

Arroces maleza – origen, biología, ecología y control



Lámina cubierta:

Muestra de arroz descascarado. J.C. Delouche, 1993.

Agricultores removiendo malezas en un arrozal. Limoeiro, Ceará, Brasil. FAO/104052/F. Mattioli.

Arroces maleza – origen biología, ecología y control

ESTUDIO FAO
PRODUCCIÓN
Y PROTECCIÓN
VEGETAL

188

por

James C. Delouche

Nilda R. Burgos

David R. Gealy

Gonzalo Zorrilla de San Martín

y

Ricardo Labrada

con la colaboración de

Michael Larinde

Cadmo Rosell

Las denominaciones empleadas en este producto informativo y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, de parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, juicio alguno sobre la condición jurídica o nivel de desarrollo de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites.

ISBN 978-92-5-305676-7

Todos los derechos reservados. Se autoriza la reproducción y difusión de material contenido en este producto informativo para fines educativos u otros fines no comerciales sin previa autorización escrita de los titulares de los derechos de autor, siempre que se especifique claramente la fuente. Se prohíbe la reproducción del material contenido en este producto informativo para reventa u otros fines comerciales sin previa autorización escrita de los titulares de los derechos de autor. Las peticiones para obtener tal autorización deberán dirigirse al Jefe de la Subdirección de Políticas y Apoyo en Materia de Publicación Electrónica de la Dirección de Comunicación de la FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Roma, Italia, o por correo electrónico a copyright@fao.org

© FAO 2007

Índice

Agradecimientos	x
Prefacio	xi
Lista de siglas	xiii
1. Introducción	1
2. El problema de los arrozces maleza	3
Los arrozces maleza	3
El problema de los arrozces maleza	5
Orígenes y fuentes de los arrozces maleza	10
Razones para el éxito de los arrozces maleza en su comportamiento como maleza	15
3. Diversidad de las poblaciones de arrozces maleza	17
Primeras observaciones generales sobre la diversidad y la variabilidad del arroz rojo	18
Louisiana – el primer estudio sobre la variabilidad del arroz rojo	19
Mississippi – estudio de caso sobre la diversidad y la variabilidad del arroz rojo	20
Texas – estudio comparativo de la diversidad en arrozces rojos de cuatro estados	29
Arkansas – diversidad fenotípica y genética del arroz rojo	31
Desarrollo de grupos híbridos	35
Hibridación de arroz rojo y arroz cultivado en Estados Unidos de América	38
4. Desgrane y latencia en los arrozces maleza	47
Desgrane temprano y abundante	47
Latencia intensa y persistente	53
5. Vigor y competitividad de los arrozces maleza	67
Pérdidas económicas causadas por los arrozces maleza	67
Características competitivas de los arrozces maleza comparados con los arrozces cultivados	68
Efectos de la densidad del arroz rojo y período de interferencia	72
Efectos generales de la competencia	74
Fisiología y competitividad de los arrozces rojos en los Estados Unidos de América	75
El arroz rojo y un posible paso intermedio C3-C4 de fijación de nitrógeno	81
6. Relaciones ecológicas	85
Desgrane y latencia	85
Variación de la madurez	87

Prolongación de la emergencia	88
Interacciones ambientales sobre y en el suelo	91
Modelo ecológico de la germinación del arroz rojo	99
Otras discusiones sobre los grupos híbridos de los cruzamientos arroz cultivado/arroz rojo	101
7. Estrategias para el control de los arrozcs maleza	105
Reconocimiento de los arrozcs maleza	105
Prevención de la infestación	107
Agotamiento de las semillas de arroz maleza del banco de semillas del suelo	113
Supresión de la germinación del arroz maleza (manejo del agua y compuestos químicos)	116
Destrucción o remoción de las plantas de arroz maleza en los arrozales	118
Alternancia de arroz con otros cultivos u otros usos de la tierra para cambiar el ambiente	119
Estrategias biotecnológicas – variedades resistentes a los herbicidas	121
Requisitos para programas efectivos de control del arroz maleza	123
8. Ejemplos de campañas de control de arroz maleza	125
América del Sur – combate y control del arroz rojo en Uruguay	125
América Central y el Caribe – manejo y control de arrozcs maleza	131
América del Norte	135
9. Conclusiones	137
Referencias	141

Lista de tablas

1. Principales características de las espiguillas y granos de 1 084 panojas	19
2. Características de 42 arroces rojos contaminantes de cultivos comerciales de arroz en Mississippi y Texas, EE.UU.A., 1978-90 comparados con cuatro variedades cultivadas	23
3. Valores medios de tres caracteres que influyen la competitividad	24
4. Características de la progenie de RR 78/21 segregante recolectada en un campo de variedad Starbonnet en Mississippi, EE.UU.A. en 1978	28
5. Características de la progenie de las segregaciones de arroz rojo 79/16 en un arrozal de Starbonnet en Mississippi, EE.UU.A. en 1979	30
6. Caracterización de arroz rojo en Arkansas, EE.UU.A.	34
7. Fecundación cruzada de arroz cultivado y arroz rojo bajo las condiciones de los Estados Unidos de América.	41
8. Estimación de los porcentajes de fecundación cruzada entre arroz cv. Clearfield (CL161) y diferentes biotipos de arroz rojo en campos comerciales de producción de arroz, Arkansas, Estados Unidos de América	43
9. Momento del desgrane y contenido de humedad de las semillas en 14 fenotipos seleccionados de arroz rojo	49
10. Tiempo transcurrido para el desgrane de las semillas en fenotipos seleccionados de arroz rojo y contenido de humedad de las semillas en el tercio superior de la panoja a la primer evidencia de desgrane	49
11. Momento y grado de desgrane de cinco líneas de arroces maleza comparados con la variedad IR 64	51
12. Intensidad de la latencia de las semillas de variedades cultivadas y fenotipos de RR cosechados 24 días después de la antesis, secados durante 9 días a 22-24 °C y después de seis meses de almacenamiento	56
13. Nivel inicial de latencia en 54 segregaciones de SHR tomadas al azar	57
14. Variación en la persistencia de la latencia en semillas de dos variedades cultivadas de arroz y en cinco fenotipos de arroz rojo en almacenamiento abierto a 30 °C	57
15. Efecto del almacenamiento de semillas totalmente embebidas no latentes y semillas latentes (ca. 28 por ciento de contenido de humedad) de dos tipos de arroz rojo a 30 °C sobre la latencia y la germinación	58
16. Distintas respuestas germinativas de semillas de ecotipos de arroz rojo no latentes (ND) y latentes (D) después de períodos de aceleración del envejecimiento de hasta 24 días	59
17. Respuesta de la germinación al efecto de las bajas temperaturas y períodos de exposición de semillas latentes y no latentes totalmente embebidas (27-30 por ciento de contenido de humedad) de la variedad <i>Nato</i> y de los fenotipos de arroz rojo <i>BLKH</i> y <i>SHA+</i>	60

18. Rangos de temperatura para la germinación de las variedades cultivadas de arroz y ecotipos de arroz rojo a intervalos durante un período de 14 días	70
19. Comparación del vigor de las plántulas de las variedades Maybelle y Lemont y los fenotipos de arroz rojo SHA- y BLKH durante un período de ocho días a 25 °C en la oscuridad	71
20. Efectos de la competencia durante una estación entre la variedad Starbonnet y los tipos de arroz rojo SHA- y BLKH en una relación 1:1 al momento del 50 por ciento de la antesis, sobre la madurez a la cosecha, número de tallos, peso seco de la planta y rend	72
21. Efectos de la competencia a lo largo de toda la estación entre las variedades Maybelle y Lemont y los tipos de arroz rojo SHA- y BLKH, en siembra directa y en siembra transplantada sobre la biomasa y algunos rendimientos del componente de las dos variedades	73
22. Características agronómicas y fisiológicas comparativas de arroz y de arroz maleza cultivados en condiciones no competitivas en la Rice Research and Extension Center, Stuttgart, Arkansas, Estados Unidos de América, entre mayo y agosto, 2000 y 2001	77
23. Crecimiento comparativo entre arroz y arroz rojo bajo condiciones no competitivas, con nivel óptimo de fertilidad del suelo, en experimentos en macetas al aire libre, mayo-septiembre 2001 en la Main Agricultural Research and Extension Center, Universidad de Arkansas, Fayetteville, Estados Unidos de América	81
24. Porcentajes acumulativos de emergencia durante un período de ocho meses de tres variedades cultivadas y cuatro fenotipos de arroz rojo sembrados el 28 septiembre 1981	89
25. Efecto de la profundidad de siembra en cuatro fechas diferentes sobre la emergencia y altura de las plántulas de la variedad Starbonnet y los arroces rojos SHA-, SHA+ y BLKH 20 y 30 días después de la siembra	91
26. Porcentaje de germinación (G) y latencia (L) de semillas después de seis meses (m) de almacenamiento al aire y enterradas a 15 cm de profundidad en el campo, bajo condiciones de secano e irrigadas	95
27. Porcentajes de germinación y latencia de semillas latentes y no latentes después de períodos de estar sumergidas en 20 cm de agua bajo condiciones ambientales	96
28. Efecto de períodos de temperaturas constantes y alternantes sobre la germinación y la latencia de semillas del ecotipo de arroz rojo SHA+	98
29. Efecto de la temperatura de almacenamiento y contenido de humedad de la semilla sobre la inducción de la latencia en semillas del fenotipo de arroz rojo SHA+	99
30. Efecto del régimen de temperatura para liberar la latencia inducida en semillas del fenotipo de arroz rojo SHA+	99
31. Normas del laboratorio de análisis de semillas para el arroz rojo en Uruguay	128
32. Estudio de los análisis del arroz recibidos por los principales molinos arroceros de Uruguay	130

Lista de figuras

1. Distribución del arroz rojo en Arkansas, Estados Unidos de América, según el color de la cáscara, verano de 2002 y 2003.	11
2. Áreas de producción de arroz en los Estados Unidos de América, 2005	18
3. Diagrama a escala multidimensional (usando valores de GD derivados de marcadores RAPD) de grupos genotípicos de accesiones de arroz rojo y arroz cultivado (Bengal – grano medio; Kay y Kaybonnet – grano largo)	33
4. Efectos de la temperatura de almacenamiento sobre la tasa de liberación de la latencia en semillas de la variedad Nato y en cinco fenotipos de arroz rojo	63
5. Longitud media del mesocotilo, el coleoptile y la plúmula emergida de dos variedades de arroz y dos fenotipos de arroz rojo después de 10 días a 25 °C	71
6. Longitud media del mesocotilo, el coleoptile y la plúmula emergida de dos variedades de arroz y dos fenotipos de arroz rojo después de 8 días a 30 °C	71
7. Peso seco relativo de los tallos de cultivares de arroz y ecotipos de arroz rojo 70 días después de la emergencia	79
8. Respuesta comparativa del arroz Drew y del arroz rojo de cáscara pajiza a la fertilización con nitrógeno en producción de biomasa y eficiencia de uso del nitrógeno, dos semanas después de la formación de la panoja	80
9. Emergencia acumulativa en el campo en un período de 15 meses de la variedad Starbonnet y de tres fenotipos de arroz rojo sembrados después de 0, 2, 4 y 6 semanas de demoras simuladas en el desgrane en 1983	86
10. Emergencia acumulativa durante un período de 13 meses de semillas de la variedad Labelle y de tres fenotipos de arroz rojo sembrados el 15 septiembre 1982	89
11. Emergencia acumulativa durante un período de 13 meses de semillas de la variedad Labelle y de tres fenotipos de arroz rojo sembrados el 9 junio 1983	90
12. Variación estacional de la latencia y la germinación en semillas de la variedad Nato y de tres arces rojos enterradas profundamente en el suelo	94
13. Evolución del área de arroz en Uruguay, 1930-2005	125
14. Evolución del área total sembrada y el área sembrada con semillas certificadas en Uruguay, 1988-1998.	127
15. Sistema nacional de arroz de producción de semillas de arroz en Uruguay	128

Lista de láminas

1. Arroces típicos recolectados en Mississippi, Estados Unidos de América, en 1978 y 1979: cáscara color pajizo-rojo (SHR) (arriba) y cáscara color negro-rojizo (BHR) (abajo). Notar las panojas laxas y abiertas y las espiguillas (semillas) alineadas como cuen 6
2. Semillas de malezas contaminantes comunes en arroz cosechado mecánicamente en los Estados Unidos de América.
Arriba: A – arroces de grano medio y grano largo; B – BHR;
C – *Sesbania exaltata*; D – *Caperonia castaneifolia*; E – especies de malezas de Poaceae. 7
3. Variedades de arroz. Arriba de izquierda a derecha. Starbonnet grano largo, Nato grano medio, arroces BHR y SHR; notar la pubescencia típica de los arroces rojos. Abajo de izquierda a derecha. Arroces SHR y BHR con y sin cáscara. El SHR es un tipo de grano 13
4. Variación de los fenotipos RR comparados con la variedad Starbonnet. En cada fila la variedad Starbonnet está a la izquierda y el fenotipo RR a la derecha. A: SHR, 79/8;
B: SHR, R-6; C: BHR, R-13; D: BHR, R-1; E y F: segregaciones RR. 25
5. Variación típica en las espiguillas (semilla) entre fenotipos BHR (arriba) y SHR (abajo). 26
6. Variación de las características de la espiguilla (semilla) de 21 de las progenies producidas por la segregación de 79/16 (R-16) recolectada en 1979. 27
7. Líneas de RR tipo Starbonnet (SB) desarrolladas por selección de la segregación de la progenie de 78/21. Arriba, de izquierda a derecha: panojas no desgranadoras de dos líneas de RR y SB. Abajo, de izquierda a derecha: SB, dos líneas glabras de RR y una línea pubescente. 28
8. Variación de las características de la espiguilla de la progenie de las segregaciones de las entradas 78/21 y 79/16 recolectadas en arrozales de Starbonnet en Mississippi, en 1978 y 1979. Notar la variación en largo del grano, color de la cáscara y aristas 29
9. Variación en el largo del grano, aristas y color en arroz con pericarpio blanco y cáscara negra de poblaciones segregantes. 29
10. Variación en el largo del grano, aristas, tipo de espiguilla y color del pericarpio de la progenie segregada de la entrada 78/21 recolectada en un campo de arroz en Mississippi en 1978. Notar la variación en largo de grano de corto a extra largo. 30
11. Tipos de granos de arroz maleza (arroz rojo) en Arkansas, Estados Unidos de América, recolectadas entre 2002 y 2003. 31
12. Tipos representativos de arroz maleza en Arkansas, EE.UU.A.
A: bajo, compacto; B: bajo, abierto; C: alto intermedio, compacto; D: alto intermedio, abierto; E: alto, compacto;
F: alto, dosel foliar abierto. 32
13. Fenotipo típico F1 de híbridos entre arroz Clearfield y arroz rojo. A pesar del parental de arroz rojo, las plantas F1 son generalmente más altas, más vigorosas y más erectas, comparadas con el parental de arroz rojo. 44

-
14. Fenotipos esperados de cruzamiento entre arroz Clearfield resistente a herbicida y arroz rojo de cáscara pajiza. (A) fenotipo F1; (B) y (C) segregación de plantas F2 en un amplio rango de alturas y períodos de madurez. Una planta extremadamente temprana y 45
 15. Arriba: desgrane de cuatro fenotipos RR comparados con la variedad Starbonnet no desgranadora (a la izquierda). Abajo: vigor del RR manifestado en la producción de tallos comparado con la variedad Starbonnet (centro). 48
 16. Las dos filas superiores: una muestra de la diversidad de los RR en características de altura de planta, follaje y panoja comparados con variedades cultivadas. A) izquierda a derecha: Nato, Lemont, SHR semienano, Starbonnet similar a RR y SHA- SHR. B) izqu 102
 17. A) pequeña descascaradora de arroz usada en los laboratorios de semillas para examinar las muestras e investigar la presencia de arroz rojo. B) muestra de semillas con cáscara. C) muestra de semillas sin cáscara. 111
 18. Arriba: cariósides inmaduros (semillas) sospechados de ser arroz rojo pero sin ninguna pigmentación discernible en el pericarpio (semillas de pericarpio rojo y blanco se muestran en el centro para su comparación). Abajo: la prueba de KOH para la identific 112

Agradecimientos

La Dirección de Producción y Protección Vegetal (AGP) de la FAO desea agradecer a James C. Delouche, Profesor Emérito de la *Mississippi State University*, Estados Unidos de América, autor principal de esta obra, por su interés y disponibilidad para liderar el trabajo de colección y colación de información así como la redacción y preparación de esta publicación. AGP también extiende sus sinceros agradecimientos a los coautores, Profesora Nilda R. Burgos (*University of Arkansas*, Estados Unidos de América), a David Gealy (*United States Department of Agriculture, Agricultural Research Services*, Estados Unidos de América), Gonzalo Zorrilla de San Martín (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Uruguay), Ricardo Labrada (Servicio de Protección Vegetal, FAO) y Michael Larinde (Servicio de Semillas y Recursos Fitogenéticos, FAO) quienes aportaron muchas horas de su tiempo para proporcionar información completa y actualizada en el tema. Su dedicación, conocimientos y experiencia han sido fundamentales para la realización de esta publicación.

También se deben reconocer las contribuciones básicas de disertaciones y tesis de estudiantes graduados de la *Mississippi State University* sobre investigaciones que llevaron a cabo para sus estudios, la mayoría de las cuales no han sido publicadas. Debemos mencionar especialmente los trabajos de A.C.S.A. Barros, M.J. Constantin, A.A. Do Lago, E.F. Eastin, E. García-Quiroga, L.G. Howard-Kandakai, M.A. Larinde, O.J. Moreno, J.A. Noldin, K. Paquiot, N. Pitty, V.K. Shrivain, E.N. Stiers, T. Teekachunhatean, R.D. Veras y K. Wague. Es necesario además reconocer la contribución de K.D. Gordon para la elaboración en el ordenador de la mayoría de las tablas, figuras y material fotográfico.

El documento fue circulado para su revisión a Nguu Nguyen y Elcio Guimaraes (FAO/AGPC), Tom Osborn y Robert Guei (FAO/AGPS) cuyos comentarios han sido debidamente apreciados.

Es necesario agradecer el apoyo continuo ofrecido por Shivaji Pandey, Director, Dirección de Producción y Protección Vegetal (FAO) y por Arturo Martínez, Jefe, Servicio de Semillas y Recursos Fitogenéticos (FAO).

Finalmente deseamos reconocer la traducción al español y la edición de esta versión por Cadmo Rosell, la preparación y formatación del texto final por Lynette Chalk y la asistencia administrativa de Liliana Lazzarini.

Prefacio

Los arroces maleza, especialmente los tipos con pericarpio rojo, son conocidos en todo el mundo como un problema en la agroindustria del arroz. Los problemas económicos y ambientales que presentan incluyen aquellos relacionados con la producción de arroz, el procesamiento comercial del arroz, las normas cuarentenarias y el comercio de semillas. Cada uno de los participantes en la industria del arroz tiene una percepción diferente del problema causado por el arroz maleza. Por ejemplo, los granos rojos reducen el valor comercial del arroz comercializado. El arroz rojo, en muchos países y en varios programas de certificación de semillas, incluyendo el esquema OECD, es un sujeto de cuarentena vegetal.


Varios sectores interesados, nacionales e internacionales, incluyendo instituciones públicas y privadas reconocen que los arroces maleza son una plaga seria que necesita esfuerzos coordinados y cooperativos para su debido control. En este contexto, la 21ª Sesión de la Comisión Internacional del Arroz, en el 2004, observó *inter alia* que: i) el arroz maleza, que es un producto de la hibridación natural entre variedades cultivadas y arroz salvaje emparentados, ha llegado a ser un serio problema debido a la amplia adopción en varios países de la siembra directa como resultado de la escasez de mano de obra y los altos costos de producción y, ii) el arroz maleza no es de fácil control dado que es una maleza que tiene el mismo genoma del arroz cultivado. Normalmente, la mejor forma de combatir el arroz maleza es por medio del uso de semillas de arroz limpias y del tratamiento presiembra –por ejemplo, falsa cama de semillas, remoción mecánica del arroz maleza germinado o, en algunos casos, uso de un herbicida adecuado antes de la siembra.

Sobre el control de los arroces maleza, la Comisión Internacional del Arroz notó que los principales problemas relacionados con el manejo de malezas son la resistencia a los herbicidas y sus cambios específicos, la mitigación del flujo de genes del arroz cultivado con características de arroz maleza, la deriva de los herbicidas, la escasez de agua (el problema más serio), la aparición de un complejo de malezas acuáticas incluyendo especies invasoras y los costos de los insumos. En conclusión, la Comisión recomendó que *...estrategias integradas y diversificadas para el manejo de las malezas deberían ser desarrolladas urgentemente para la producción sostenible de arroz bajo el ambiente cambiante de altos costos de la mano de obra, el incremento de la adopción de la siembra directa para el establecimiento del cultivo y la escasez de agua.*

Esta publicación es propuesta por la Dirección de Producción y Protección Vegetal (AGP) de la FAO como un compromiso a las actividades dirigidas a satisfacer el mandato institucional en lo que hace a la difusión de información técnica agrícola de alto valor usando su amplia capacidad técnica y los acuerdos con sus asociados. La publicación proporciona las últimas informaciones disponibles sobre el origen, biología, ecología y control de los arroces malezas con la esperanza de proporcionar las bases para estrategias para el control de este problema. AGP está utilizando su asociación con reconocidos expertos, académicos de renombradas universidades y de la red de colaboradores de la FAO para recolectar información valiosa que pueda fortalecer la capacidad de los interesados para enfrentar los problemas creados por el arroz maleza y, por lo tanto, ayudarlos a satisfacer los altos estándares del comercio mundial del arroz.

