raza. 31, 402–413.
- Mou, TM, Xing-Gui, L., Hoan, NT y Virmani, SS (2003) Mejoramiento de arroz híbrido de dos líneas dentro y fuera de China. En: Virmani, SS, Mao, CX y Hardy, B. (Eds.) Arroz híbrido para la seguridad alimentaria, el alivio de la pobreza y la protección ambiental. Instituto Internacional de Investigación del Arroz, Manila, Filipinas, págs. 31–52.
- Muralidharan, K., Prasad, GSV y Rao, CS (2002) Rendimiento de rendimientos de genotipos de arroz en ensayos internacionales multiambientes durante 1976–1997. actual ciencia 83(5), 610–619.
- Murchie, EH, Hubbart, S., Peng, S. y Horton, P. (2001) Aumento del potencial de rendimiento del arroz mediante la manipulación de la fotosíntesis: mejora de la eficiencia de conversión de la radiación. En: Peng, S. y Hardy, B. (Eds.) Investigación del arroz para la seguridad alimentaria y el alivio de la pobreza. Instituto Internacional de Investigación del Arroz, Manila, Filipinas, págs. 119–128.
- Oka, HI (1958) Variación intervarietal y clasificación del arroz cultivado. Indio J. Genet. Planta
Criar. 18, 79–89.
- Oka, HI (1964) Patrón de relaciones interespecíficas y dinámica evolutiva en *Oryza*. En: Genética y citogenética del arroz. Elsevier, Ámsterdam, Países Bajos. págs. 71–90.
- Oladele, OI y Sakagami, JI (2004) Impacto de la innovación tecnológica en la brecha de rendimiento del arroz en Asia y África Occidental: problemas de transferencia de tecnología. En: Reducción de la pobreza rural a través de la investigación para el desarrollo y la transformación, Actas del Deutscher Tropentag, 5 al 7 de octubre de 2004. Humboldt-Universität, Berlín, Alemania. pags. 184.
- Peng, S. y Khush, GS (2003) Cuatro décadas de mejora genética para la mejora varietal del arroz de tierras bajas de regadío en el Instituto Internacional de Investigación del Arroz. Producción vegetal. ciencia 6(3), 157–164.
- Peng, S., Cassman, KG, Virmani, SS, Sheehy, J. y Khush, GS (2005) Potencial de rendimiento del arroz tropical desde la publicación de IR8 y el desafío de aumentar el potencial de rendimiento del arroz. Ciencia de cultivos 39, 1552–1559.
- Peréz-Polanco, R., Chatel, M. and Guimaraes, EP (2000) Mejoramiento poblacional del arroz en Cuba, Situación actual y perspectivas. En: Guimaraes, EP (Ed.) Avances en el mejoramiento poblacional en arroz. Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antonio de Goias, Brasil, págs. 131–144.
- Picard, E., Hours, C., Gregoire, S., Phan, TH y Meunier, JP (2004) Mejora significativa de la inducción de haploides androgenéticos y haploides dobles en plantas de trigo tratadas con un agente de hibridación químico. teor. aplicación Gineta. 74(3), 289–297.

- Rai, M. (2003) Diversidad genética en la producción de arroz, contribución pasada y potencial de utilización para la producción sostenible de arroz. En: Producción sostenible de arroz para la seguridad alimentaria. Actas de la 20ª sesión de la Comisión Internacional del Arroz, Bangkok, Tailandia, 23 a 26 de julio de 2002, págs. 89 a 115.
- Rangel, PHN and Neves, PCF (1997) Selección recurrente aplicada al arroz de riego en Brasil. En: Guimaraes, EP (Ed.) Selección recurrente en arroz. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia, págs. 79–97.
- Rangel, PHN, Guimaraes, EP and Neves, PCF (1996) Base genética das cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado do Brasil. *Pesq. Agropec. Sujetadores*. 31(5), 349–357.
- Rangel, PHN, Zimmermann, FJP and Fagundes, PRR (2000) Mejoramiento poblacional del arroz de riego en Brasil. En: Guimaraes, EP (Ed.) Avances en el mejoramiento poblacional en arroz. Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antonio de Goias, Brasil, págs. 65–85.
- Rangel, PHN, Cordeiro, ACC, Lopes, SIG, Morais, OP de, Brondani, C., Brondani, RPV, Yokoyama, S., Schiocchet, M., Bacha, R. and Ishy, T. (2005) Advances in mejora de la población de arroz de regadío en Brasil. En: Guimaraes, EP (Ed.) Mejoramiento de poblaciones, Una forma de explotar los recursos genéticos del arroz en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma, Italia, págs. 145–186.