Estamos agradecidos al autor principal, James C. Delouche, Profesor Emérito de la *Mississippi State University*, Estados Unidos de América, por su sobresaliente

contribución a esta publicación basada en más de 40 años de experiencia en el área de tecnología de semillas y su trabajo pionero en estudios detallados de las especies de arroz rojo. Del mismo modo, deseamos agradecer sinceramente a Nilda Burgos, Profesora Asociada de Fisiología de las Malezas, *University of Arkansas*, y a su colega David Grealy, *United States Department of Agriculture*, por su contribución a esta publicación. También reconocemos igualmente a Gonzalo Zorrilla de San Martín.



Shivaji Pandey

Director

Dirección de Producción y Protección Vegetal

Lista de siglas

ACA	Asociación de Cultivadores de Arroz
AOSA	<i>Association of Official Seed Analysts</i>
AOSCA	<i>Association of Official Seed Certificaton Agencies</i>
BLK	Arroz rojo de cáscara negra
BLKH	Arroz rojo de cáscara negra, arista larga
BrHR	Arroz rojo de cáscara marrón (o bronceada)
DAP	Días después de la siembra
DNA	Ácido desoxirribonucleico
ECA	Escuelas de Campo para Agricultores
GA	Ácido giberélico
GD	Distancia genética
GMA	Gremial de Molinos Arroceros
HYV	Variedad de alto rendimiento
IMI	Imidazoline
INASE	Instituto Nacional de Semillas
INIA	Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias
IRRI	<i>International Rice Research Institute</i>
KOH	Hidróxido de potasio
NRRC	<i>National Rice Research Center</i>
OECD	Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo
PP	Pentosa fosfato
PVC	Cloruro de polivinilo
RAPD	ADN polimórfico amplificado al azar
RR	Arroz rojo
SHA-	Arroz rojo de cáscara pajiza mútica
SHA+	Arroz rojo de cáscara pajiza de arista corta
SHR	Arroz rojo de cáscara pajiza
SSR	Repetición de secuencia única
USDA	<i>United States Department of Agriculture</i>

Capítulo 1

Introducción

Los arrozces maleza de varias especies de *Oryza* son conocidos desde hace miles de años en vastas áreas cultivadas con arroz en Asia donde han sido satisfactoriamente controlados en los sistemas de arroz trasplantado e inundado. Estos arrozces maleza y otros introducidos como contaminantes con variedades de alto rendimiento de *Oryza sativa* -o producidos por cruzamientos con estos- se convierten en un problema serio en los países en los que la siembra directa está reemplazando al trasplante del arroz en una o más de una siembra en los sistemas de siembras múltiples. A medida que esas tendencias tienden a continuar y a acelerarse, el problema de los arrozces maleza se difunde y se vuelve cada vez más importante. Del mismo modo, en África, donde el arroz ocupa el segundo lugar en antigüedad de cultivo después de Asia, varias especies endémicas de *Oryza*, por ejemplo, *O. barthii*, *O. longistaminata* y *O. punctata* han sido durante mucho tiempo malezas infestantes en la producción de *O. glaberrima*, el arroz cultivado en África. Sin embargo, como ocurre en Asia, se están convirtiendo en malezas muy serias y casi imposibles de controlar en los sistemas de producción mecanizada de siembra directa en varios países de África occidental y subsahariana. Más aún, *O. sativa* está reemplazando a *O. glaberrima* como el principal arroz cultivado en muchos de esos países y otros arrozces maleza están emergiendo como contaminantes al ser incorporados con semillas introducidas u originadas en cruzamientos de tipos de arroz cultivado con tipos de arrozces maleza.

En América y Europa, donde el cultivo de arroz es históricamente más reciente, los arrozces maleza fueron introducidos como contaminantes con las semillas y se han desarrollado tipos nuevos y diferentes como consecuencia de su cruzamiento con los tipos cultivados. En las áreas en las que desde un principio ha predominado la siembra directa como en los Estados Unidos de América y otros países de América Latina y el Caribe o en los que esta ha sido dominante en los últimos 30-40 años como en el sur de Europa y la región del Mediterráneo, los tipos más importantes y dañinos de arrozces maleza son los *arrozces rojos*, variedades de *O. sativa* con características de arrozces maleza y granos con pericarpio rojo. En estas y otras áreas de producción de arroz de siembra directa, las infestaciones con arroz rojo son consideradas por los productores y procesadores de arroz, los investigadores y los extensionistas, como las más difíciles de manejar y económicamente las más perjudiciales. Sin embargo, líneas seleccionadas de arroz con pericarpio rojo son mantenidas y producidas en algunos países de Asia como un alimento para ceremonias particulares (Vivekanandan *et al.*, 1979) mientras que en el valle de la Artibonita en Haití selecciones de arroz rojo han sido cultivadas para obtener alimento utilizado en el destete de los niños (Delouche y Dougherty, 1973).

Con motivo de la rápida difusión e incremento del problema cada vez más serio de infestación de malezas en uno de los cultivos alimenticios más importantes del mundo, se llevó a cabo en Varadero, Cuba, del 30 de agosto al 3 de septiembre de 1999, un Taller Global sobre Control de Arroz Rojo, bajo el patrocinio y la orientación de la FAO. El Taller contó con la participación de 33 especialistas de 19 países que discutieron la situación actual de los arrozces maleza en los respectivos países, la efectividad de distintas medidas de control e intercambiaron información sobre el tema. El Taller formuló 21 conclusiones y recomendaciones, algunas de carácter técnico, otras de tipo socioeconómico y otras relacionadas con la falta de recursos educativos y de

información sobre el problema del arroz maleza. El informe del Taller está enfocado a las limitaciones educacionales y de información discutidas por los participantes en el Taller y por muchos otros especialistas de arroz en todo el mundo.

Capítulo 2

El problema de los arroces maleza

El arroz (*Oryza sativa* L.) es una especie de origen asiático y, específicamente, se considera que China es el centro de diversidad (Vaughan *et al.*, 2005). Las especies de arroces maleza y las especies cultivadas de arroz han evolucionado a partir de formas salvajes de *Oryza*. De las 21 especies salvajes de *Oryza*, nueve son tetraploides (BBCC, CCDD) mientras que el resto son diploides (Khush, 1997). La diversificación en distintos grupos de *Oryza* probablemente ocurrió en China hace cerca de 8 000 años. Las especies silvestres *O. rufipogon*, *O. nivara*, *O. glumaepatula*, *O. meridionalis* y las especies cultivadas *O. sativa* y *O. glaberrima* pertenecen al conjunto diploide de genes (genomio AA) y, por lo tanto, se pueden hibridar entre sí. Se considera que *O. sativa* ha evolucionado a partir de *O. nivara* la cual a su vez evolucionó a partir de la especie salvaje *O. rufipogon*. El arroz cultivado *O. sativa* evolucionó a tres tipos: *indica*, *japonica* y *javanica*. La domesticación en varias regiones climáticas de Asia resultó en la evolución de dos tipos de *japonica* tales como el tipo tropical de *japonica* actualmente cultivado en el sur de los Estados Unidos de América y un tipo de *japonica* de zona templada, como los tipos cultivados en Japón y en California (Estados Unidos de América). *O. glaberrima* y otros tipos cultivados de *Oryza* son nativas de África y continúan siendo un cultivo importante en África Occidental.

Los arroces maleza, especialmente los tipos con pericarpio rojo, son bien conocidos por los agricultores, los abastecedores de insumos para la producción, incluyendo las instituciones crediticias, los molineros, los comerciantes de arroz con o sin cáscara, los agrónomos y otros especialistas involucrados en la industria arrocera en las áreas de siembra directa donde constituyen un serio problema. Hay, por supuesto, diferencias importantes en el significado y la importancia de los arroces maleza entre esos actores de la industria, sobre todo en el caso de los tipos dominantes de pericarpio rojo. Para los agricultores, los arroces maleza son una maleza agresiva difícil de controlar que incrementa los costos de producción, reduce los rendimientos y el valor comercial de su cultivo y que, cuando no es correctamente controlado, puede llevar a que el campo infestado sea retirado de la producción de arroz. Los comerciantes y los molineros lo consideran como un factor negativo de calidad que puede tener un gran impacto sobre los costos y erosionar sensiblemente las ganancias y la reputación comercial cuando no es debidamente reconocido y tomado en consideración en decisiones de compra y procesamiento. Los abastecedores de insumos para la producción deben tomar precauciones especiales para producir y comercializar semillas de arroz que no estén contaminadas con arroces maleza y para los agrónomos y otros especialistas involucrados en trabajos de extensión, investigación y otras actividades relacionadas, los arroces maleza son un desafío excepcional que es sumamente difícil de resolver pero muy fácil de reiterarse. Estas percepciones diferentes del problema de los arroces maleza reflejan los intereses de los distintos sectores y son consideraciones en una sola dimensión de un problema multidimensional de una maleza que produce a su vez un problema también multidimensional.

LOS ARROCES MALEZA

Los arroces maleza pueden ser amplia y genéricamente definidos como plantas del género *Oryza* que infestan y compiten con el arroz y con otros cultivos alternativos.

De los arroces maleza, el arroz maleza rojo es el tipo más perjudicial y dominante. Puede ser definido de manera más concisa y concreta de acuerdo con el significado que tiene para el procesador, el comerciante y el consumidor, como un tipo de arroz maleza que produce granos con un pericarpio (afrecho) netamente rojo o rojizo, a diferencia del pericarpio color canela o beige típico de las variedades cultivadas (Cragmiles, 1978). El pericarpio rojo es la característica principal que distingue el arroz rojo de otras variedades de arroces maleza y que lo convierte en una maleza más perjudicial y costosa debido al importante castigo comercial que sufre el precio de los granos contaminados.

Botánicamente, los tipos de arroces maleza, incluyendo el arroz rojo, son clasificados por muchos especialistas como *Oryza sativa*, tal como el arroz cultivado más importante. En el pasado, algunos especialistas consideraron el arroz rojo como *Oryza rufipogon* (Knapp, 1899; Stubbs *et al.*, 1904; Quereau, 1920; Kennedy, 1923) o, en algunos casos, como *O. sativa* var. *rufipogon* (Dodson, 1900; Nelson, 1907, 1908). Se cree que el arroz rojo se originó a partir de *O. rufipogon*, una especie asiática perenne de arroz salvaje (Watt, 1891) que fue el progenitor de *O. nivara*, una especie anual, la cual, a su vez, fue el progenitor de *Oryza sativa* (Singh y Khush, 2000). Es interesante notar que Vaughan *et al.* (2001) recolectaron ecotipos de arroz rojo en la zona sur de los Estados Unidos de América para analizar con marcadores de secuencia de repetición simple SSLR y encontraron que mientras la mayoría de los tipos de arroz rojo estaban estrechamente relacionados a *O. sativa* tipo *indica* u *O. sativa* tipo *japonica*, algunos estaban estrechamente relacionados con *O. rufipogon* y tal vez con *O. nivara*. Como se mencionó anteriormente, *O. rufipogon*, *O. nivara* y otros pocos *Oryza* spp., arroces maleza de *O. sativa* con el genotipo AA, por ejemplo, diploides con 12 pares de cromosomas, se pueden cruzar con *O. sativa* cultivado (Sitch, 1990). Si bien las variedades de *O. sativa* incluyendo el arroz rojo y otros arroces maleza son consideradas autofecundas, son genéticamente compatibles y existe algún grado de cruzamiento entre ellas. Esta hibridación natural es responsable por la gran diversidad de las poblaciones de arroz rojo en todo el mundo. El desarrollo de variedades de arroz resistentes a los herbicidas actualmente disponibles en el mercado proporciona una tecnología poderosa para el control efectivo y económico del arroz rojo pero esta tecnología también ofrece una oportunidad indeseable para una mayor diversificación del arroz rojo con tipos resistentes a los herbicidas. Este tema importante y de actualidad es discutido en los Capítulos *Diversidad de las poblaciones de arroz maleza* y *Estrategia para controlar los arroces maleza*.

Algunas otras especies de *Oryza* son malezas importantes en varias zonas del cultivo del arroz. La especie endémica *O. latifolia* es una maleza pertinaz en los arrozales de América Central y otros países en el Golfo de México y el Mar Caribe. En Italia y otras áreas del Mediterráneo el arroz rojo es generalmente clasificado como *O. sativa* var. *sylvatica* (Ferrero y Vidotto, 1999; Vidotto y Ferrero, 2005). Los arroces maleza en África Occidental, algunos con pericarpio rojo, pertenecen a *O. barthii*, *O. longistaminata* (perenne), *O. punctata*, *O. glaberrima* -una especie africana endémica cultivada- y la especie introducida *O. sativa*.

Agronómicamente, los arroces maleza se definen en términos descriptivos que son más significativos para los productores de arroz, los molineros y los especialistas de la producción, por ejemplo:

- Los arroces maleza consisten en *poblaciones* de malezas del género *Oryza*, principalmente de *O. sativa* y predominancia del pericarpio rojo que son fenotípica y genéticamente diversos e intercambiables, muy vigorosos y competitivos, sumamente difíciles de controlar, capaces de difundirse rápidamente y que pueden reducir tanto el rendimiento del cultivo como el valor del grano (Sonnier, 1978; Huey y Baldwin, 1978). La mayoría de las poblaciones, conocidas como ecotipos,

biotipos o fenotipos son tan estables como las variedades cultivadas. Sin embargo, unas pocas son esencialmente grupos híbridos producto de cruzamientos de arroz maleza o arroz rojo con arroz cultivado a partir de los cuales se derivan muchos de los nuevos tipos de arroces maleza (Do Lago, 1982; Delouche, 1988).

En el pasado lejano, muchos tipos de arroces maleza fueron generados por cruzamientos naturales entre especies de arroz salvaje y arroz cultivado en áreas en las cuales crecían, o aún crecen, en la misma área sin perder su identidad (Vaughan y Morishima, 2003; Australian Government, 2004). Si bien este tipo de cruzamiento es indudablemente importante en algunas áreas de África y Asia, en otros lugares muchos tipos de arroces maleza surgen en la actualidad de cruzamientos estrechos entre plantas de variedades cultivadas y aquellas de arroces maleza que infestan el cultivo.

Definiciones

En breve, esta publicación utiliza las siguientes definiciones:

- Arroces maleza: plantas del género *Oryza*, principalmente *O. sativa*, que infestan y compiten con los cultivos de arroz y otros cultivos alternativos.
- Arroz rojo: un tipo de arroz maleza, principalmente *O. sativa*, con el pericarpio pigmentado de rojo; es el tipo de arroz maleza dominante, pertinaz y económicamente más perjudicial.
- Arroz salvaje: especies del género *Oryza*, incluyendo los progenitores de los dos arroces cultivados que crecen sobre todo en áreas no labradas. Sin embargo, algunos arroces salvajes, especialmente aquellos del complejo de *O. sativa* (AA) (*O. rufipogon*, *O. barthii* y *O. longistaminata*) y tres especies del complejo de *O. officinalis* (*O. punctata*, *O. latifolia* y *O. officinalis*) se han convertido en especies invasoras y malezas muy pertinaces en el arroz y en otras áreas cultivadas.
- Arroz silvestre: un tipo de arroz producido por un proceso de de-domesticación a partir de las especies cultivadas que pueden tener características de malezas.

EL PROBLEMA DE LOS ARROCES MALEZA

Los arroces maleza son un problema que se difunde. Han sido, son actualmente, o están convirtiéndose en un serio problema en todo el mundo en que el arroz se siembra en forma directa.

América

La siembra directa ha sido desde hace mucho tiempo el método principal de siembra del arroz en todo el continente americano. En los Estados Unidos de América, las infestaciones de arroz rojo en los arrozales en los estados de Carolina del Norte y Carolina del Sur fueron citadas ya en informes del año 1846 (Allston, 1846). Se cree que el arroz rojo fue introducido en el país bastante antes como un contaminante de la semilla de arroz importado. Cierta información indica que la primera variedad de arroz fue introducida en los que son ahora los estados de Carolina del Sur y Carolina del Norte procedente del subcontinente hindú. Se cree que una introducción posterior de una variedad o tipo diferente de arroz llegó desde Madagascar (Stubbs *et al.*, 1904; Craigmiles, 1978). A medida que se expandió el cultivo del arroz y en búsqueda de mejores variedades se importaron semillas de otros países, incluyendo Japón. La producción de arroz gradualmente abandonó las tierras húmedas o cubiertas por las mareas de aquellos estados, cambió hacia el sur y, posteriormente, a California. En 1899, los estados de Carolina del Sur, Carolina del Norte, Georgia, Louisiana y Arkansas eran productores de arroz y ya en ese entonces los arroces maleza eran



J.C. DELOUCHE, 1986

Lámina 1
Arroces típicos recolectados en Mississippi, Estados Unidos de América, en 1978 y 1979: cáscara color pajizo-rojo (SHR) (arriba) y cáscara color negro-rojizo (BHR) (abajo). Notar las panojas laxas y abiertas y las espiguillas (semillas) alineadas como cuentas en las ramillas. Las semillas se aprecian en las inserciones.

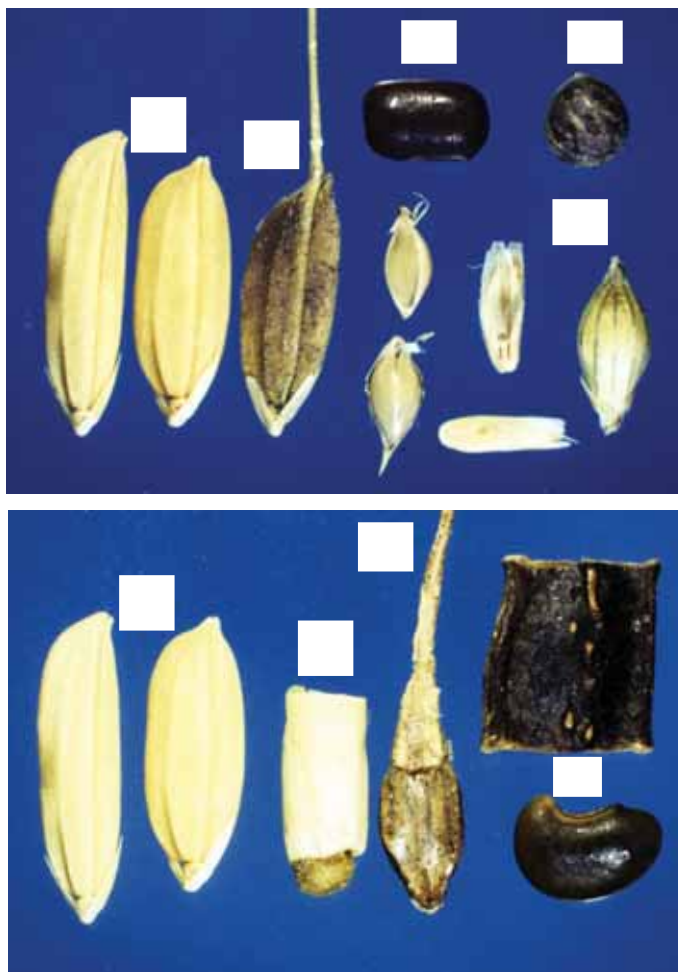
un problema importante. Dodson (1898) publicó el primer informe detallado sobre el arroz maleza rojo en los Estados Unidos de América en un boletín técnico ilustrado. En los dos primeros párrafos del boletín resume el problema del arroz maleza rojo indicando que era tan importante para los agricultores actuales como lo fue para aquellos en Louisiana hace un siglo: «Todos los sembradores de arroz en Louisiana conocen el arroz rojo ya que este crece en el campo. En muchos casos, y contra su voluntad, están frecuentemente enfrentados con ese desagradable grano que ocurre con tanta frecuencia que el cultivo del arroz tiene que ser abandonado por un cierto período en vista de su predominio».

Dado que no hay formas parentales salvajes ocurriendo naturalmente en América del Norte, la única explicación plausible para la existencia de arroces maleza en los campos de producción de arroz a mediados del siglo XIX o antes es que fueron introducidos como contaminantes en semillas importadas, probablemente de India o Japón, o de ambos países. Indudablemente, las líneas de arroces maleza de Brasil, China (área del alto

Río Yangtze), Japón y los Estados Unidos de América pertenecen al mismo grupo llamado «simuladores», con características de tipo *indica* (Tang y Morishima, 1996). Mientras que la mayoría de los arroces rojos presentes hoy día en los Estados Unidos de América corresponden a la categoría de simuladores, estudios recientes (Vaughan *et al.*, 2001) sugieren que los tipos de arroces maleza tipo *japonica* también están presentes. Durante muchos años, más de 100 en algunos casos importantes, el arroz rojo ha sido una importante maleza en todos los principales estados productores de arroz de los Estados Unidos de América, como Arkansas, Louisiana, Mississippi, Missouri y Texas, con la excepción de California. Sin embargo, el arroz rojo también fue una importante maleza en California entre las décadas de 1920 y 1950 (Kennedy, 1923; Bellue, 1932); a partir de la última fecha fue sobrepasado en importancia por la *Echinochloa crus-galli* (Randall, 1950). Desde entonces el arroz rojo aparentemente ha sido virtualmente eliminado de los arrozales de ese estado por medio de la adopción del sistema de siembra en el agua, el uso de herbicidas apropiados y el uso de semillas certificadas de arroz libres de arroz rojo. Plantas y semillas de tipos de arroz rojo de cáscara de color pajizo y de cáscara de color negro del área arrocería del sur de los Estados Unidos de América se presentan en la Lámina 1. Las semillas de malezas comunes, incluyendo el arroz rojo, de los arrozales de los Estados Unidos de América son difíciles de separar de las semillas del arroz y, por lo tanto, ocurren como contaminantes en las semillas del

arroz; en la Lámina 2 se comparan con semillas de arroz de variedades de grano medio y largo.

El arroz fue introducido en el área del Caribe aún antes que en la zona continental de América del Norte. La primera referencia sobre un cultivo exitoso de arroz proviene de Puerto Rico en 1535 (Lentini y Espinoza, 2005). El arroz también fue introducido en México y Perú por los colonizadores españoles alrededor de 1549, más de un siglo antes de su introducción en el sur de los Estados Unidos de América. Los otros arrozces maleza, incluyendo el arroz rojo, han estado presentes en el Caribe y en el resto de América por largo tiempo; cuando el cultivo de arroz adquirió cierta importancia, las semillas para la siembra se importaron de otros países, incluyendo los Estados Unidos de América. El arroz rojo fue aparentemente introducido en Venezuela en semillas de arroz importadas desde los Estados Unidos de América a mediados de la década de 1940 (Domínguez, 1999) mientras que en Cuba fue probablemente introducido en semillas de arroz procedentes del mismo país durante la intensificación del cultivo del arroz en 1927 o, probablemente antes, desde España durante el período colonial (García de la Osa y Rivero, 1999).



J.C. DELOUCHE, 1988

Lámina 2
Semillas de malezas contaminantes comunes en arroz cosechado mecánicamente en los Estados Unidos de América. Arriba: A – arrozces de grano medio y grano largo; B – BHR; C – *Sesbania exaltata*; D – *Caperonia castaneifolia*; E – especies de malezas de *Poaceae*. Abajo: A – arrozces de grano medio y grano largo; B – *Rottboellia cochinchinensis*; C – *Rhynchospora* spp.; D – *Aeschynomene virginica*, con y sin cáscara.

La extensión y severidad del problema del arroz rojo en los informes de los países americanos en el Taller Mundial sobre Control de Arroz Rojo (FAO, 1999) presentó una cierta variabilidad entre el grado de las infestaciones, desde ligeras a severas, tanto en áreas dentro de los países como entre los países en los que el cultivo del arroz tiene una cierta importancia. Noldin y Cobucci (1999) indicaron que la infestación con arroz rojo es un problema muy importante en el estado de Río Grande do Sul que abarca la mayor área de cultivo de arroz de Brasil. Los autores citaron el uso de semillas de arroz contaminadas con arroz rojo como el principal factor que contribuye a la difusión inicial de las infestaciones y a las reinfestaciones posteriores. Fischer (1999) señaló que el problema es más serio en las áreas tropicales de América Latina donde los arrozales deben ser drenados después de la siembra directa con lo que se impide el establecimiento de condiciones anaeróbicas en la cama de semillas efectivas para prevenir la germinación del arroz rojo como ocurre, por ejemplo, en el transplante y en los sistemas de siembra en agua. La monocultura, dos siembras anuales de arroz en el mismo campo y el uso de semillas de arroz contaminadas con arroz rojo dan lugar a

«infestaciones perpetuas del campo» que se incrementan progresivamente hasta obligar en algunos casos a abandonar los campos.

Si bien el arroz rojo en muchos países no es aún la maleza más perjudicial, con la adopción de variedades semienanas de ciclo más corto aumenta continuamente su importancia y en varios lugares es considerada entre las tres o cuatro malezas más importantes. Más aún, la naturaleza del problema de las malezas y las dificultades para su control tuvieron o tienen una fuerte influencia sobre las prácticas culturales, especialmente sobre la siembra y el manejo del agua después de la siembra. Algunos países como Costa Rica, Nicaragua y Venezuela han informado sobre problemas con especies endémicas de arroz salvaje como *O. latifolia* de pericarpio blanco, conocido como *arrozón*, mientras que *O. rufipogon* está presente como arroz maleza en Colombia y Venezuela.

Sur de Europa y el Mediterráneo

Los países de esta región no han escapado al problema de los arroces maleza. Según Vidotto y Ferrero (2005), algunos tipos de arroces maleza que desgranar ya eran conocidos en los arrozales de Italia al inicio del siglo XIX. Desde entonces los arroces malezas han subsistido y se han difundido de tal manera que hoy día son una de las limitantes más importantes para el cultivo del arroz. La adopción del método de trasplante entre 1920 y 1960 retardó la difusión de los arroces maleza y redujo el daño a los cultivos.

Desde el comienzo del siglo XX los arroces maleza en Europa han sido clasificados como *Oryza sativa* var. *sylvatica*. Según Ferrero y Vidotto (1999) los arroces maleza de grano rojo empezaron a ser considerados como una maleza importante cuando la siembra directa reemplazó al trasplante hace cerca de 50 años. Referencias citadas por Eastin (1979) indicaron que el arroz rojo se convirtió en un problema importante en los países arroceros de Europa del Este como Bulgaria y Hungría ya a inicios de la década de 1960; en los últimos 25 o 30 años se han convertido en un serio problema con la adopción de variedades de arroz «débiles», semienanas de tipo *indica* y con la monocultura del arroz.

En Portugal las pérdidas en los cultivos causadas por infestaciones de arroces maleza pueden llegar a 50 por ciento de la producción (Da Silva *et al.*, 1999) mientras que en España, en las cuatro principales regiones productoras de arroz, las infestaciones de arroces maleza varían desde muy limitadas a muy fuertes (Barreda *et al.*, 1999). Cerca de 20 000 hectáreas de arroz se cultivan en el valle del Ródano, en el sudeste de Francia (Mouret, 1999); las malezas son la principal limitante de la producción y entre ellas el arroz rojo puede ser la más dañina llegando a causar pérdidas de rendimiento de hasta el 50 por ciento. Las estrategias empleadas por los agricultores para controlar el arroz rojo son diversas y varían desde las prácticas tradicionales de control de malezas hasta el uso de herbicidas y rotaciones de cultivos.

Asia

Oryza rufipogon, un arroz salvaje perenne con pericarpio rojo, es endémico en el sur y sureste de Asia. Como se mencionó anteriormente, es considerado uno de los antecesores del tipo *sativa* (AA) de arroces cultivados, por ejemplo, tipo *indica*, *japonica* y *javanica*, y muy probablemente es el donante del pericarpio rojo que es la característica común de los arroces maleza así como de las líneas de arroz rojo cultivados en Asia para ceremonias y otras ocasiones especiales. Sin embargo, en el marco de la enorme producción de arroz de Asia, los arroces maleza no son el

problema más importantes de malezas en razón de que predomina el cultivo de arroz inundado y trasplantado. El cultivo del arroz con trasplante se inició hace miles de años para obtener beneficios importantes, incluyendo el control de malezas. La preparación del suelo por medio del amasado con la retención de una película de agua sobre la superficie destruye las plántulas de malezas que han emergido y da lugar a condiciones anaeróbicas desfavorables para la germinación de las semillas de malezas; además, el trasplante de plántulas de arroz relativamente bien desarrolladas proporciona al cultivo de arroz una ventaja competitiva que facilita la identificación del arroz maleza y de plántulas de otras malezas durante las operaciones de control de malezas posteriores al trasplante.

Sin embargo, últimamente, el sistema de siembra directa ha sido adoptado en algunos países asiáticos y en ellos los arrozces maleza se han convertido en una maleza importante. Los arrozces maleza son el principal problema de malezas en el cultivo del arroz en varios países asiáticos como Corea del Sud, Filipinas, India, Malasia, Sri Lanka, Tailandia y Viet Nam. Las plantas y las semillas de los arrozces maleza son morfológicamente similares a las del arroz cultivado con el que comparten un grupo genético común y tienen un desgrane fuerte y temprano y características que los hacen difíciles de controlar una vez que se han establecido. El impacto de los arrozces maleza varía desde pérdidas de rendimiento del arroz cultivado de cinco hasta 86 por ciento hasta el abandono de las tierras arroceras debido a las severas infestaciones. La incidencia y difusión de los arrozces maleza se incrementa con la siembra directa y existe una fuerte tendencia en muchos países de Asia de favorecer la siembra directa debido a la escasez y alto costo de la mano de obra, extendiendo así las áreas infestadas con arrozces maleza e incrementando la severidad de las infestaciones.

El área afectada por el problema del arroz maleza es variable según los países. En Tailandia hay más de dos millones de hectáreas seriamente afectadas por los arrozces maleza y en el delta del Río Mekong, en Viet Nam, hay más de 500 000 hectáreas infestadas por el mismo. Filipinas, Malasia y Sri Lanka tienen áreas importantes afectadas ya que año a año se incrementa el área bajo siembra directa. Es probable que el incremento de la siembra directa en los arrozales de Asia resulte en el aumento de los arrozces maleza a la posición de la maleza más pertinaz y difícil de combatir.

La rápida emergencia de los arrozces maleza o *padi angina*, en el noroeste de Malasia, como consecuencia de la adopción de la siembra directa en la década de 1980, es un caso que merece ser citado (Vaughan *et al.*, 2005). En Viet Nam el trasplante del cultivo está ampliamente difundido y es dominante en la zona norte mientras que en el sur, más del 90 por ciento del área es sembrada directamente (Chin *et al.*, 1999). En la zona norte se obtienen solo dos cultivos por año debido a los inviernos fríos pero en la zona sur se obtienen tres y, en algunas áreas, hasta cuatro cultivos anuales. En el caso de los tres cultivos anuales, uno o más de los cultivos pueden ser trasplantados. La infestación con arrozces maleza es menor en el arroz trasplantado y es más severa en los casos de siembra directa o siembra en seco. La mayor parte de los arrozces maleza de Viet Nam, pero no todos ellos, tiene pericarpio rojo. Las pérdidas medias en las áreas infestadas son de alrededor de 15 por ciento pero en algunos casos pueden alcanzar el 70 por ciento. La percepción de los agricultores acerca del origen de los arrozces maleza expresadas en varias encuestas revelan que 36,5 por ciento creen que evolucionan a partir del arroz cultivado, 32,3 por ciento creen que emergen de bancos de semillas en el suelo y 13,7 por ciento creen que son introducidas como contaminantes de las semillas.

África

Los arrozces maleza son malezas importantes en las áreas productoras de arroz de África Occidental y al sur del Sahel. Las observaciones indican que cerca del 50 por

ciento del área sembrada con arroz en Senegal está infestada con biotipos de arroces maleza (Diallo, 1999). Si bien los arroces maleza se conocen en Senegal desde hace mucho tiempo, recientemente se convirtieron en un problema importante con la expansión, intensificación y comercialización del cultivo del arroz y el reemplazo de las prácticas tradicionales con aquellas que invariablemente acompañan esa transición, o sea, nuevas variedades, riego, mecanización y, muy importante, el concepto de la calidad del producto en la comercialización. Algunos de los biotipos de arroces maleza de pericarpio rojo encontrados en Senegal y en otras áreas productoras de arroz de África Occidental son diferentes de aquellas encontradas en otras partes del mundo. La especie anual *Oryza barthii* y los biotipos cultivados de *O. glaberrima* son importantes en esa región. En 1970, durante una visita al área de Bumba a lo largo del Río Congo que en esa época era una importante área de producción y procesamiento de arroz en la República Democrática del Congo (anteriormente Zaire), Delouche (1970) determinó que el abastecimiento de semillas y granos de R66, una variedad obtenida durante el período colonial, estaba fuertemente contaminada con arroz rojo (10 a 35 por ciento). También se observaron fuertes infestaciones de arroz rojo en arrozales implantados bajo el sistema de roza y quema. Un examen de los registros de las plantas de procesamiento indicó que las altas tasas de contaminación con arroz rojo combinadas con la inexperiencia y el escaso mantenimiento de equipos de procesamiento obsoletos redujeron los resultados molineros, especialmente de grano entero que tuvo un promedio de solo cerca 3 por ciento. En Egipto, que es un importante productor de arroz en el Norte de África, los tipos de arroces maleza, incluyendo el arroz rojo, parecen ser más similares a los que se encuentran en América y Asia que a aquellos de África Occidental y subsahariana.

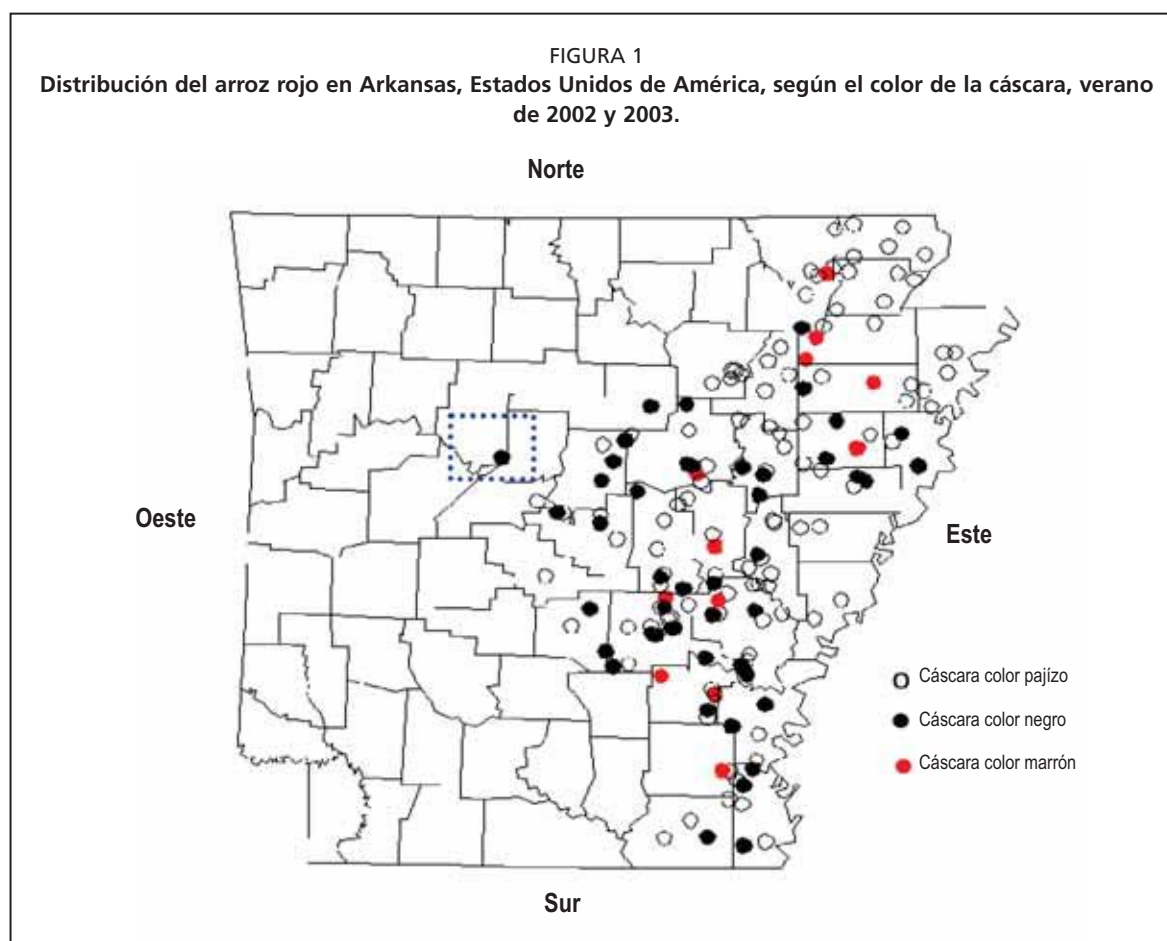
Johnson *et al.*, (1999) informaron que la principal especie de arroz salvaje/arroces maleza en África al sur del Sahel son biotipos de las especies anuales *O. barthii*, *O. glaberrima*, *O. punctata* y la especie perenne *O. longistaminata* que se reproduce principalmente por rizomas. Dos de esas especies de arroces maleza, la anual *O. barthii* y la perenne *O. longistaminata* están entre las cuatro malezas más importantes de África Occidental y del Sahel (Labrada, 1999). En términos generales, la situación del arroz salvaje/arroz rojo en África difiere considerablemente de la situación en otras áreas. Johnson *et al.*, (1999) señalaron que los sistemas de producción en agua poco profunda de los manglares y los sistemas de producción en aguas profundas que cubren cerca del 60 por ciento de la producción de arroz en África varían sensiblemente en el grado de desarrollo de las tierras, el control y el manejo del agua, mientras que sistemas modernos de producción de arroz bajo riego han sido desarrollados en la mayoría de los países. Esta diversidad de sistemas de producción combinada con «la incierta génesis e identidad de los arroces salvajes, la extensión de la introgresión genética con variedades cultivadas y el grado de variación genética y morfológica complican aún más el desarrollo de estrategias de manejo de esas malezas» (Johnson *et al.*, 1999).

ORÍGENES Y FUENTES DE LOS ARROCES MALEZA

Los conceptos más generalmente aceptados acerca del origen y/o la génesis y evolución de los arroces maleza, incluyendo el arroz rojo, se discutieron brevemente en la sección anterior. Olofsdotter, Valverde y Madsen (1999) prepararon una revisión de las relaciones genéticas entre el arroz rojo, los arroces maleza, el arroz cultivado y el arroz salvaje que fue presentada en el Taller Mundial sobre Arroz Rojo (FAO, 1999). El origen y las relaciones taxonómicas de los arroces maleza han sido recientemente revisados en forma cabal por Chang (2003) y Vaughan y Morishima (2003). Sin embargo, los orígenes y/o las fuentes del arroz maleza rojo son bien conocidos.

Semillas contaminadas

Allston (1846) documentó la presencia de tres fenotipos distintos de arroz rojo en los campos de Carolina del Sur y Carolina del Norte, en Estados Unidos de América. Cuatro años más tarde, agrónomos del Departamento de Agricultura del mismo país identificaron cuatro fenotipos distintos de arroz rojo en la misma área (USDA, 1850). Estos primeros observadores, y más tarde otros especialistas, concluyeron que el arroz rojo debería haber sido introducido en el país como un contaminante de la semilla de arroz importada, probablemente mucho antes de 1846 ya que el cultivo del arroz comenzó en la colonia de Carolina del Sur en 1698, o aún antes, con semillas importadas probablemente de Madagascar (Dodson, 1898, 1900; Knapp, 1899; Jones y Jenkins, 1938). Cragmiles (1978) indicó sin calificarlo que «el arroz rojo estaba claramente presente en los arrozales de los colonizadores de los Estados Unidos de América mucho antes que el cultivo de arroz empezara en escala comercial en Texas, Louisiana y Arkansas». La presencia de arroz rojo en el estado de California a inicios de la década de 1900 es una clara evidencia de su introducción como contaminante de las semillas obtenidas en los estados del sur del país (Bellue, 1932). Si bien los arroces rojos fueron prácticamente eliminados del estado de California, han persistido en otros estados productores de arroz debido probablemente a la continua y periódica infestación de las semillas de arroz contaminadas con semillas de arroz rojo. Recientes encuestas en el estado de Arkansas ilustran claramente la importancia de las semillas de arroz contaminadas con arroz rojo como el principal vehículo para la difusión de los arroces maleza (Figura 1). Los arroces rojos fueron encontrados en zonas arroceras del



Fuente: Shrivain y Burgos, sin publicar.

estado de Arkansas, en los condados de Conway y Pope en el valle del Río Arkansas que están geográficamente aislados del resto de otras áreas arroceras del resto del estado. El único nexo entre los condados aislados y el resto del área arroceras es el intercambio de semillas.

Se considera que las fuentes originales del arroz rojo en América Latina y el Caribe son las semillas de arroz importadas de los Estados Unidos de América (Domínguez, 1999; García de la Osa y Rivero, 1999), de España o a través de España desde los Países Bajos, Francia o Portugal y originadas en abastecedores asiáticos para cultivar en las colonias del Nuevo Mundo. Después de su introducción el arroz rojo se difundió a otras áreas por medio del intercambio de semillas.

En Asia y África Occidental los orígenes de los arroces maleza son indudablemente diferentes de los de América y Europa porque son sitios de evolución y domesticación de las dos especies cultivadas de arroz, *Oryza sativa* en Asia y *O. glaberrima* en África. Hay otras especies de arroz salvaje en esas áreas donde el arroz ha sido cultivado durante miles de años, muchas de las cuales son malezas de difícil combate. Sin embargo, las fuentes iniciales y recurrentes de arroz maleza parecen ser esencialmente las mismas que ocurren en América. Por ejemplo, en Viet Nam, los agricultores y los especialistas reconocen la importancia de las semillas de arroz contaminado como una fuente de infestaciones y reinfestaciones de arroz maleza (Chin *et al.*, 1999). Del mismo modo, en África, las semillas de arroz contaminado con arroces maleza compradas o intercambiadas, son consideradas la principal fuente de infestación y reinfestación de los nuevos campos destinados al arroz o de tierras que han estado por largo tiempo libres de arroz rojo o de otros arroces maleza (Johnson *et al.*, 1999).

Otros medios de distribución

Varios «sistemas de distribución» además de las semillas han sido implicados en la difusión del arroz maleza. La maquinaria de cosecha es una importante fuente de contaminación de los lotes y de los campos de arroz con semillas de arroces maleza, de otras malezas del cultivo del arroz y de otras variedades, por ejemplo, de plantas «espontáneas» (De Souza, 1989; Smith, 1992). Las semillas de arroces maleza también se difunden dentro del campo y a otros campos adheridas al barro de las pezuñas y patas de los animales, las ruedas de los carros, camiones y otros vehículos y en el movimiento de la paja del arroz (Querau, 1920; García de la Osa y Rivero, 1999). Se han especificado y se usan procedimientos muy rigurosos para el equipo de cosecha en el caso de la producción de semillas certificadas de arroz. Los agricultores concientes y atentos usan procedimientos similares en las operaciones de producción de granos para reducir las oportunidades de difundir el arroz dentro y entre sus campos de arroz.