- Santos, PG, Soares, PC, Soares, AA, Morais, OP and Cornelio, VMO (1997) Estimativa do progresso genético do programa de melhoramento de arroz irrigado desenvolvido em Minas Gerais no período 1974 a 1996. En: Anais da XXII Reunião da Cultura do Arroz Irrigado, 1997. Balneario Camboriú, Santa Catarina, Brasil. págs. 27–20.
- Sarkarung, S. (1991) Un método de cruzamiento simplificado para el mejoramiento del arroz. Fondo Latinoamericano de Arroz de Riego (FLAR) y CIAT, Cali, Colombia. págs. 1–32.
- En segundo lugar, G. (1982) Origen de la diversidad genética del arroz cultivado (*Oryza spp*): estudio de la polimorfismo puntuado en 40 loci de isoenzimas. *Jpn. J. Genet.* 57, 25–57.
- Sheehy, JE, Mitchell, PL, Dionora, J. y Ferrer, A. (2001) ¿Qué gobierna el rendimiento máximo y su tasa de consecución? En: Peng, S. y Hardy, B. (Eds.) Investigación del arroz para la seguridad alimentaria y el alivio de la pobreza. Instituto Internacional de Investigación del Arroz, Manila, Filipinas, págs. 69–77.
- Shih-Cheng, L. y Loung Ping, Y. (1980) Mejoramiento de arroz híbrido en China. En: Enfoques innovadores para el mejoramiento del arroz: artículos seleccionados de la Conferencia Internacional de Investigación sobre el Arroz de 1979. Instituto Internacional de Investigación del Arroz, Los Baños, Filipinas, págs. 35–51.
- Singh, RJ e Ikehashi, HI (1981) Esterilidad masculina monogénica en arroz, inducción, identificación y herencia. *Ciencia de cultivos* 21(2), 286–289.
- Sprague, GF y Tatum, LA (1941) Capacidad combinatoria general versus específica en cruces simples de maíz. *Mermelada. Soc. Agron.* 34, 923–932.
- Sun, CQ, Wang, XK, Li, ZC, Yoshimura, A. e Iwata, N. (2001) Comparación de la diversidad genética del arroz silvestre común (*Oryza rufipogon* Griff.) y arroz cultivado (*O. sativa* L.) usando marcadores RFLP. *teor. aplicación Gineta.* 102, 57–162.
- Suwarno, Nuswantero, MW, Munarso, YP y Direja, M. (2003) Desarrollo y uso de arroz híbrido en Indonesia. En: Virmani, SS, Mao, CX y Hardy, B. (Eds.) Arroz híbrido para la seguridad alimentaria, el alivio de la pobreza y la protección ambiental. Instituto Internacional de Investigación del Arroz, Manila, Filipinas, págs. 287–296.
- Taillebois, J. y Guimaraes, EP (1989) CAN-IRAT5 población de arroz de secano. En *t. Arroz Res. Noticias* 14(3), 8.
- Taillebois, J. and Castro, E. da M. de (1986) Una nueva técnica de cruce. En *t. Arroz Res. Noticias* 11 (6), 6.
- Tan, XL, Vanavichit, A., Amornsilpa, S. y Trangoorung, S. (1998) Análisis genético de la restauración de la fertilidad del arroz CMS-WA basado en el mapeo de QTL. *teor. aplicación Gineta.* 97(5/6), 994–999.
- Tran, DQ, Dao, TTB, Nguyen, HD, Lam, QD, Bui, HT, Nguyen, VB, Nguyen, VX, Le, VN, Do, HA y Phan, P. (2006) Cultivo por mutación del arroz en el Instituto de Agricultura Genética, Vietnam. *Planta Mutati. Rep.* 1(1), 47–49.
- Vaughan, DA (1994) Los parientes silvestres del arroz, Manual de recursos genéticos. Arroz Internacional Instituto de Investigación, Manila, Filipinas. págs. 1–137.

- Virmani, SS (2003) Avances en la investigación y el desarrollo de arroz híbrido en los trópicos. En: Virmani, SS, Mao, CX y Hardy, B. (Eds.) Arroz híbrido para la seguridad alimentaria, el alivio de la pobreza y la protección ambiental. Instituto Internacional de Investigación del Arroz, Manila, Filipinas, págs. 7–20.
- Virmani, SS, Viraktamath, BC, Casal, CL, Toledo, RS, López, MT y Manalo, JO (1997) Manual de mejoramiento de arroz híbrido. Instituto Internacional de Investigación del Arroz, Manila, Filipinas. págs. 1 a 151.