Dado que las espiguillas (granos) de muchos de los fenotipos del arroz maleza son pubescentes y algunas tienen aristas largas e hispidas (Lámina 3), las semillas se pueden difundir adheridas al pelo de los animales domésticos o salvajes e, incluso, a la ropa de los trabajadores. Una de las creencias más comunes y persistentes respecto a la difusión de los arroces rojos, que es rechazada cada pocos años, es que son difundidas por aves acuáticas, principalmente patos que frecuentan los arrozales para alimentarse después de la cosecha. Datos recogidos del análisis del tracto intestinal de patos de varias especies obtenidos por los cazadores y de patos utilizados en experimentos de alimentación refutan esta creencia. Algunas semillas muy pequeñas, por ejemplo de *Leptochloa fascicularis* y semillas muy duras como las de *Polygonum* spp., pasan intactas a través del sistema digestivo de los patos pero no así las semillas de arroz cultivado o de arroz rojo (Powers, Noble y Chabreck, 1978; Kaminski, com. pers., 1993). Más aún, un artículo en el *Rice Journal* en 1973 propuso diversas formas de favorecer la presencia de patos salvajes en los campos de arroz para comer las semillas de arroz rojo y reducir la

existencia de semillas de arroz rojo a fin de evacuarlas en la parte superior del suelo (Fontenot, 1973).

Hibridación de arroces maleza y arroces cultivados

La siembra de semillas contaminadas de arroz es indudablemente la principal fuente y medio de distribución de los arroces maleza en todas las áreas en que estos son un problema. Hay, sin embargo, otras fuentes muy importantes de tipos de arroz maleza que han sido claramente documentadas para los arroces maleza rojos: son los tipos de arroz rojo que simulan el comportamiento de las variedades cultivadas de arroz producidas en una cierta área en lo que hace a su fenología, morfología y adaptación. Estos tipos de arroces maleza evolucionan de cruzamientos de arroces cultivados y arroz rojo que resultan en abundancia de semillas híbridas a partir de las cuales, con el tiempo y bajo la presión de fuerzas naturales y de las actividades humanas, se seleccionan tipos con alto potencial como maleza y dotados de una capacidad especial de adaptación. La hibridación del arroz rojo con arroz cultivado en los campos de Carolina del Norte y Carolina del Sur al inicio del siglo XIX o aún antes, fue la fuente más probable de uno o más de los tres o cuatro biotipos distintos de arroz rojo descritos por Allston (1846) y USDA (1850).

Algunos autores de trabajos relativamente recientes sobre los arroces maleza rojos, son ambiguos al discutir la causa o el origen de su gran diversidad. Los primeros investigadores reconocieron considerable diversidad en el arroz rojo que atribuyeron sin reservas a la hibridación del arroz cultivado con arroces rojos (Dodson, 1898; Knapp, 1898; Querau, 1920). Más aún, Beachell *et al.*, (1938) publicaron trabajos que demostraban definitivamente que hay un importante cruzamiento natural en el arroz y, algo más tarde, Jodon (1959) publicó un trabajo ampliamente citado sobre la magnitud del cruzamiento natural del arroz que alcanza a cerca de uno por ciento. Se ha sugerido que, al menos en el pasado, el flujo de genes en los cruzamientos naturales entre arroz cultivado y arroz rojo u otras variedades de arroz maleza, ha ocurrido desde las variedades cultivadas a los arroces maleza porque son más receptivos al polen «no autopolinizante» (Vaughan y Morishima, 2003; Australian Government, 2004). El significado del cruzamiento natural en la persistencia, difusión y adaptabilidad del arroz rojo se discute en mayor detalle en los Capítulos *Diversidad de las poblaciones de arroces maleza y Desgrane y latencia en los arroces maleza*.



J.C. DELOUCHE, 1980

Lámina 3
 Variedades de arroz. Arriba de izquierda a derecha. Starbonnet grano largo, Nato grano medio, arroces BHR y SHR; notar la pubescencia típica de los arroces rojos. Abajo de izquierda a derecha. Arroces SHR y BHR con y sin cáscara. El SHR es un tipo de grano corto.

Algunos mitos, especulaciones y conclusiones

No es sorprendente que desde alrededor de 1900, época del redescubrimiento de las leyes de Mendel, la aparición de los arroces maleza rojos en los cultivos de arroz estimuló una gran especulación, hizo resurgir algunos mitos y generó otros nuevos acerca su origen. Muchos de los primeros observadores legos creyeron que el problema del arroz rojo era el resultado de la reversión o conversión de los arroces cultivados a formas salvajes. En el área de Louisiana, Estados Unidos de América, a fines del siglo XIX, era un concepto común entre los agricultores que las semillas de arroz blanco que caían al suelo durante la cosecha y que quedaban expuestas a condiciones invernales cambiaban irreversiblemente y emergían la próxima primavera produciendo plantas que tenían características de arroz rojo y producían granos rojos. Una vez que cambiaban de blanco a rojo, en las siguientes generaciones continuaban produciendo arroz rojo causando así un rápido incremento de la infestación de arroces maleza rojos. Otros agricultores creían que los daños a las plántulas de arroz o el pisoteo del arrozal por los animales o por carros inducía respuestas que conducían a la producción de granos rojos los que a su vez producían en la estación siguiente plantas y granos de arroz rojo y también en las sucesivas generaciones. Estas y otras creencias acerca el origen y las fuentes del arroz rojo y las quejas recibidas por el director de la *Louisiana Agricultural Experimental Station* llevaron a que W. R. Dodson, botánico de esa estación experimental, investigara las «causas del desarrollo del grano rojo» en los arrozales de Louisiana. Como resultado, se publicó un boletín ilustrado de 20 páginas (Dodson, 1898). En esta publicación, Dodson, por medio de cuidadosas observaciones, riguroso razonamiento lógico y experimentos de campo, rechazó todas las creencias y mitos acerca de los cambios del arroz blanco generados por el ambiente o por daños que podían aparecer como cambios espontáneos en un solo sentido hacia el arroz rojo. La lectura de este boletín publicado hace más de un siglo, podría ser considerado como un instructivo ejercicio para estudiantes del problema de arroz rojo porque identifica y describe la mayoría de las características y aspectos ecológicos que forman el problema del arroz rojo en forma interesante y como un desafío, si bien el autor no estaba en conocimiento de las leyes de la herencia de Mendel. Las conclusiones de Dodson acerca sus investigaciones en arroz rojo en Louisiana fueron (las frases entre paréntesis y en cursiva se han agregado para mayor claridad y según una interpretación moderna de los hechos):

- «I. El arroz rojo es una variedad diferente del (*arroz*) blanco.»
- «II. El arroz blanco no producirá semillas rojas cuando sus semillas han sido expuestas al rigor del invierno, tal como lo creen los agricultores. (*El carácter de pericarpio blanco no muta espontáneamente al rojo; el blanco es un alelo recesivo*).»
- «III. Las dos variedades se cruzan produciendo híbridos y esos híbridos tienden a revertirse a una de las formas parentales, siendo el arroz rojo el más fuerte. (*Muchos de los caracteres obvios del arroz rojo son genéticamente dominantes sobre sus alelos en el arroz blanco*)»
- «IV. El arroz rojo, siendo dependiente de su autoconservación, es más rústico que el arroz blanco y también tiene una forma especial para preservar las semillas que caen al suelo al principio del otoño. (*Las semillas de arroz rojo presentan latencia y sobreviven al invierno*).»
- «V. Los métodos adecuados que deben ser adoptados (*para manejar las infestaciones de arroz rojo*) son usar semilla limpia y prevenir que el arroz rojo forme semillas (*en plantas de crecimiento tardío o en rebrotes*) después de la cosecha.»

RAZONES PARA EL ÉXITO DE LOS ARROCES MALEZA EN SU COMPORTAMIENTO COMO MALEZA

Las malezas son plantas que crecen donde no son deseadas. Por ejemplo, plantas «espontáneas» de maíz en un cultivo de soja causan dificultades al productor de semilla de soja: las plantas espontáneas deben ser removidas del campo antes de la inspección final del mismo y de la cosecha lo cual aumenta los costos de producción. Del mismo modo, los productores de semilla de arroz deben tomar precauciones especiales para prevenir la contaminación de la nueva variedad de arroz con plantas espontáneas de la variedad anterior. Los productores de arroz que cambian de una variedad de arroz de grano medio a una variedad de grano largo algunas veces sufren descuentos en la comercialización debido a las mezclas de tipos de granos causadas por las plantas espontáneas. Las plantas espontáneas de otros cultivos como maíz y soja o de diferentes variedades del mismo cultivo, por ejemplo arroz, son consideradas malezas y en algunos casos pueden ser especialmente difíciles de eliminar por los productores de semillas si bien no son malezas particularmente perjudiciales. Se pueden controlar sin mayor dificultad y en muchos casos se autoeliminan sin necesidad de medidas específicas de control. Por lo general, no son ni siquiera marginalmente exitosas como malezas.

Características de los arrozces maleza compartidas con otras malezas

La mayoría de los tipos de arrozces maleza son esencialmente variedades o líneas de arroz altamente exitosas en su comportamiento como malezas. Se cruzan, si bien con poca frecuencia, con variedades de arroz cultivado. Su significado como maleza está relacionado con su pericarpio rojo pero no hay evidencia que ese pericarpio *per se* tenga efecto sobre el comportamiento como maleza. Sin embargo, la posibilidad de que el carácter pericarpio rojo tenga un efecto indirecto por medio del enlace genético con características importantes de maleza tales como una fuerte y prolongada latencia no puede ni debería ser descartada. El arroz rojo es una maleza altamente exitosa porque posee esencialmente todas las características de las malezas y algunas de ellas son únicas para las líneas de malezas de las plantas cultivadas. Algunas de las características más importantes que comparte el arroz rojo con otras malezas perjudiciales son:

- Excelente adaptación a las prácticas agronómicas y a condiciones ecológicas favorables para el cultivo que infectan.
- Un ciclo biológico estrechamente sincronizado con el cultivo.
- Gran producción de semillas que desarrollan su capacidad para germinar en etapas tempranas y que son total y ampliamente dispersas por un desgrane precoz, fácil y abundante.
- Rápida emergencia de las plántulas seguida por un crecimiento vegetativo vigoroso y competitivo y el desarrollo reproductivo.
- Prolongada e intensa latencia de las semillas que mantiene la germinabilidad de las semillas caídas en o sobre el suelo en las estaciones secas o frías o de las semillas incorporadas al banco de semillas del suelo hasta el próximo cultivo.
- Las semillas frecuentemente ocurren como contaminantes de los lotes de las semillas para la siembra, constituyendo el principal medio para la amplia difusión de la maleza.

Características especiales de las malezas

Además de las características de los arrozces maleza, especialmente los tipos ubicuos de arroz maleza con pericarpio rojo, comparten varias características con otras malezas exitosas. Sin embargo, poseen algunas características únicas derivadas de su identidad

botánica como líneas o biotipos de las especies cultivadas de arroz que infestan, principalmente *Oryza sativa*, pero también de *O. glaberrima* en algunas áreas de África Occidental y el Sahel. Estas únicas y relativamente raras características contribuyen en forma importante a la complejidad y dificultad del control del arroz maleza y a las pérdidas que causan sus infestaciones.

- La mayoría de los ecotipos de arroces maleza son fenológica y morfológicamente tan similares a las variedades de arroz cultivado desde la etapa de plántula hasta la etapa reproductiva que son difíciles de reconocer durante los controles periódicos de malezas.
- Las semillas de arroces maleza son difíciles de distinguir y básicamente imposibles de separar de algunas de las variedades cultivadas, especialmente de las variedades medio/grandes. A menudo son distribuidas fácilmente y sin que sea evidente, con las semillas de arroz y con el equipo de cosecha.
- Dado que la mayoría de los tipos de arroces maleza pertenecen a la misma especie que el arroz cultivado, las estrategias de «herbicidas selectivos» difundidas y efectivamente usadas para controlar otras importantes malezas que son genéticamente distintas de los cultivos, no pueden ser aplicadas en este caso.
- Los arroces maleza contaminantes del grano de arroz son difíciles o imposibles de remover durante el procesamiento. El pericarpio rojo o afrecho del arroz maleza rojo constituye una objeción importante para los consumidores y reduce el grado y valor de comercialización del grano. Un procesamiento del grano más intensivo para remover los arroces rojos da lugar a rotura del grano y a una reducción del rendimiento y del grado molinero. De esta manera, las pérdidas causadas por el arroz maleza rojo no se limitan a los costos de producción y control de malezas y a las pérdidas de rendimiento sino que también se trasladan a las operaciones de molinería del producto final.

Características de maleza fundamentales de los arroces maleza

Cada una de las características de los arroces maleza citadas y descritas anteriormente contribuyen a la complejidad y severidad del problema en el caso de la siembra directa del arroz. Sin embargo, hay cuatro características que son fundamentales para su establecimiento y para que el arroz maleza continúe siendo una maleza importante. La ausencia de una de esas características lo convierte en una maleza más fácil de manejar mientras que la ausencia conjunta de dos ellas lo degrada a la categoría de planta espontánea. Las características fundamentales son:

- Diversidad e intercambiabilidad de las poblaciones de arroz rojo producidas por cruzamientos naturales con las variedades cultivadas.
- Gran producción de semillas con desgrane temprano y abundante.
- Latencia fuerte y prolongada de las semillas, comparada con la latencia de las semillas de las variedades cultivadas.
- Mayor vigor y competitividad desde la emergencia de la plántula hasta las etapas reproductivas, en comparación con las variedades cultivadas.

La primera característica, o sea la diversidad e intercambiabilidad coloca a los arroces maleza en posición distinta respecto a otras malezas importantes y es, tal vez, la menos entendida y apreciada. En los Capítulos *Diversidad de las poblaciones de arroces maleza*, *Desgrane y latencia en arroces maleza* y *Vigor y competitividad del arroz rojo* se revisa y discute este problema en detalle mientras que la naturaleza y las interrelaciones de las otras tres características son consideradas y discutidas en los dos últimos capítulos citados.

Capítulo 3

Diversidad de las poblaciones de arroces maleza

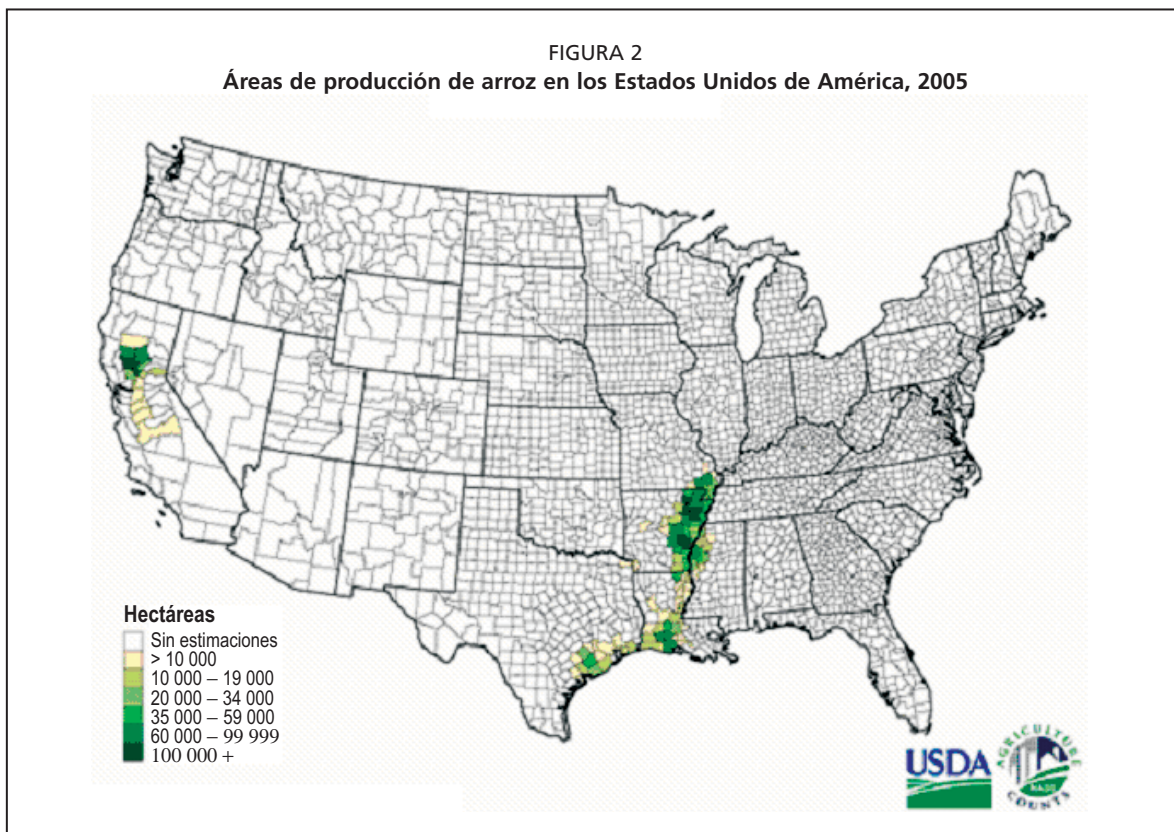
Ya en 1850 en Estados Unidos de América se habían documentado cuatro tipos distintos de arroz rojo (USDA, 1850) y por lo menos siete tipos distintos se encuentran citados en la literatura entre 1846 y 1956. Una revisión de la literatura reciente revela el reconocimiento general de la diversidad y variabilidad de los arroces maleza y del arroz rojo; por ejemplo, los informes del *Taller Global sobre Arroz Rojo* (FAO, 1999) contienen numerosas referencias a los distintos tipos llamados ya sea biotipos, ecotipos, fenotipos o morfoformas de arroces maleza y de arroz rojo, identificados en distintos países:

- Brasil: dos tipos diferentes reconocidos en 1971 (Mariot, 1971).
- Colombia: gran diversidad morfológica (Montealegre y Vargas, 1992) y 30 tipos de arroz rojo englobados en cuatro grupos (Carroza, 1999).
- Cuba: 38 biotipos de arroz rojo (García de la Osa y Rivero, 1999).
- España: biotipos de arroz maleza, algunos con pericarpio rojo, otros con pericarpio blanco (Barreda *et al.*, 1999).
- Guyana: se reconocen tipos cortos y altos de arroz rojo (Small, 1999).
- México: siete tipos distintos de arroz rojo (Aragón, 1969).
- Senegal: biotipos de arroz rojo de *Oryza glaberrima* y *O. barthii* (Diallo, 1969).
- Suriname: 179 arroces maleza diferentes, algunos con pericarpio rojo, otros con pericarpio blanco (Knodabaks, 1999).
- Viet Nam: 10 ecotipos distintos y descritos de arroz rojo (Chin *et al.*, 1999).

Los Estados Unidos de América son considerados como el lugar geocológico y de base de datos para este capítulo sobre diversidad y variabilidad de los arroces maleza y especialmente de los arroces maleza rojos, por dos razones: i) en primer lugar porque ha sido un problema en la siembra directa del arroz en ese país por más de 200 años y, ii) porque las investigaciones y observaciones de los investigadores y extensionistas en la parte arrocera del sur del país durante más de 100 años constituyen la base de datos sobre arroz rojo más importante y accesible. Más aún, el arroz rojo y otros arroces maleza en América del Sur y América Central, Australia, Europa y Oceanía y las siembras directas de arroz en Asia e incluso en África, parecen ser en igualmente diversas y variables. En el 2006, el área total cosechada de arroz en los Estados Unidos de América fue de 1,14 millones de hectáreas con un rendimiento promedio de 7,7 t/ha. Como referencia, la distribución actual de las áreas de producción de arroz en los Estados Unidos de América se presenta en la Figura 2.

Gran parte de la diversidad del arroz rojo y otros arroces maleza ha sido y continúa siendo semánticamente camuflada en el uso común del singular o, más exactamente, por los nombres genéricos de arroz maleza o arroz rojo, de la misma manera que una gran diversidad se encuentra en los nombres genéricos de trigo, arroz o incluso maleza. Mientras que el uso de tales nombres y términos genéricos es común y aceptada como algo inevitable, los difíciles términos plurales de arroces maleza o arroces rojos se usan en este documento como una forma de transmitir una imagen más clara y una mejor comprensión de la diversidad y variabilidad del arroz maleza y del arroz rojo.

Los arroces maleza, incluyendo el arroz rojo y otros arroces maleza no son una maleza específica sino una variedad de malezas que comparten un conjunto común



Fuente: National Agricultural Statistics Service (NASS), USDA

de características de las características de «malezas» pero que difieren morfológica y fenológicamente entre los distintos lugares y en el tiempo. La diversidad y el polimorfismo del arroz rojo han sido sin duda características del arroz rojo en América del Norte desde que se estableció como arroz maleza en los arrozales de los estados de Carolina del Norte y Carolina del Sur, hace más de 200 años.

PRIMERAS OBSERVACIONES GENERALES SOBRE LA DIVERSIDAD Y LA VARIABILIDAD DEL ARROZ ROJO

Los primeros estudios sobre el arroz rojo en los Estados Unidos de América describieron las plantas como generalmente más bajas que el arroz cultivado (Dodson, 1900), creciendo en grupos en razón de los numerosos tallos que llegaban hasta 60 por planta (Nelson, 1908), con un hábito de crecimiento abierto (Quereau, 1920) y con los tallos creciendo a un ángulo de cerca de 65 grados con la vertical en lugar de ser erectos como el arroz cultivado (Dodson, 1900). En esa época se cultivaban variedades de arroz altas, por ello el énfasis de la diferencia en altura. A mediados del siglo XX los fitomejoradores de arroz comenzaron a prestar más atención a la altura de las plantas para adaptarlas a la mecanización y a mayores dosis de fertilizantes, todo lo que culminó en el desarrollo de un cambio casi global hacia las variedades semienanas en la última parte del siglo. Como consecuencia, recientemente las plantas de arroz rojo comenzaron a ser descritas como generalmente más altas que el arroz cultivado con hojas inclinadas, largas, pálidas, rústicas y con más tallos con un ángulo mayor. Esta última característica confiere al arroz rojo un conjunto foliar en dosel más abierto en contraste con los arroces cultivados más bien compactos y casi verticales.

Los primeros observadores también enfatizaron las diferencias en la morfología y estructura de la panoja entre los arroces rojos y los arroces cultivados. La panoja de

arroz rojo fue descrita como más larga, con menos granos y más pequeños que las panojas de las variedades cultivadas de grano largo y que además no desgranaban tanto como el arroz cultivado. La panoja de arroz rojo también fue descrita como más abierta que la del arroz cultivado. La «apertura» de la panoja de arroz rojo está asociada con un modelo particular de las curvas de las ramillas de la panoja principal, en contraste con las ramificaciones casi erectas del arroz cultivado (Dodson, 1898). Además, los granos de arroz rojo tenían pigmentación roja la cual fue generalmente descrita como limitada al pericarpio (Chambliss, 1920; Quereau, 1920; Kennedy, 1923), si bien en algunos casos estaba difundida a todo el endosperma (Dodson, 1898). Los granos de arroz rojo tenían la cáscara pubescente y eran generalmente más cortos y más anchos que los granos del arroz cultivado, excepto en el caso de las variedades de grano corto o medio. Estas primeras descripciones comparativas del arroz rojo son, por supuesto, generalizaciones de la situación en los últimos años del siglo XIX y principios del siglo XX. Desde entonces el panorama ecológico del arroz, las variedades cultivadas y las malezas en los arrozales, incluyendo los arroces maleza en los Estados Unidos de América, han cambiado y continúan cambiando. Los tipos de arroz rojo que actualmente infestan los arrozales en la zona sur de los Estados Unidos de América presentan gran variabilidad en altura, morfología de la panoja, formación de tallos, ángulo de las hojas y tallos, pubescencia, color del grano, color de la cáscara y fenología.

LOUISIANA – EL PRIMER ESTUDIO SOBRE LA VARIABILIDAD DEL ARROZ ROJO

En 1958, Constantin (1960) hizo uno de los primeros y más completos estudios sobre la variabilidad del arroz rojo en los Estados Unidos de América. Realizó una encuesta y analizó los arroces maleza en arrozales maduros en el sudoeste de Louisiana, una de las zonas arroceras más antiguas del país. La incidencia de plantas de arroz maleza rojo fue estimada en 21 campos. Ninguno de los 21 campos tuvieron menos de 200 plantas de arroz rojo por acre (*ca.* 500/ha), ocho campos tuvieron entre 200 y 1 000 plantas por acre (*ca.* 500-2 500/ha), cuatro campos tuvieron más de 1 000 plantas por acre (*ca.* 2 500/ha) y un campo tuvo una estimación de 25 000 plantas por acre (*ca.* 62 500/ha). En una segunda encuesta las proporciones del arroz de cáscara pajiza y de cáscara negra fueron estimadas en 65 campos. El color es, por supuesto, una calidad subjetiva, por lo que la sinonimia de la descripción de los colores debe ser aclarada: cáscara blanca y cáscara oscura equivalen a cáscara pajiza y cáscara negra, respectivamente, y son los términos preferidos; cáscara gris equivale probablemente a cáscara negra pálida, cáscara marrón equivale a cáscara bronceada mientras que cáscara dorada no tiene equivalente. Tanto los arroces rojos con cáscara pajiza como de cáscara negra fueron encontrados en todos los campos encuestados pero las proporciones de cada uno de ellos variaba considerablemente. Los tipos de color pajizo y negro estaban presentes en iguales proporciones en 21 campos de 65 mientras que 19 campos tenían predominantemente tipos negros y 25 tenían predominantemente tipos pajizos. Para examinar la variabilidad de los arroces rojos en el área en consideración, Constantin recolectó en el momento de la madurez 1 084 panojas de plantas de arroces maleza y de «plantas fuera de tipo»

CUADRO 1

Principales características de las espiguillas y granos de 1 084 panojas

Color de la cáscara	Del total (%)	Aristas			Largo del grano (promedio mm)	Desgrane (%)	Pubescencia (%)
		Total (%)	Parcial (%)	Ausente (%)			
Negra	25	94	6	0	8,1	100	100
Gris	14	74	24	2	8,2	100	100
Pajizo	61	9	33	58	7,9	100	100

Fuente: Constantin, 1960.

en 44 arrozales de arroz en maduración, seleccionados al azar, para estudiar en el laboratorio la variación de las panojas, espiguillas y características del grano (Cuadro 1). Si bien el color del grano no fue determinado en el momento de la recolección y no fue un criterio específico para la recolección, el análisis subsiguiente determinó que los granos de cada panoja recolectada tenían pericarpio de color rojo. No se recolectaron arroces maleza ni arroces fuera de tipo con pericarpio blanco. El color del pericarpio varió desde ligeramente rojo a rojo oscuro pero la mayoría de las panojas en cada grupo de color de cáscara tenía pericarpios intermedios, si bien el grupo de cáscara gris tenía una ligeramente mayor incidencia de pericarpios de color rojo claro. Si bien hubo amplia variación en las combinaciones de estas y otras características entre las panojas recolectadas, no hubo variación en el desgrane y en la pubescencia de la cáscara. Todas las panojas desgranaron fácil y abundantemente y tenían granos con cáscaras pubescentes.

La revisión de los registros disponibles hecha por Constantin sugirió que el arroz rojo de cáscara negra era una introducción relativamente reciente ya que ninguna de las descripciones del arroz rojo publicadas hasta 1920 mencionaba las cáscaras negras, mientras que el arroz rojo de cáscara pajiza era mencionado en las primeras descripciones publicadas alrededor de 1850. Constantin citó un informe sin fecha y sin confirmación de que un tipo de cáscara negra fue introducido en el condado de Vermeillon Park como variedad potencialmente cultivable pero que fue abandonada debido a su característica de desgrane temprano y abundante. Existía alguna evidencia para aceptar este informe: los arroces de cáscara negra estaban más concentrados en Vermeillon Park que en otros lugares del área arrocería y eran popularmente llamados arroz Vermeillon. La revisión de Constantin de los datos históricos disponibles y sus averiguaciones llevaron a la conclusión que la fuente original del arroz rojo en el sudoeste de Louisiana era muy probablemente semilla de arroz contaminada procedente del sudeste, tal vez de Carolina del Norte o Carolina del Sur. Señaló, sin embargo, que las semillas contaminadas podrían, al máximo, ser responsables sólo de una parte limitada de la amplia variabilidad determinada en los estudios hechos en 1958-1960; por lo tanto, atribuyó la mayor parte de la variación a la hibridación de los arroces cultivados con los arroces rojos. Más específicamente, sostuvo que probablemente la semilla del arroz rojo fue la forma parental para nuevas segregaciones de arroz rojo porque su característica de desgranar aseguraba que la mayoría de los híbridos que quedaban en el campo infestarían el cultivo siguiente al no ser cosechados junto con el arroz cultivado como podría haber ocurrido con el cruzamiento recíproco. Además, afirmó que la clasificación de los arroces rojos según el color de la cáscara es genéticamente válida y que los arroces de cáscara negra y cáscara pajiza eran genotípicamente diferentes y probablemente distantes. Su afirmación ha sido apoyada por la reciente evidencia molecular obtenida por Gealy, Tai y Sneller (2002) y Vaughan *et al.*, (2001), indicando que los arroces rojos de cáscara pajiza y de cáscara negra son indudablemente genotipos muy distintos y que hay mayor diversidad genética entre el grupo de cáscara negra con una distancia genética media de 0,33 comparada con una distancia genética media de 0,20 en el grupo de cáscara pajiza.

MISSISSIPPI – ESTUDIO DE CASO SOBRE LA DIVERSIDAD Y LA VARIABILIDAD DEL ARROZ ROJO

La producción de arroz en el estado de Mississippi, Estados Unidos de América, comenzó en época relativamente reciente en comparación con los estados arroceros tradicionales como Arkansas, California, Louisiana y Texas y durante muchas décadas no se expandió debido a los estrictos controles gubernamentales sobre el área sembrada. A fines de la década de 1960 se sembraba principalmente la variedad

Starbonnet, de buena calidad y grano largo, en reemplazo de la variedad *Bluebonnet* 50, favorita durante mucho tiempo. La semilla fundación de *Starbonnet* fue mantenida por una compañía que también era la principal productora de semillas registradas y certificadas. Los agricultores sembraban semillas certificadas o semillas del cultivo anterior producido a partir de semillas certificadas. El arroz rojo no era un problema; se había encontrado algo de arroz rojo en el estado en la década de 1940 pero había sido eliminado rotando el arroz con otros cultivos y pasturas, una rigurosa limpieza de sus plantas en los arrozales y la producción y uso de semillas libres de arroz rojo.

A inicios de la década de 1970 el gobierno federal redujo los controles sobre el área sembrada con arroz y el área sembrada en Mississippi se duplicó o más en dos años. Esta rápida expansión del área arroceras excedió con creces el abastecimiento de semilla certificada de arroz de alta calidad producida en el estado y los agricultores que deseaban sembrar *Starbonnet* y otras variedades debieron recurrir a fuentes fuera del estado. En pocos años los agricultores comenzaron a lamentar la aparición de arroz rojo en sus campos, los inspectores de semillas encontraron plantas de arroz rojo en campos de producción de semillas certificadas y algunos lotes para producción de semillas debieron ser rechazados debido a la contaminación con arroz rojo. Alarmados por la introducción y rápida difusión del arroz rojo en el estado, los productores de arroz solicitaron al Laboratorio de Semillas de la *Mississippi State University* llevar a cabo estudios para obtener información sobre la extensión y la naturaleza del problema del arroz rojo, aplicar posibles controles en la producción de semillas certificadas y fortalecer la investigación y desarrollo del control de malezas.

Estudios iniciales

El primer estudio sobre arroz rojo en Mississippi fue llevado a cabo por Larinde (1979) quien comparó modelos de desarrollo, maduración de la semilla, intensidad y terminación de la latencia en dos arrozos rojos -un fenotipo de *cáscara pajiza sin aristas* y un fenotipo de *cáscara negra con aristas largas*- con *Nato*, una variedad de grano medio con una inusual e intensa latencia de las semillas y con otras variedades (el grupo de Mississippi usó el término fenotipo como sinónimo de ecotipo, tal como se usa en este trabajo). Los dos fenotipos de arroz rojo tenían hojas más finas, más laxas, pubescentes, más tallos y desgranaban fácil y abundantemente en comparación con *Nato* que era erecta, tenía hojas glabras, relativamente pocos tallos y no desgranaba. La antesis y la maduración del fenotipo de *cáscara pajiza* fueron cerca dos semanas más tempranas que las del fenotipo de *cáscara negra* y casi del mismo tiempo que cuatro de las cinco variedades cultivadas con las que fueron comparadas. Como un hecho interesante, Larinde encontró alguna variación en los dos fenotipos de arroz rojo. Algunas de las plantas de *cáscara negra* podían tener aristas rojas en lugar de negras y unas pocas plantas de *cáscara pajiza* tenían aristas cortas mientras que el resto no tenían aristas. Larinde hipotizó que esas variantes podían ser el resultado de la segregación después de cruzamientos naturales y recomendó proseguir los estudios en ese sentido.

Variación fenológica y morfológica

La continuación de estudios exhaustivos sobre los fenotipos de arroz rojo en Mississippi fue llevada a cabo por Do Lago (1982): panojas de plantas de arroz rojo fueron recolectadas de campos de arroz por los inspectores de certificación de semillas durante las inspecciones de campo en 1978 y 1979 y fueron cuidadosamente examinadas para evitar duplicaciones obvias. Diez fenotipos distintos fueron recolectados en 1978, 15 en 1979 y tres en 1980, los que fueron comparados por su uniformidad en siembras controladas junto con los fenotipos *cáscara negra* (*BLKH*), *cáscara pajiza sin aristas*

(*SHA-*) y cáscara pajiza de aristas cortas (*SHA+*) de los estudios de Larinde y con tres variedades populares. Veintidós o 44 plántulas de 10-12 días de edad de cada variedad fueron trasplantadas en ensayos en el mes de abril de cada año -el momento común de siembra del arroz- espaciadas 30 cm entre plantas y 60 cm entre surcos. El Cuadro 2 compara los datos fenológicos y las características morfológicas de 29 de las 31 entradas de arroz rojo y tres variedades junto con las cinco entradas adicionales de tipos de arroz rojo recolectadas entre 1986 y 1990, la variedad semienana *Lemont* y algunas entradas procedentes de Texas codificadas con la letra T.

Se encontró una considerable diversidad entre las poblaciones de arroz rojo de Mississippi, apenas cinco o seis años después que el arroz rojo había sido aparentemente reintroducido en el estado como contaminante de semillas de arroz procedente de otros estados durante la gran expansión del cultivo del arroz en 1972-1974. Las 34 entradas de arroz rojo coincidieron en dos grupos fenotípicos importantes más un fenotipo único.

Los fenotipos de arroz rojo de los estudios de Mississippi se citan de aquí en adelante como *RR* mientras que los arroces rojos con cáscara de color pajizo se denominan *SHR*, aquellos con cáscara negra como *BHR* y los marrones o bronceados como *BrHR*.

Cáscara pajiza roja (SHR)

Veintiséis fenotipos *RR* tenían cáscaras de color pajizo pero por otro lado exhibían gran diversidad y variación fenológica y morfológica.

- La altura de las plantas variaba entre 68 y 169 cm.
- Los días al 50 por ciento de la antesis estaban comprendidos entre 89 y 109.
- El número de tallos por planta variaba entre 24 y 54.
- Dos fenotipos tenían granos cortos, cinco tenían granos largos y 19 tenían granos medios.
- Veintitrés fenotipos eran múlticos y tres tenían aristas cortas.
- Veinte fenotipos eran pubescentes y seis eran glabros.
- Veintidós fenotipos desgranaban temprano y abundantemente, cuatro desgranaban algo más tarde y moderadamente.
- Veintidós fenotipos tenían tallos con una inclinación intermedia y cuatro tenían tallos erectos.
- Quince fenotipos tenían hojas caedizas, cuatro tenían hojas a un ángulo intermedio y siete tenían hojas erectas.

En comparación con *Starbonnet* y *Lebonnet* -las dos variedades más sembradas en Mississippi durante la década de 1970 y a inicios de la década de 1980- los *SHR* recolectados durante 1980 eran más altos, más tempranos al 50 por ciento de la antesis y más vigorosos dado que tenían el doble de tallos. Las entradas más diferentes de los *SHR* recolectadas en 1980 o antes eran la 79/1 y la 80/1, muy altas, glabras, grano largo rojo con hojas erectas, comparativamente pocos tallos y desgrane moderado. Si bien muy similares desde el punto de vista morfológico, había cerca de 12 días de diferencia entre las dos entradas para alcanzar el 50 por ciento de la antesis y el ápice de los granos era muy distinto en curvatura y color. Al inicio de 1986, los fenotipos *RR* con hojas erectas, glabras y granos largos que asemejaban a la variedad semienana *Lemont* comenzaron a ser recolectadas en el estado. La exclusividad de algunas de las entradas y la apariencia de la similitud con las semienanas simuladoras se discuten más adelante en detalle.

Cáscara negra roja (BHR)

Nueve fenotipos tenían cáscaras negras y eran morfológicamente menos distintas que las *SHR*.

CUADRO 2
Características de 42 arroz rojos contaminantes de cultivos comerciales de arroz en Mississippi y Texas, EE.UU.A., 1978-90 comparados con cuatro variedades cultivadas.

Variedad/ecotipo	N°	Altura de planta (cm)	50 % antesis (días)	Tallós		Hojas		Desgrane	Cáscara		Tipo de grano	Color de grano	Aristas (largo)
				N°	Ángulo	Pubesc.	Ángulo		Color	Pubesc.			
Variedades cultivadas													
<i>Starbonnet</i>	1	118	105	27	ERT	GLB	ERT	No	STW	GLB	Largo	WHT	No
<i>Lebonnet</i>	1	111	102	18	ERT	GLB	ERT	No	STW	GLB	Largo	WHT	No
<i>Labelle</i>	1	103	92	20	ERT	GLB	ERT	No	STW	GLB	Largo	WHT	No
<i>Lemont</i>	1	74	90	22	ERT	GLB	ERT	No	STW	GLB	Largo	WHT	No
Fenotipos													
STW cáscara roja													
SHA-	1	157	99	50	INT	PUB	DRP	Fuerte	STW	PUB	Corto	DRE	No
79/11	1	153	89	37	INT	PUB	INT	Fuerte	STW	PUB	Corto	DRE	No
79/6, 79/3	2	154-158	90-92	48-54	INT	PUB	INT	Fuerte	STW	PUB	Medio	IRE-DRE	No
79/8, 79/7, 79/2, 78/2, 78/19, 78/3, 78/9, 80/2	8	137-161	91-103	40-53	INT	PUB	DRP	Fuerte	STW	PUB	Medio	IRE	No
79/9, 79/14, 78/1, 79/17, 78/7, 80/3	6	145-169	91-99	46-51	INT	PUB	DRP	Fuerte	STW	PUB	Medio	DRE	No
SHA+	1	144	108	54	INT	PUB	INT	Fuerte	STW	PUB	Medio	DRE	Corta
79/1	1	162	97	24	ERT	GLB	ERT	Moderado	STW	GLB	Largo	DRE	No
80/1	1	169	109	25	ERT	GLB	ERT	Moderado	STW	GLB	Largo	IRE	No
86/1, 88/1	2	84-95	95-103	38-44	ERT	PUB	ERT	Fuerte	STW	GLB	Medio	IRE	No
89/1	1	68	86	33	INT	PUB	ERT	Fuerte	STW	PUB	Largo	IRE	Corta
90/1	1	72	98	51	INT	GLB	ERT	Moderado	STW	GLB	Largo	IRE	No
90/2	1	66	95	30	INT	GLB	ERT	Moderado	STW	GLB	Largo	IRE	Corta
T/9	1	131	101	52	INT	PUB	INT	Fuerte	STW	PUB	Corto	IRE	No
T/5/2	1	151	108	40	INT	PUB	ERT	Fuerte	STW	PUB	Medio	LRE	Larga
Cáscara dorada													
-T/2/5	1	153	102	33	INT	PUB	DRP	Fuerte	GLD	PUB	Medio	LRE	No
Cáscara marrón rojiza													
-78/8	1	152	112	60	INT	PUB	ERT	Fuerte	DBR	PUB	Medio	IRE	Media
Cáscara negra rojiza													
-BLKH	1	171	109	77	INT	PUB	INT	Fuerte	DBL	PUB	Medio	LRE	Larga
-79/13	1	184	93	62	INT	PUB	INT	Fuerte	DBL	PUB	Medio	IRE	Larga
-79/4	1	180	103	85	INT	PUB	INT	Fuerte	DBL	PUB	Medio	IRE	Larga
-79-5, 79-10, 78-4, 79-15, 78-6	5	173-179	104-110	67-76	INT	PUB	ERT	Fuerte	DBL	PUB	Medio	LRE	Larga
-78-5	1	150	104	52	INT	PUB	DRP	Fuerte	DBL	PUB	Medio	LRE	Larga
-T/4/1	1	172	97	46	INT	PUB	INT	Fuerte	IBL	PUB	Medio	LRE	Larga
-T/8/2	1	162	115	97	INT	PUB	INT	Fuerte	DBL	PUB	Medio	LRE	Larga
-T/4/4	1	173	98	64	INT	PUB	INT	Fuerte	IBL	PUB	Largo	LRE	Larga

Abreviaciones: N°= número; ERT = erecta; INT = intermedia; DRP = caediza; PUB = pubescencia o pubescente; GLB = glabra; STW = pajizo (color de cáscara); STW- = genotipo cáscara pajiza, mítica; STW+ = genotipo cáscara pajiza, aristada; BLKH = genotipo cáscara negra; DBL= negro oscuro; IBL= negro intermedio; FBL= negro claro; DBR = marrón oscuro o bronceado; GLD = color dorado; WHT = blanco; LRE = rojo claro; IRE = rojo intermedio; DRE = rojo oscuro; SRT = corto; MED = medio; LNG = largo. Acciones T proceden de Texas, para comparación.
Datos de Do Lago (1982) y colegas.

- La altura de planta variaba entre 150 y 184 cm.
- El tiempo hasta el 50 por ciento de la antesis era de 93 a 110 días.
- El número de tallos variaba entre 52 y 85.
- Todos los fenotipos tenían granos medios con aristas largas, eran pubescentes, los tallos tenían un ángulo intermedio y desgranaban temprano y abundantemente.
- Cinco de los nueve fenotipos tenían hojas erectas, tres tenían hojas en ángulos intermedios mientras que un fenotipo tenía hojas claramente caedizas.

En general, las *BHR* eran más altas, tardías en su madurez y tenían más tallos no sólo que las variedades cultivadas, sino también que las *SHR*. Es de notar que no se recolectaron *BHR* diferentes después de 1980 como en el caso de las *SHR*.