- Virmani, SS, Mao, CX, Toledo, RS, Hossain, M. y Janaiah, A. (2001) Tecnología híbrida de producción de semillas de arroz para mejorar las industrias de semillas y las oportunidades de empleo rural en Asia. Ponencia presentada en el Taller Internacional sobre Semillas y Ciencias y Tecnologías de Siembra. Taiwán, China, 10 a 17 de junio de 2001.
- Wang, LQ (1992) Avances en el fitomejoramiento por mutación de plantas en China: un análisis completo. *Toro. Núcleo agrícola ciencia* 13, 282–295.
- Wang, XW, Lai, JR, Fan, L. y Zhang, RB (1996) Efectos de la selección recurrente en poblaciones de varias generaciones en trigo mediante el uso del gen macho estéril único dominante de Tai Gu. *j agrícola ciencia* 126(4), 397–402.
- WARDA [Asociación para el Desarrollo del Arroz de África Occidental] (2003) Evaluación del impacto de las variedades de arroz NERICA: no solo encuestas y matemáticas simples. Disponible en <http://www.warda.cgiar.org/publications/AR2002-03/assessing%20the%20impact.pdf>. Consultado el 7 de diciembre de 2006.
- Wenfu, C., Zhenjin, X., Longbu, Z. y Shouren, Y. (2001) Desarrollo del nuevo tipo de planta de arroz y avances en la investigación sobre mejoramiento para un rendimiento súper alto. En: Peng, S. y Hardy, B. (Eds.) Investigación del arroz para la seguridad alimentaria y el alivio de la pobreza. Instituto Internacional de Investigación del Arroz, Manila, Filipinas, págs. 43–50.
- Werner, BK y Wilcox, JR (2004) Selección recurrente para rendimiento en *Glycine max* usando esterilidad masculina genética. *Euphytica* 50(1), 19–26.
- Xiao, J., Li, J., Grandillo, S., Ahn, SN, Yuan, L., Tanksley, SD y McCouch, SR (1998) Identificación de alelos de loci de rasgos cuantitativos que mejoran los rasgos de un pariente del arroz silvestre, *Oryza rufipogon*. *Genética* 150, 899–909.
- Yang, SR, Zhang, LB y Chen, WF (1996) Teorías y métodos de mejoramiento del arroz para rendimiento máximo. *Acta Agron. Pecado*. 22(3), 295–304.
- Yamaguchi, Y., Ikeda, R., Hirasawa, H., Minami, M. y Ujikara, A. (1997) Análisis de ligamiento del gen termosensible de esterilidad masculina genética, *tms2*, en arroz (*Oryza sativa* L.). *Criar. ciencia* 47, 371–373.
- Yu, J., Hu, S., Wang, J., Wong, KS, Li, S., Liu, B., Deng, Y., Dai, L., Zhou, Y., Zhang, X., Cao, M., Liu, J., Sun, J., Tang, J., Chen, Y., Huang, X., Lin, W., Ye, C., Tong, W., Cong, L., Geng, J., Han, Y., Li, L., Li, W., Hu, G., Huang, X., Li, W., Li, J., Liu, Z., Li, L., Liu, J., Qi, Q., Liu, J., Li, L., Li, T., Wang, X., Lu, H., Wu, T., Zhu, M., Ni, P., Han, H., Dong, W., Ren, X., Feng, X., Cui, P., Li, X., Wang, H., Xu, X., Zhai, W., Xu, Z., Zhang, J., He, S., Zhang, J., Xu, J., Zhang, K., Zheng, X., Dong, J., Zeng, W., Tao, L., Ye, J., Tan, J., Ren, X., Chen, X., He, J., Liu, D., Tian, W., Tian, C., Xia, H., Bao, Q., Li, G., Gao, H., Cao, T., Wang, J., Zhao, W., Li, P., Chen, W., Wang, X., Zhang, Y., Hu, J., Wang, J., Liu, S., Yang, J., Zhang, G., Xiong, Y., Li, Z., Mao, L., Zhou, C., Zhu, Z., Chen, R., Hao, B., Zheng, W., Chen, S., Guo, W., Li, G., Liu, S., Tao, M., Wang, J., Zhu, L., Yuan, L. y Yang, H. (2002) Un proyecto de secuencia del genoma del arroz (*Oryza sativa* L. ssp. *Indica*). *Ciencia* 296, 79–92.
- Yuan, LP (2003) La segunda generación de arroz híbrido en China. En: Producción sostenible de arroz para la seguridad alimentaria. Actas de la 20ª sesión de la Comisión Internacional del Arroz. Bangkok, Tailandia, 23 a 26 de julio de 2002, págs. 117 a 120.