Cáscara marrón o bronceada (BrHR)

Un único fenotipo con cáscara marrón o bronceado se recolectó en 1978. Presentaba la madurez más tardía de todas las entradas, 112 días hasta el 50 por ciento de la antesis, hojas pubescentes erectas, granos medianamente pubescentes con aristas de longitud media y desgranaba más temprano y más abundantemente que cualquier otro *RR*. También presentó la mayor latencia de todos los fenotipos.

Una comparación de los fenotipos *RR* recolectados hasta 1980 con las variedades cultivadas, excluyendo la semienana *Lemont*, con los valores medios para tres caracteres que influyen la competitividad, se resumen en el Cuadro 3.

La altura media de los fenotipos *RR* fue de 40 por ciento (*SHR*) a 57 por ciento (*BHR*) mayor que la altura media de las variedades cultivadas y el número medio de tallos fue de dos a tres veces mayor. La madurez indicada por los días necesarios para llegar al 50 por ciento de antesis fue, sin embargo, muy similar con la media de los *SHR*, siendo en promedio dos días más temprana que los *BHR* y seis días más tardía que las variedades cultivadas. Dado que todos los fenotipos *RR* desgranaron más temprano y más abundantemente, una parte importante de sus semillas habría sido dispersada sobre la superficie del suelo antes de la cosecha manual o mecánica de cualquiera de las tres variedades cultivadas. La planta y los tipos de espiguillas de alguna de las entradas se muestran en las Láminas 4 y 5.

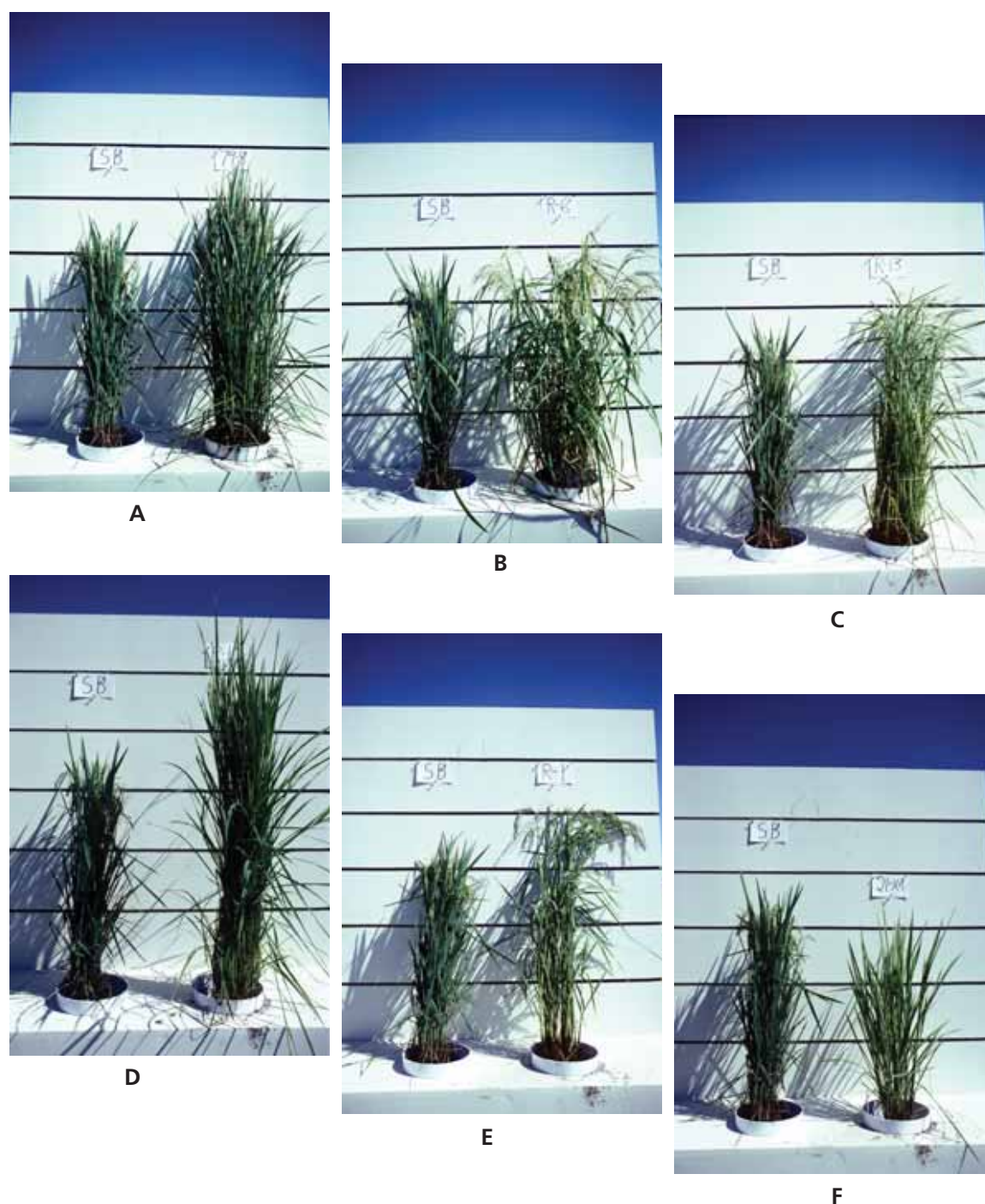
Si bien todas las entradas, excepto dos que no fueron incluidas en el Cuadro 2 fueron marcadamente uniformes y estables en varios campos, es improbable que cada una constituya una línea pura *RR*. Los fenotipos más comunes, *SHA-* y *BLKH*, por ejemplo, fueron recolectados muchas veces en muchos arrozales. Las otras entradas fueron recolectadas e incluidas en las siembras uniformes de campo porque parecieron ser diferentes. Sin embargo, algunas de estas, especialmente algunos de los *SHR*, resultaron ser muy similares y probablemente no fueron diferentes o difirieron solamente en unos pocos días a la madurez. Sin embargo, muchas de las líneas parecían distintas y fueron más distinguibles por los observadores durante casi cinco años de siembras

en el campo (al mismo tiempo, las variedades comerciales eran cada vez más distinguibles y los inspectores de campo ganaban experiencia). Si la nueva técnica de la huella genética hubiera sido usada en ese momento hubiera sido posible establecer en forma definitiva su identidad y examinar sus interrelaciones en forma más concluyente.

CUADRO 3
Valores medios de tres caracteres que influyen la competitividad

Carácter	Todas las variedades*	Todos los RR	SHR	BHR
Altura de planta (cm)	110	160	154	173
50 % antesis (días)	98	99	96	104
Número de tallos	22	55	48	72

* Excluye variedad *Lemont*

**Lámina 4**

Variación de los fenotipos RR comparados con la variedad Starbonnet. En cada fila la variedad Starbonnet está a la izquierda y el fenotipo RR a la derecha. A: SHR, 79/8; B: SHR, R-6; C: BHR, R-13; D: BHR, R-1; E y F: segregaciones RR.

Fuente de diversidad y variación de los arrozcs rojos

La pregunta principal que surge respecto a la gran diversidad en la fenología y morfología de los arrozcs rojos en Mississippi, unos pocos años después de que fueron reintroducidos en el estado a principios de la década de 1970, era sobre su procedencia. Una respuesta a esta pregunta fue sugerida por las dos entradas en las siembras

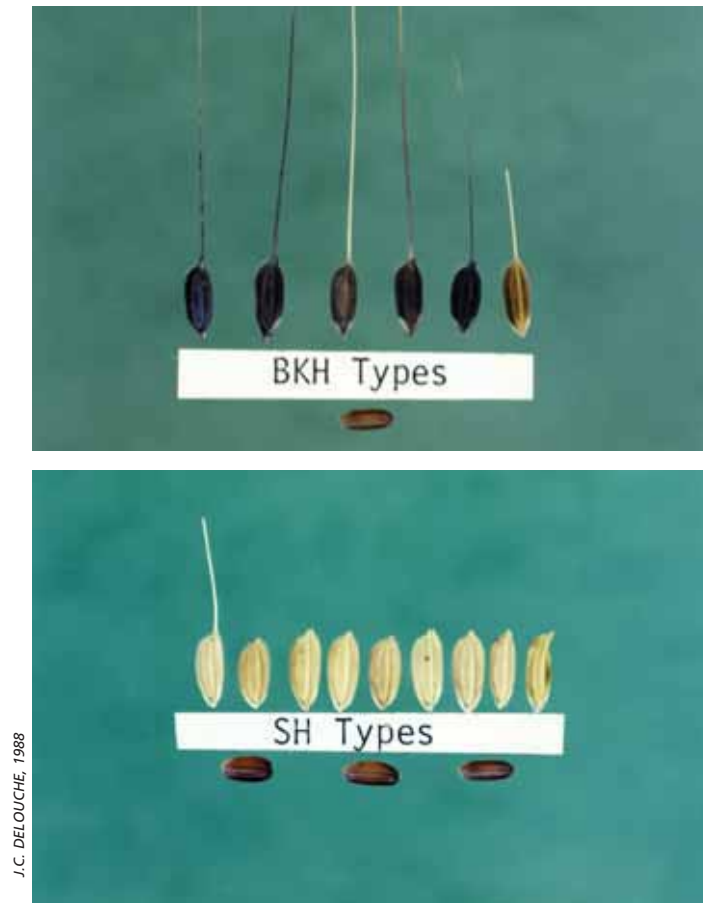


Lámina 5
Variación típica en las espiguillas (semilla) entre fenotipos BHR (arriba) y SHR (abajo).

uniformes que no están incluidas en el Cuadro 2: una entrada recolectada en 1978 codificada como 78/21 y una recolectada en 1979 codificada 79/16.

Entrada 78/21

Esta entrada recolectada en un arrozal *Starbonnet* tenía granos largos finos con pericarpio rojo oscuro, cáscara de color pajizo y aristas parciales. La nota del recolector indicó que la planta de la cual se recolectó la panoja era ligeramente más alta que *Starbonnet*. Las primeras observaciones de las 22 plantas de la entrada 78/21 revelaron tanta variabilidad que lamentablemente no se les prestó atención hasta que se comprendió que era una población segregante. Se registraron algunas características morfológicas y se recolectaron semillas de 15 plantas que produjeron semillas dentro de los mismos plazos que otras entradas de *RR*. Las siete plantas restantes florecieron demasiado tarde, presentaron esterilidad o tenían pocos tallos débiles. Los caracteres morfológicos seleccionados de las 15

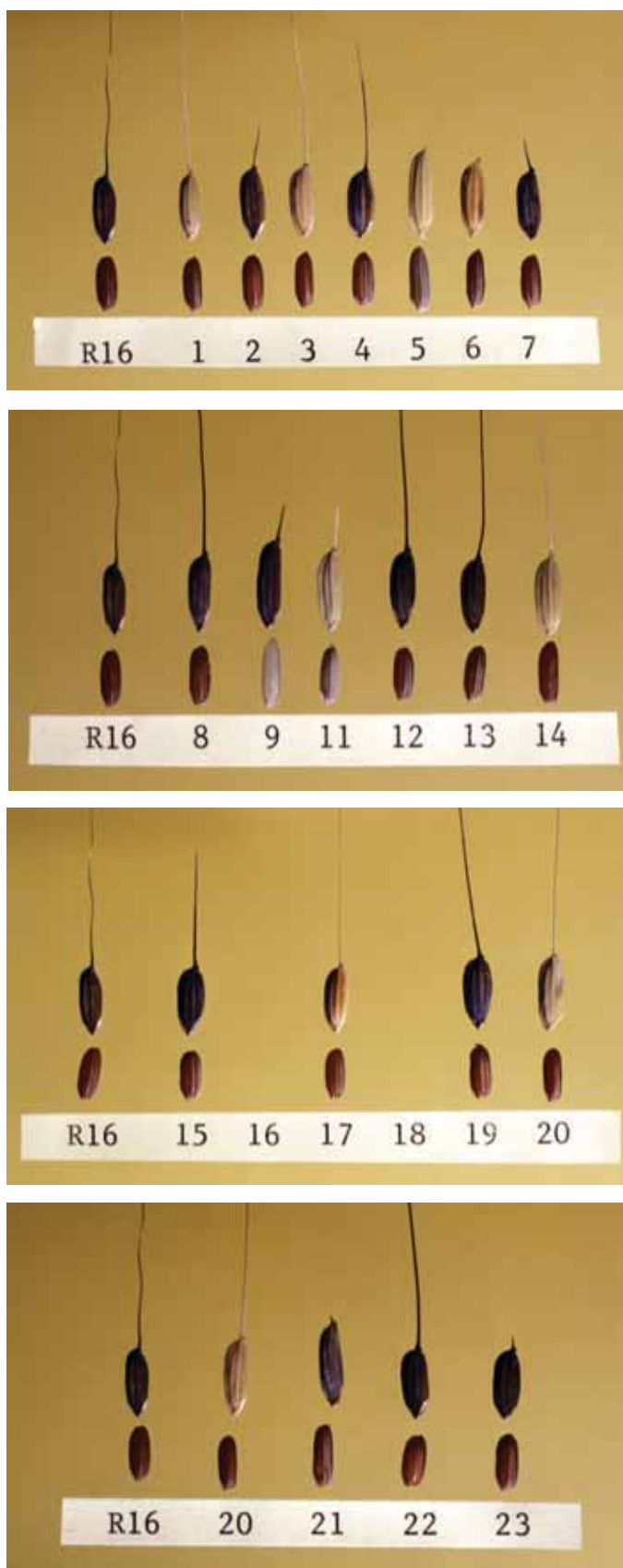
plantas segregantes se presentan en el Cuadro 4. Trece de las 15 progenies tenían cáscara pajiza, dos tenían cáscara ligeramente marrón o dorada; siete de las plantas produjeron granos medios y ocho produjeron granos largos; 10 plantas tenían granos blancos y cinco granos rojos; ocho plantas eran glabras y siete pubescentes; sólo una planta era mítica y el resto tenía aristas largas o cortas; el ángulo de los tallos variaba entre abierto a erecto y las semillas de dos plantas tenían una apícula de un definido color negro. Las observaciones generales de toda la población segregante de 22 plantas revelaron una considerable variación en altura de la planta, época floración y madurez, esterilidad y densidad de tallos así como en los caracteres registrados en el Cuadro 4.

Entrada 79/16

Esta entrada también fue recolectada de un campo de producción de semillas de la variedad *Starbonnet* en el año 1979. Tenía granos medios, pubescentes, finos, con pericarpio rojo, cáscara negra pálida o gris y aristas largas. Unas pocas semanas después del trasplante fue evidente que las 25 plantas sobrevivientes eran otra población segregante. Las observaciones y mediciones de los caracteres seleccionados de 16 plantas se presentan en el Cuadro 5. De las restantes nueve plantas de las 25 sobrevivientes, cinco eran muy tardías o muy estériles y cuatro de ellas, por diversas razones, no fueron incluidas en las mediciones. Quince de las 16 plantas tenían pericarpio rojo y una era blanca. La mayoría de las plantas era relativamente alta comparada con *Starbonnet* (118 cm) pero tres plantas eran de casi la misma altura o algo menos. Los días al 50

por ciento de la antesis variaron entre 102 y 111 comparados con 105 días para *Starbonnet*. El número de tallos varió desde un mínimo de 21 a 61 y su ángulo fue erecto en cinco plantas, intermedio en ocho y abierto en tres. Nueve plantas tenían hojas púrpura mientras que las otras siete tenían hojas verdes «normales»; siete plantas eran glabras y nueve eran pubescentes. El color de la cáscara varió considerablemente: cinco plantas eran de cáscara pajiza, seis tenían cáscara negra de tono intermedio, una tenía cáscara color negro pálido o gris como el parental 79/16, dos tenían cáscara negra y dos cáscara marrón oscuro. Todas las plantas tenían aristas que variaban desde una simple punta hasta aristas largas. El tipo de grano era sobre todo medio pero había varios tipos de grano largo, incluyendo uno con el pericarpio blanco. La latencia varió de muy intensa a nula para el tipo de pericarpio blanco. Solamente una de las siete plantas con hojas glabras también tenía granos glabros. Las semillas de las 21 plantas que produjeron semillas se muestran en la Lámina 6.

En base a las observaciones de los materiales segregados producidos por la entrada 78/21, la cáscara pajiza y la segregación de grano largo (Cuadro 4), durante las generaciones iniciales y subsiguientes parecieron ser una segregación de una generación relativamente temprana de un cruzamiento entre la variedad *Starbonnet* y uno de los *SHR* comunes, posiblemente el de arista corta *SHR* (*SHA+*). La entrada fue recolectada en un campo de *Starbonnet*, variedad que ocupaba probablemente el 75 por ciento del área sembrada con arroz en el estado a finales de la década de 1970. Esta conclusión fue apoyada por la selección de líneas múltiples de arroz rojo que eran muy uniformes y estables y casi idénticas a, o mejor



J.C. DELOUCHE, 1982

Lámina 6
Variación de las características de la espiguilla (semilla) de 21 de las progenies producidas por la segregación de 79/16 (R-16) recolectada en 1979.

CUADRO 4

Características de la progenie de RR 78/21 segregante recolectada en un campo de variedad *Starbonnet* en Mississippi, EE.UU.A. en 1978.

Nº Colección 78/21	Color de cáscara Pajizo	Tipo de grano Largo	Color de grano Rojo	Pubescencia -	Aristas No	Otras observaciones Ligeramente más alta que <i>Starbonnet</i>
Progenies						
21-I	Marrón	Medio	Blanco	Pubescente	Rudimentaria	Pocas aristadas
21-II	Pajizo	Medio	Rojo	Glabro	No	Ángulo del tallo erecto
21-III	Pajizo	Largo	Blanco	Pubescente	Larga	Ángulo del tallo abierto
21-IV	Pajizo	Largo	Rojo	Glabro	Larga	Ángulo del tallo abierto
21-V	Pajizo	Medio	Blanco	Glabro	Corta	
21-VI	Pajizo	Largo	Blanco	Glabro	Rudimentaria	Ángulo del tallo intermedio
21-VII	Pajizo	Largo	Rojo	Pubescente	Larga	Floración muy tardía
21-VIII	Marrón	Medio	Rojo	Pubescente	Corta	Ángulo del tallo erecto
21-IX	Pajizo	Medio	Blanco	Glabro	Larga	Ángulo del tallo intermedio
21-X	Pajizo	Largo	Blanco	Glabro	Larga roja	Apícula negra
21-XI	Pajizo	Medio	Blanco	Pubescente	Larga	Ángulo del tallo erecto
21-XII	Pajizo	Largo	Rojo	Glabro	Larga	Ángulo del tallo intermedio
21-XIII	Pajizo	Medio	Blanco	Pubescente	Larga	Ángulo del tallo intermedio
21-XIV	Pajizo	Largo	Blanco	Pubescente	Larga	Ángulo del tallo erecto
21-XV	Pajizo	Largo	Blanco	Glabro	Larga roja	Apícula negra

Fuente: datos de Do Lago (1982).



J.C. DELOUCHE, 1993

Lámina 7

Líneas de RR tipo *Starbonnet* (SB) desarrolladas por selección de la segregación de la progenie de 78/21. Arriba, de izquierda a derecha: panojas no desgranadoras de dos líneas de RR y SB. Abajo, de izquierda a derecha: SB, dos líneas glabras de RR y una línea pubescente.

dicho, «esencialmente derivadas de» *Starbonnet* después de cinco o seis generaciones de tal modo que aún los más experimentados inspectores de campo tenían dificultades para distinguirlas de *Starbonnet* (Lámina 7).

Es más difícil especular sobre las relaciones parentales de las segregaciones de la entrada cáscara negra pálida 79/16, aristada y grano medio fino. Esta también fue recolectada en un campo de *Starbonnet* y el RR común de cáscara negra y aristas largas (*BLKH*) es probablemente uno de los progenitores. Alguna de las segregaciones producidas por la entrada 79/16 en las generaciones sucesivas fueron tan altas o más que *BLKH* y similares a esta en lo que respecta a las hojas, producción de tallos y características del grano. Sin embargo, muchas de estas segregaciones tenían una vaina de la hoja marcadamente púrpura y esta coloración se extendía en algunos casos a la lámina de las hojas si bien no estaba presente en *Starbonnet* y en las poblaciones *BLKH*. El carácter lámina púrpura de la hoja fue, sin embargo,

observado en unas pocas variantes con pericarpio blanco recolectadas de campos de producción de semilla certificada de arroz y sembradas para observaciones.

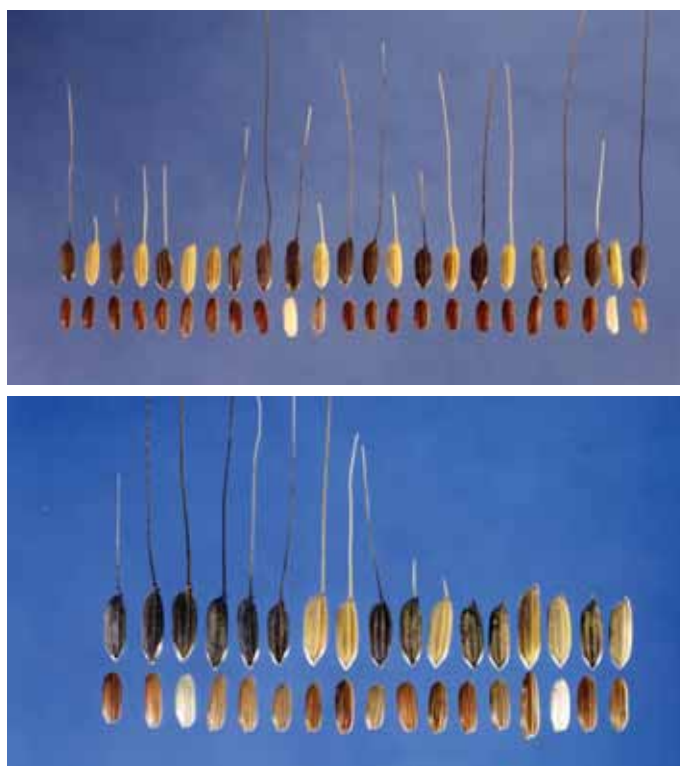
Ejemplos de la variabilidad de las características de la espiguilla (grano) y el cariósipide en las segregaciones de las generaciones siguientes de las entradas 78/21 y 79/16 se aprecian en las láminas, 8, 9 y 10.

Contemporáneamente con el trabajo de Larinde (1979) y Do Lago (1982) en Mississippi y Helpert (1981) en Texas, Estados Unidos de América, investigadores en Brasil también buscaban diversidad en arroz rojo. Marques y sus asociados (Marques *et al.*, 1983) estaban catalogando la variabilidad del arroz de cáscara roja y de cáscara negra en Brasil y sus efectos sobre la producción de semillas, mientras que otro equipo brasileño (Galli, Terres y Him, 1982) estaba examinando los híbridos entre los cruzamientos de arroz cultivado con arroz rojo.

Ejemplos de la variabilidad de las características de la espiguilla (grano) y el cariósipide en las segregaciones de las generaciones siguientes de las entradas 78/21 y 79/16 se aprecian en las láminas, 8, 9 y 10.

TEXAS – ESTUDIO COMPARATIVO DE LA DIVERSIDAD EN ARROCES ROJOS DE CUATRO ESTADOS

Noldin (1995) comparó y caracterizó 19 ecotipos de *RR* obtenidos de los investigadores en Arkansas (cuatro ecotipos), Louisiana (cinco ecotipos), Mississippi (seis ecotipos, cinco de los cuales recolectados a fines de la década de 1970 para el estudio de Do Lago) y Texas (cuatro ecotipos). Los ecotipos representaban esencialmente todos los colores de cáscara: 11 de color pajizo, cinco negros, dos dorados y uno marrón. Las siembras de comparación incluyeron



J.C. DELOUCHE, 1986

Lámina 8
Variación de las características de la espiguilla de la progenie de las segregaciones de las entradas 78/21 y 79/16 recolectadas en arrozales de Starbonnet en Mississippi, en 1978 y 1979. Notar la variación en largo del grano, color de la cáscara y aristas.



J.C. DELOUCHE, 1986

Lámina 9
Variación en el largo del grano, aristas y color en arroz con pericarpio blanco y cáscara negra de poblaciones segregantes.



J.C. DELOUCHE, 1990

Lámina 10

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

variedades populares cultivadas y se instalaron en la *Texas A & M Research Farm*, College Station, Texas, Estados Unidos de América y fueron observados y/o evaluados 46 diferentes caracteres de las plantas y las semillas. A continuación se presenta un resumen de los resultados.

- La mayoría de los ecotipos eran uniformes y estables si bien había considerable variabilidad entre ecotipos.
- En promedio, los ecotipos de *RR* comparados con las variedades cultivadas eran más altos, pubescentes, tenían hojas color verde claro, más tallos, panojas y semillas por panoja, hoja bandera más grande, mayor área foliar por planta y desgranaban abundantemente.
- La mayoría de los ecotipos de *RR* tenían caracteres asociados con alta habilidad competitiva: eran más altos que las variedades cultivadas y producían más área de biomasa (tallos por planta × peso de la planta sobre el suelo).

CUADRO 5

Características de la progenie de las segregaciones de arroz rojo 79/16 en un arrozal de Starbonnet en Mississippi, EE.UU.A. en 1979

Colección N°	Altura de planta (cm)	50 % de antesis (días)	Tallos		Hojas		Cáscaras		Color del grano Rojo	Aristas	Germinación %
			N°	Ángulo	Color	Pubesc.	Color	Pubesc.			
79/16	-	-	-	-	-	-	BLK	PUB		-	-
Progenie											
16/1	110	109	35	INT	PPL	GLB	STW	PUB	Rojo	Si	12
16/2	114	100	35	INT	PPL	PUB	IBL	PUB	Rojo	Si	-
16/3	140	112	33	OPN	PPL	PUB	STW	PUB	Rojo	Si	-
16/4	131	113	51	INT	GRN	PUB	IBL	PUB	Rojo	Si	3
16/5	114	110	22	ERT	GRN	GLB	STW	PUB	Rojo	No	27
16/6	141	110	42	INT	PPL	GLB	DBR	GLB	Rojo	No	2
16/7	149	103	21	ERT	GRN	PUB	IBL	PUB	Rojo	Si	12
16/8	147	103	47	OPN	GRN	GLB	IBL	PUB	Rojo	Si	19
16/9	145	102	43	ERT	GRN	PUB	IBL	PUB	Blanco	Si	96
16/12	135	111	61	OPN	GRN	PUB	DBL	PUB	Rojo	Si	15
16/14	138	111	39	INT	PPL	PUB	STW	PUB	Rojo	Si	-
16/17	149	107	49	INT	PPL	PUB	DBR	PUB	Rojo	Si	-
16/19	159	103	35	INT	PPL	GLB	DBL	PUB	Rojo	Si	11
16/20	152	101	41	INT	GRN	GLB	STW	PUB	Rojo	Si	47
16/21	146	103	32	ERT	PPL	PUB	FBL	PUB	Rojo	Si	9
16/22	156	102	40	ERT	PPL	GLB	IBL	PUB	Rojo	Si	4

Abreviaciones: ERT = erecto; INT = intermedio; PPL = púrpura; GRN = verde; PUB = pubescencia o pubescente;

GLB = glabro; STW = pajizo (color de cáscara); STW - = genotipo cáscara pajiza, mítica; STW+ = genotipo cáscara pajiza, aristada;

BLK = negro; DBL = negro oscuro; IBL = negro intermedio; DBR = marrón oscuro o bronceado.

Fuente: datos de Do Lago (1982)

- En promedio, los ecotipos *RR* florecieron tres a cinco días antes que la variedad semienana *Lemont* pero 12 de los 19 ecotipos alcanzaron el 50 por ciento de la antesis al mismo tiempo que esa variedad.

Varios de los ecotipos tenían plantas y semillas con caracteres similares a algunas variedades comerciales, es decir, hojas erectas y glabras, tallos erectos, relativa resistencia al desgrane y granos largos y finos.

ARKANSAS – DIVERSIDAD FENOTÍPICA Y GENÉTICA DEL ARROZ ROJO

Diversidad fenotípica

Arkansas es el estado mayor productor de arroz de los Estados Unidos de América, con alrededor del 50 por ciento del total nacional. Los investigadores del *Dale Bumpers National Rice Center* (NRRC) en Stuttgart y la *University of Arkansas* han llevado a cabo la más reciente y completa encuesta sobre arroces rojos en el área arrocera del sur (Figura 1). Las 136 muestras obtenidas en Arkansas entre 2002 y 2004 confirmaron que la mayoría (76 por ciento) de los arroces rojos eran *SHR* mientras que cerca del 95 por ciento de los mismos eran mútricos (Cuadro 6). Los arroces *BHR* comprendían 15 por ciento de las entradas y 95 por ciento de los mismos no tenían aristas. De estos han evolucionado unos pocos arroces *SHR* y *BHR* mútricos. Los arroces *BrHR* constituyeron un grupo muy pequeño y todos eran mútricos. El largo de las aristas varió entre unos pocos milímetros hasta cerca 10 cm (Lámina 11). La mayor variación en la altura de la planta se encontró en el grupo *BHR* donde la entrada más baja tenía 110 cm y la más alta 170 cm. Algunos arroces *BrHR* eran tan altos como los *BHR* pero no hubieron entradas bajas. Los arroces *SHR* tuvieron el menor rango de altura de planta (120 a 150 cm). En promedio, las entradas *BHR* comprendieron las plantas más altas. La altura de las plantas es, obviamente, un carácter influenciado por el ambiente, pero los genotipos altos son casi siempre invariablemente altos en relación a los genotipos medios y bajos -por ejemplo semienanos- bajo condiciones ambientales similares. Si bien las plantas altas tienen por lo general una ventaja competitiva, los arroces bajos también tienen ventajas para el establecimiento, sobrevivencia y dispersión en los arrozales. Las plantas de arroz rojo con una altura aproximada a aquella de la variedad cultivada y especialmente con tallos y hojas erectas, a menudo no son reconocidas durante inspecciones casuales o rigurosas, se reproducen y pierden semillas destinadas al banco de semillas del suelo en esa estación y probablemente en estaciones subsiguientes. Por el contrario, una planta de arroz rojo más alta que la variedad cultivada es fácilmente

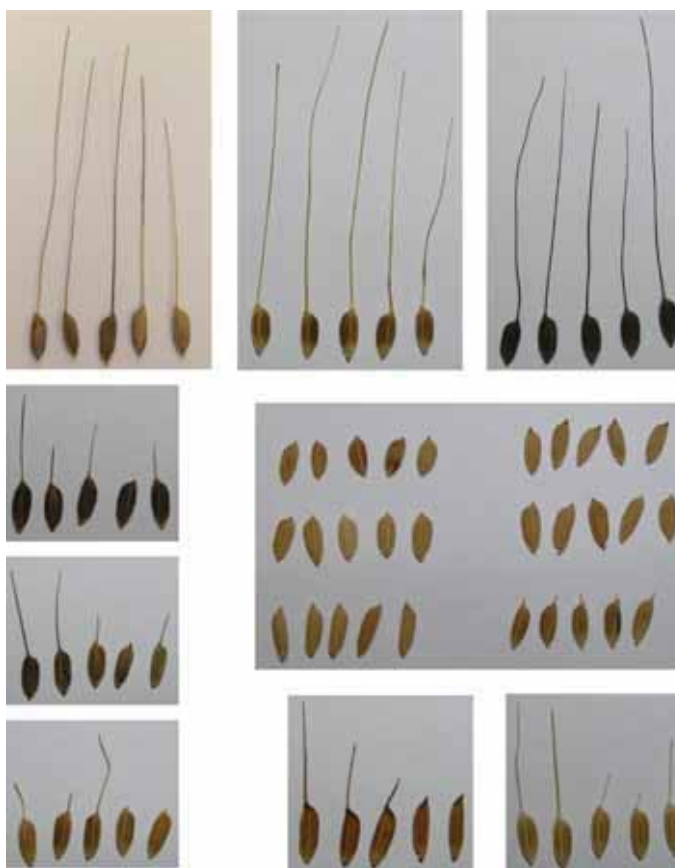
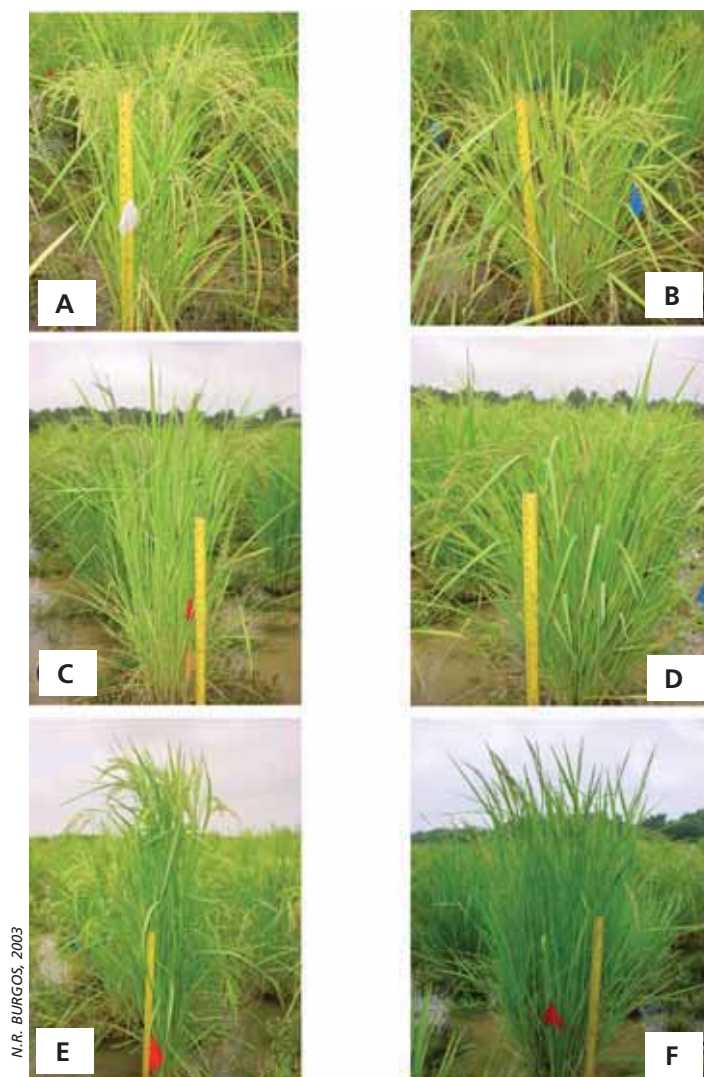


Lámina 11
Tipos de granos de arroz maleza (arroz rojo) en Arkansas, Estados Unidos de América, recolectadas entre 2002 y 2003.



N.R. BURGOS, 2003

Lámina 12

Tipos representativos de arroz maleza en Arkansas, EE.UU.A.

A: bajo, compacto; B: bajo, abierto; C: alto intermedio, compacto; D: alto intermedio, abierto; E: alto, compacto; F: alto, dosel foliar abierto.

identificada en los campos de arroz y puede ser removida antes de su reproducción.

La Lámina 12 muestra tipos representativos de plantas de varias alturas y estructura del dosel foliar. Las plantas grandes y altas tienen una extremidad pesada y por lo general se vuelcan a su madurez, especialmente cuando se siembran a alta densidad. Cuando el arroz rojo se vuelca el cultivo de arroz infestado también se vuelca debido al peso de la biomasa del arroz rojo dificultando la cosecha. La producción de tallos en ausencia de competencia puede variar entre 50 y 60 tallos, generalmente comprendida entre 70 y 140 tallos por planta. La estructura del dosel foliar de las plantas de arroz rojo varía ampliamente desde una estructura de los tallos erecta hasta muy abierta. Mientras que la mayoría de las plantas de todos los tipos de cáscara tienen una estructura de dosel foliar (ángulo del tallo = 20 a 45°), una mayor proporción de los arroces *BHR* tienen tallos erectos y sólo 10 por ciento del arroces *SHR* son erectos.

Esta reciente caracterización de las poblaciones de arroz rojo en Arkansas no se desvía significativamente de la caracterización morfológica de los arroces hecha en Louisiana cerca de medio siglo antes, de la caracterización más detallada hecha

en Mississippi a inicios de la década de 1980 y de los estudios comparativos de Texas sobre los arroces rojos de cuatro estados a mediados de la década de 1990. Es probable que las actuales encuestas en Louisiana, Mississippi y Texas puedan encontrar que los arroces *SHR* míticos aún son dominantes en el grupo, que los arroces *BHR* de aristas largas son de importancia secundaria y que los arroces *BrHR* y de cáscara gris son aún grupos distintos de menor importancia. Pero también es probable que la diversidad dentro de cada grupo de color de cáscara se pueda haber incrementado, especialmente de la base de 1960 debido a los cruzamientos con variedades más bajas y más erectas. El tipo más raro de arroz rojo es el de cáscara dorada encontrado en Arkansas en un solo caso y en unos pocos lugares en Louisiana y Texas. De la colección de arroces rojos de Arkansas, el arroz de cáscara dorada es también el más diferente desde el punto de vista morfológico con hojas bandera largas (42 cm) y anchas (19 mm), vaina basal de la hoja de color púrpura, hojas verde oscuro, granos largos (8,6 mm) más que otros tipos de arroz rojo y un desgrane insignificante. Si bien esta población es estable, su baja capacidad de desgrane puede eventualmente causar su eliminación desde el punto de

CUADRO 6
Caracterización de arroz rojo en Arkansas, EE.UU.A.

Característica	Cáscara negra	Cáscara marrón	Cáscara pajiza
Ocurrencia (% del total)	15	8	76
Promedio largo grano (mm)	7,9	8,2	7,7
Promedio espesor grano (mm)	2,0	2,0	2,3
Presencia de arista**	Porcentaje de cada tipo de cáscara		
Con arista	95	100	6
Color de arista	Porcentaje de tipos con arista		
Negro	100	0	0
Pajizo	0	100	50
Rosado	0	0	50
Promedio largo arista (mm)	5	6	6
Producción semillas (g/pl)	75 – 250	150 – 225	100 – 275
Rendimiento predominante de semillas (g/planta)	175 – 200	150 – 175	24 – 32
Largo panoja (cm)	22 – 30	24 – 30	26 – 28
Largo predominante de panoja (cm)	28	28	70 – 120
Número tallos	80 – 140	70 – 130	90 – 100
Número predominante de tallos	120	120	120 – 150
Altura planta (cm)	110 – 170	120 – 170	140
Altura predominante de planta (cm)	160	150	
Estructura dosel foliar	Porcentaje de cada tipo de cáscara		
Cerrado o erecto (<20°)	28	9	10
Intermedio (20° a 45°)	43	64	79
Abierto (>45°)	28	27	12
Largo hoja bandera (cm)	30 – 45	35 – 45	20 – 55
Largo predominante de hoja bandera (cm)	35	35 – 40	40
Unidades acumulativas de calor requeridas para florecer	1 042 – 1 389	1 047 – 1 307	942 – 1 401

Notas: Plantas individuales fueron cultivadas entre mayo y octubre 2003 en el *Rice Research Extension Center*, Stuttgart, Arkansas, EE.UU.A.

Datos de 136 entradas con hasta 10 plantas por entrada, sembradas a 1 m x 1 m. Las entradas fueron recolectadas de la parte más al norte y más al sur del estado entre latitudes 33° y 36,5°.

**Algunas panojas tienen 100 por ciento de granos con aristas mientras que otras solo en la parte superior de la panícula tienen granos con aristas; el largo de la arista varía dentro de la panoja.

Fuente: Shivrain (2004).

Las muestras de arroz rojo fueron recolectadas de granos de arroz contaminado en 11 instalaciones de secado de grano de todo el estado de Arkansas. Dado que cada secador trabaja con arroz recogido en las inmediaciones, un secador puede ser relacionado a una subregión que, por lo general, comprende dos o tres condados. Un total de 55 muestras de arroz rojo (cinco por secador) fueron registradas por la huella genética del ADN usando marcadores de *SSR* junto con ocho variedades de arroz, todas las cuales se sembraron al mismo tiempo en los predios en que se originaron las muestras (Rajguru *et al.*, 2001). Las variedades de arroz eran *Bengal*, *Cypress*, *Drew*, *Jefferson*, *Kaybonnet*, *LaGrue*, *Leah* y *Lemont*. Tal como se esperaba, la media de la distancia genética (GD) entre las variedades (0,28) fue menor al ser comparada con las muestras de arroz rojo (0,46). La distancia genética es la medida de la variabilidad genética con valores que varían entre 0 y 1. A medida que la distancia genética se aproxima a 0 los individuos se asemejan hasta ser genéticamente idénticos. Por esta razón, las variedades de arroz cultivadas en la parte sur de los Estados Unidos de América son genéticamente más homogéneas mientras que las poblaciones de arroz rojo mantienen un alto grado de variabilidad genética. El condado de origen (en este caso, secador) tenía la mayor contribución ($R^2=54$) a la variabilidad genética entre todas las muestras de arroz rojo. En general, los arroces rojos fueron genéticamente más homogéneos dentro de los lugares que entre los mismos. Por esta razón, parecería que la evolución del genotipo de los arroces rojos es fuertemente influenciada por la ubicación geográfica, como ocurre comúnmente con otras especies. Esta evolución localizada se manifiesta en

cierta medida por la influencia de la latitud sobre los días a la madurez de las distintas entradas de arroz rojo.

La gran diversidad en las características de los arrozces rojos descrita para el caso de Arkansas y otros estados adyacentes apoya la hipótesis de que no todos los arrozces maleza del país son del tipo *indica* sino que algunos son probablemente del tipo *japonica*. Sin considerar las subespecies de *Oryza sativa* a las cuales los arrozces rojos están más estrechamente relacionados, es obvio, tal como notó Constantin (1960), que su mayor diversidad no puede ser causada sólo por las semillas de arroz contaminadas importadas de otros países o intercambiadas dentro del país entre los estados productores de arroz. Por lo tanto, la mayor parte de la diversidad debe derivar de una hibridación natural entre los arrozces tipos maleza y entre estos y la sucesión continua de variedades de arroz de diferente altura, estructura del dosel foliar, madurez, tipo de grano y otras características. La posibilidad de que parte de la diversidad de los arrozces rojos se origine por hibridación con especies completamente diferentes, p. ej., *Oryza nivara* u *O. rufipogon* tampoco puede dejar de ser considerada, pero requiere una verificación más rigurosa. La lección práctica que emana de los estudios sobre la diversidad de los arrozces rojos es que no todos los arrozces *SHR* o *BHR* tienen la misma constitución. Las poblaciones dentro de cada grupo difieren suficientemente para tener impacto sobre las estrategias de manejo para el control de los arrozces maleza rojos.

DESARROLLO DE GRUPOS HÍBRIDOS

No hay duda de que los cruzamientos naturales de los arrozces maleza rojos con las variedades de arroz cultivadas es el origen de los múltiples fenotipos, ecotipos y biotipos observados y de los que se ha informado por más de 100 años. Los grupos híbridos segregantes de muchos caracteres que emergen de las cruzamientos naturales entre arroz blanco y arroz rojo podrían generar cientos de arrozces malezas distintos con pericarpios rojos o blancos. Sin embargo, dado que esto no ha ocurrido, conduce a algunas preguntas sobre que ocurre con los grupos híbridos. O, dicho de otra manera, ¿porqué los comunes y bien conocidos complejos *SHR* y *BHR* mantuvieron su posición dominante por tan largo tiempo en los Estados Unidos de América, contra las considerables presiones de los múltiples grupos híbridos producidos por los cruzamientos naturales? Parecería razonable esperar que pudiera surgir un gran número de tipos distintos y estables o que un tipo o tipos muy similares a las variedades cultivadas de arroz, excepto en desgrane, latencia, número de tallos y competitividad que podría pasar a ser dominante como resultado de la selección natural ayudada por una selección incidental inconsciente e indirecta de la producción de arroz, por ejemplo, por la eliminación de plantas fuera de tipo, cosecha mecánica, remoción de algunos tipos de arrozces rojos contaminantes durante el procesamiento de las semillas, rotación de cultivos y otros. Surge también otra pregunta: ¿porqué no hay arrozces de pericarpio blanco con las características típicas del arroz rojo infestando los arrozales?

Presiones de selección sobre los segregantes

Aún no se han dado respuestas definitivas a las preguntas anteriores si bien las observaciones y los datos disponibles recolectados durante los últimos 50 o 60 años proporcionan algunas bases para especulación. Puede haber una respuesta parcial a la pregunta de porqué las presiones de selección, directas e indirectas, producen tipos de arrozces rojos que son muy similares a las variedades cultivadas que aquellos infestan. Aparentemente, esto ocurre en medida considerable tal como evidencian las observaciones y datos de los estudios de diversidad y variabilidad de los arrozces rojos en Louisiana, Mississippi y Arkansas. Los fenotipos dominantes de arroz rojo que infestaban los arrozales en Louisiana en la década

de 1950 eran, primeramente, los tipos *SHR* (61 por ciento) y en segundo lugar los tipos *BHR* (25 por ciento). En el estudio de Mississippi, 20 años más tarde, 69 por ciento de los arroces rojos recolectados fueron del tipo *SHR* y 25 por ciento fueron del tipo *BHR*. En el más reciente y completo estudio en Arkansas, en 2002-2004, 76 por ciento de los arroces rojos recolectados fueron del grupo *SHR* mientras solo 15 por ciento pertenecían al grupo *BHR*. La mayoría de los arroces dominantes *SHR* estudiados en los tres estados en un período de casi 60 años eran míticos mientras que esencialmente todos los tipos *BHR* tenían aristas conspicuas. En términos generales, los tipos dominantes míticos *SHR* son más similares en apariencia general a las variedades cultivadas y, por lo tanto, menos evidentes durante las inspecciones y las operaciones de remoción que las plantas generalmente más altas y más erectas de los tipos *BHR* con aristas. Más aún, existe alguna indicación en los resultados de los tres estudios que la dominancia del tipo *SHR* está aumentando: 61 por ciento en el estudio de 1960 y 76 por ciento en los estudios de 2002-2004. Por otro lado, los tipos *BHR* más diferentes y fácilmente reconocibles parecen estar disminuyendo: 25 por ciento en los estudios de 1960 y 1982 y sólo 15 por ciento en los estudios de 2002-2004. Estos resultados, por lo tanto, sugieren que los arroces *SHR* son dominantes porque hay una selección directa, indirecta e inconciente hacia las variedades cultivadas sin pérdida de los caracteres fundamentales que los caracterizan como maleza tal como desgrane, latencia, vigor vegetativo y competitividad. Por otro lado, los dos arroces *SHR* claramente distintos en los estudios de 1982 en Mississippi, que simulaban el arroz cultivado excepto para la evidencia de la altura tenían hojas glabras, tallos erectos, panojas compactas, granos largos míticos, pero aparentemente no eran exitosos como malezas porque no retenían los caracteres fundamentales de malezas. Producían relativamente pocos tallos, eran relativamente resistentes al desgrane, la latencia no era persistente o intensa y eran conspicuamente altos, lo cual sin duda atraía la atención de los inspectores o de los equipos encargados de la limpieza del cultivo.

Entre los fenotipos de arroz rojo más interesantes y reveladores de los estudios llevados a cabo en Mississippi se encuentran las entradas 86/1, 88/1, 89/1, 90/1 y 90/2 recolectadas entre 1986 y 1990 (Cuadro 2). Estas cinco entradas recolectadas siete a 12 años más tarde que la colección básica a fines de la década de 1970 eran uniformes y estables con hojas erectas y granos con cáscara pajiza, tres entradas tenían granos largos y dos tenían granos medios, dos entradas tenían aristas cortas y tres entradas eran míticas, tres entradas desgranaban temprano y abundantemente, dos entradas desgranaban moderadamente, cuatro entradas eran glabras y una pubescente y todas eran de una altura de 95 cm o menos, con tres líneas de la misma altura como las nuevas (de la década de 1980) variedades semienanas representadas por la variedad *Lemont*. Muy probablemente estas cinco líneas de arroz rojo se originaron en cruzamientos entre un arroz rojo común, tal vez el fenotipo *SHR* más común, y una de las variedades semienanas que empezaron a reemplazar las variedades altas *Starbonnet* a mediados de la década de 1970. Fueron probablemente importadas de otro estado en lotes de semillas de la variedad *Lemont* donde presiones indirectas, naturales e inconcientes, asociadas a prácticas culturales que habían producido algunos fenotipos de arroz rojo que simulaban las nuevas variedades semienanas con tres de los fenotipos muy similares a la variedad semienana *Lemont*. Las simulaciones no están restringidas a variantes intraespecíficas. Una gramínea acuática resistente a los herbicidas, *Echinochloa phyllopogon*, que infesta los arrozales en California es conocida como «pasto simulador» porque su aspecto se asemeja al del arroz y porque también tiene capacidad para detoxificar ciertos herbicidas (Katz, 2005).

Las observaciones hechas por Craigmiles (1978) señalan que la mayoría de los principales caracteres morfológicos y fisiológicos que distinguen los arroces rojos de los arroces cultivados, a saber, pericarpio rojo, pubescencia, desgrane temprano y abundante, latencia intensa y persistente, altura y madurez tardía, vigor vegetativo y color verde claro, son genéticamente dominantes sobre sus alelos en el arroz cultivado,

por lo que no sorprende que los nuevos tipos de arroz puedan aparecer y aparezcan como resultado de cruzamientos naturales.

Otras ideas sobre las poblaciones híbridas

Existen varias ideas, hipótesis o creencias que originan las poblaciones híbridas a partir de arroz cultivado y arroz rojo o arroz salvaje y al desarrollo de sus segregaciones. Un conjunto de ideas basadas en los trabajos de Oka y Chang (1959), De Wet y Harlan (1975) y los estudios sobre la competencia en el arroz por Jennings y Aquino (1968) fue resumido por Noldin (1995), como sigue:

«...la hibridación entre arroz cultivado y arroz rojo podría producir una población de gran diversidad genética pero esta variabilidad podría ser reducida por la selección natural, incluyendo la presión de cultivo...ecotipos (de arroz rojo) semejando cultivares de que arroz están en situación selectiva desventajosa en la competencia con otros cultivares. La selección natural para adaptabilidad al ambiente conduce a una menor aptitud y, por lo tanto, ocurre una rápida eliminación de esas formas».

Por otro lado, Langevin, Clay y Grace (1990), entendieron que los cruzamientos naturales de los arroz cultivados podía dar lugar a una «selección natural» de los tipos de arroz rojo con muchas características de los arroz cultivados que fortalecen su adaptabilidad y competitividad haciendo así difícil su control. Esta idea está, en general, de acuerdo con Galli, Terres y Him (1982) quienes sostuvieron que las razas *maleza* de los cultivos que son fenotípicamente similares pero genéticamente distintas del cultivo, son más exitosas. Anteriormente, Jodon (1959) observó que dado que el arroz rojo se cruza «fácilmente con el arroz común», esta hibridación podría originar un incremento a innumerables tipos de arroz rojo pero esto no ha sucedido (hasta 1959). Además notó que había solo unos pocos tipos de arroz rojo y que se asemejaban entre si mucho más que lo que se asemejaban a las variedades cultivadas e indicó que, en su opinión, la razón por la cual los tipos de arroz rojo no son más numerosos es porque «...los arroz rojos híbridos (con arroz cultivado) son de madurez más tardía que cualquiera de las formas parentales. Consecuentemente, un campo por lo general es cortado (cosechado) antes de que los híbridos puedan madurar la semilla. En un cierto sentido, se están autoeliminando».

El desarrollo de los grupos segregantes de los híbridos rojos × blancos y su cruza recíproca es un tema importante para el desarrollo de estrategias para el control de los arroz rojos. Más adelante, en este capítulo y en el Capítulo 6 *Relaciones agroecológicas* se discute nuevamente el tema ya que las explicaciones más razonables sobre el desarrollo de las segregaciones involucran las tres características discutidas en los capítulos siguientes y sus interacciones que parecen ser críticas para el éxito de los tipos de arroz rojo como *maleza*.

Magnitud del cruzamiento natural en el arroz

El arroz es una especie autofecunda pero, como ocurre en otras especies autofecundas, los fitomejoradores han reconocido que la incidencia de la polinización cruzada es importante y debe ser considerada en sus trabajos. La hibridación de los arroz *maleza*, incluyendo el arroz rojo, con el arroz cultivado ha sido cuidadosamente revisada por Gealy (2005) y se discute más adelante. Aquí se presentan algunos estudios clásicos sobre fecundación cruzada en arroz junto con hallazgos que han sido generalmente aceptados. En 1938, cinco investigadores llevaron a cabo un trabajo cooperativo para determinar la magnitud del cruzamiento natural del arroz en las principales áreas arroceras de los Estados Unidos de América (Beachell *et al.*, 1938). En base a la literatura disponible en ese momento se sabía que el cruzamiento natural en el sur de Asia variaba para las variedades cultivadas entre 1,1 por ciento en Birmania (hoy Myanmar) a 4 por ciento

en Bengala, pero llegaba hasta 8 por ciento en los arroces salvajes. La incidencia de los cruzamientos naturales en el arroz en otras áreas de Asia era de 1 por ciento en Japón, 1,3 a 4 por ciento en Java, 2,4 por ciento para panojas embolsadas en las Filipinas y de 0,07 en Sri Lanka. Sus experimentos en Estados Unidos de América comprendieron cruzamientos naturales de variedades de arroz glutinoso con variedades «normales» sembradas en surcos adyacentes en Arkansas, California, Louisiana y Texas. Los resultados obtenidos indicaron que la incidencia del cruzamiento natural variaba entre localidades, distancia, variedades, estación y condiciones climáticas y fue generalmente más alto en los estados húmedos del sur que en California. En general, la magnitud del cruzamiento natural varió entre 0 y 3,39 por ciento con un promedio de 0,45 por ciento para todos los lugares. En un informe posterior de Malasia (Brown, 1957) también indicó un valor de 0,45 por ciento entre las variedades de ese país. Jodon (1959), uno de los autores de los experimentos en múltiples localidades sobre cruzamiento natural del arroz, discutió posteriormente el cruzamiento natural del arroz basado en sus experiencias y observaciones en Louisiana. Estableció que el cruzamiento natural ocurre entre las variedades de arroz o los arroces rojos que crecen en los arrozales y que florecen al mismo tiempo, a razón de uno por ciento en plantas sembradas a 30 cm de distancia. Es interesante notar que hipotizó que cerca de la mitad de las panojas en un arrozal tienen una o más semillas resultantes de la fertilización con polen de otra planta cercana. Si «las plantas cercanas eran de arroz rojo y de arroz cultivado», la progenie podría ser un híbrido intervarietal blanco × rojo o viceversa.

El progreso hecho en el desarrollo de variedades de arroz resistentes a los herbicidas para el control del arroz rojo y otras malezas gramíneas que están desarrollando resistencia a distintos herbicidas ha estimulado la investigación sobre el flujo de genes entre variedades cultivadas y arroces maleza. El estudio de Langevin, Clay y Grace (1990) sobre la incidencia y efectos de los cruzamientos entre arroz cultivado y arroz rojo en Louisiana fue el primero realizado dentro de la nueva perspectiva biotecnológica. Los autores encontraron que el porcentaje de cruzamiento natural entre arroz rojo y variedades seleccionadas de arroz varió entre uno por ciento en la variedad *Lemont* -una cifra de acuerdo con lo sostenido durante mucho tiempo en base a los estudios de Beachell *et al.* (1938) y Jodon (1959)- hasta un aparente 52 por ciento para la variedad *Nortai*, lo que fue atribuido a la floración casi sincrónica entre las dos líneas. Sin embargo, Gealy, Mitten y Rutger (2003) sugirieron más tarde que esta alta tasa de cruzamiento no característica puede haber sobreestimado el verdadero porcentaje de cruzamiento, por lo menos en parte, debido al método usado de evaluación indirecta. Las poblaciones de los cruzamientos naturales fueron muy frecuentemente de grano medio, más altas y más tardías en su madurez que los progenitores cultivados. Los estudios en la hibridación del arroz rojo con arroces cultivados en el sureste de los Estados Unidos de América se aceleró en la década de 1990 debido a la inminente liberación de las variedades *Clearfield* resistentes al herbicida imazetafir. El *Dale Bumpers National Rice Research Center* ha sido uno de los pioneros en muchos de estos estudios. Las investigaciones en ese centro y en otras instituciones de la región se revisan y discuten en la sección siguiente. Otras discusiones adicionales sobre la incidencia y riesgos de cruzamientos entre variedades de arroz y variedades resistentes a los herbicidas se discuten en el Capítulo 7

HIBRIDACIÓN DE ARROZ ROJO Y ARROZ CULTIVADO EN ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

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

ingresaron por este medio. Las mutaciones genéticas naturales también ocurren en las poblaciones de plantas pero su frecuencia es muy baja y podrían no ser las responsables por la extensa variabilidad observada en el arroz rojo. La explicación más plausible para la variabilidad entre los tipos de arroz maleza es la introgresión genética desde las plantas cultivadas junto con las introducciones originales de diferentes biotipos de arroz maleza. Las primeras investigaciones hechas en Louisiana proporcionaron evidencia de que la fertilización cruzada entre el arroz cultivado y el arroz rojo realmente ocurre dando lugar a plantas con granos de colores intermedios. La mayoría de los granos de arroz rojo tiene un color rojo oscuro pero algunos tienen un color o sombreado más tenue, entre el rojo oscuro y el blanco (Dodson, 1898). Algunas veces solo la cáscara es roja y otras veces el color rojo penetra en el endosperma. Las investigaciones históricas sobre el arroz rojo indicaron que el color de los granos de arroz rojo variaba entre rojo oscuro a rosado o rojo claro (Kennedy, 1923; Williams, 1956). Muchas variedades de arroz maleza en países productores de arroz en todo mundo presentan un rango variable del color de la semilla. Sin duda, los datos obtenidos con el correr del tiempo en los Estados Unidos de América apoyan la hipótesis de que el arroz cultivado y el arroz rojo se cruzan naturalmente, si bien en baja proporción. En estudios genéticos hechos con *Oryza sativa*, el pericarpio de color rojo ha sido establecido como un carácter dominante controlado por dos genes complementarios (Adair y Jodon, 1973; Bres-Patry *et al.*, 2001). Otros caracteres dominantes importantes son la gran altura, la alta capacidad de producir tallos, el desgrane, la pubescencia y la latencia (Craigmiles, 1978).

Algunas de las progenies de la hibridación entre el arroz cultivado y el arroz rojo son eliminadas al principio del grupo híbrido en razón de algunas características indeseables, por ejemplo, madurez tardía o incapacidad para madurar antes de las heladas, escasa producción de semillas, infertilidad, pérdida de la característica de desgranar, menor intensidad de la latencia de las semillas. Muchas progenies no se establecen porque presentan características que reducen la competitividad tales como baja altura, tallos escasos y débiles, área foliar reducida, tendencia al vuelco temprano y otras. Las pocas progenies que se establecen presentan la mayoría de las características clave del parental maleza dominante y se desarrollan en tipos relativamente distintos de arroz maleza, por lo general el pericarpio rojo; incluso algunos podrían evolucionar en el tiempo hacia nuevas variedades de arroz de pericarpio blanco. Tal como se ha mencionado anteriormente, dos de los arroces *SHR* estables recolectados en los cultivos para producción de semillas en Mississippi tenían relativamente pocos tallos, hojas glabras, tallos erectos y granos largos, o sea características del arroz cultivado (Do Lago, 1982). Si bien esos dos arroces rojos simulan el arroz cultivado no se han establecido exitosamente como malezas, probablemente porque tienen pocas características de los arroces maleza, pero no hay duda que muchos de los tipos difundidos y de difícil manejo en el sur de los Estados Unidos de América con caracteres dominantes de maleza, también evolucionaron a partir de cruzamientos naturales entre arroz cultivado y arroz rojo.

Introgresión genética en el arroz rojo

Oryza sativa es una especie básicamente autofecunda. Las anteras liberan su polen exactamente en el momento antes de la abertura de las flores, pero la fecundación cruzada puede ocurrir y ocurre cuando las anteras permanecen expuestas después que las flores se cierran (Yoshida, 1981). El Cuadro 7 resume los principales hallazgos de los estudios sobre el cruzamiento de arroz y arroz rojo en los Estados Unidos de América.

En Arkansas, California, Louisiana y Texas, la fecundación cruzada entre cultivares de floración sincrónica separados de 0,3 a 1 m de distancia tuvo un promedio general de

0,45 por ciento con un máximo de 3,4 por ciento y fue detectada hasta una distancia de 9 m (Beachell *et al.*, 1938). La fecundación cruzada fue menor en California (0,16 por ciento) que en el sur de los Estados Unidos de América (0,52 por ciento). En estudios recientes, la fecundación cruzada natural entre plantas adyacentes de variedades de arroz resistentes y no resistentes a los herbicidas en California, Louisiana y Texas varió entre 0,08 y 0,11 por ciento y no se detectó a distancias de separación mayores de 1,8 m.

La sincronización floral es el elemento clave para la fecundación cruzada de *Oryza sativa* porque el polen permanece viable solamente unos pocos minutos una vez que es liberado al ambiente (Yoshida, 1981). Cuanto mayor es la separación temporal entre el momento de la floración de dos plantas de arroz, menor será la posibilidad de hibridación entre las mismas. Sin embargo, las flores tardías en una planta de floración temprana podrían estar disponibles para la fecundación cruzada con flores tempranas de una planta de floración tardía. La fecundación cruzada entre el arroz y el arroz rojo puede ocurrir con cualquier tipo de donante de polen o de receptor de polen, pero el arroz rojo -por lo general más alto- parece ser el donante de polen dominante (Estorninos *et al.*, 2003b; Zhang *et al.*, 2003). La ventaja de la altura del arroz rojo parece ser la explicación más lógica, pero las diferentes características florales del arroz cultivado y el arroz rojo también podrían estar involucradas en ese proceso. La dominancia del arroz rojo como polinizador parental no es ventajosa para la evolución de los nuevos tipos de arroz rojo. La sobrevivencia de la progenie podría ser sensiblemente disminuida ya que la mayor parte de las semillas híbridas en la panoja no desgranadora de la variedad cultivada podrían ser removidas del campo con el grano cosechado y las pocas semillas desgranadas que llegan al suelo durante la cosecha tendrían poca latencia y germinarían, sucumbiendo a las temperaturas de congelación durante el invierno. Por otro lado, la fecundación cruzada con el arroz rojo como receptor de polen, o sea como parental femenino, podría favorecer la sobrevivencia de la progenie y la evolución de nuevos tipos de panojas de arroz rojo que podrían desgranar antes de la cosecha o como resultado de la cosecha; muchas de esas podrían sobrevivir al invierno en estado de latencia.

En los Estados Unidos de América los mayores porcentajes de fecundación cruzada han oscilado entre valores indetectables (Estorninos *et al.*, 2003b; Zhang *et al.*, 2003) hasta 3,2 por ciento en un campo de arroz resistente a imidazolinone, en el suroeste de Louisiana, con un pobre control del arroz rojo (Zhang *et al.*, 2004). Con la excepción de un solo informe con 3,2 por ciento de cruzamiento, los porcentajes máximos de cruzamientos han sido de 0,7 por ciento o menos. La sincronización de la floración, las diferencias en altura de las plantas, la anatomía floral, la población de arroz rojo y las condiciones ambientales son probablemente los elementos que contribuyen a las variaciones en la tasa de cruzamientos que se resumen en el Cuadro 7.

Cruzamientos entre arroz variedad *Clearfield* y arroz rojo

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

En campos comerciales de Arkansas, los cruzamientos entre arroz *Clearfield* y arroz rojo fueron detectados en tres de los siete campos infectados con arroz *BrHR*, en cinco de ocho campos infestados con arroz *SHR* y en cuatro de seis campos infestados con tipos *BHR* (Cuadro 8). Esta información deriva de un máximo de 100 plantas de arroz rojo escapadas al tratamiento y muestreadas en cada campo a la madurez. Dado que la fecundación cruzada es altamente dependiente de la sincronización de la floración, es posible deducir que el arroz rojo *BrHR* tiene la menor sobreposición con *Clearfield* en el momento de la floración. El porcentaje de cruzamiento tuvo diferencias entre

CUADRO 7

Fecundación cruzada de arroz cultivado y arroz rojo bajo las condiciones de los Estados Unidos de América.

Polen receptor/polen donante	Lugar	Porcentaje de cruzamiento (%) y distancias de separación (m)	Referencia
Cruzamiento arroz/arroz			
Cv. <i>Oryza sativa</i> /Cv. <i>O. sativa</i>	Stuttgart, Arkansas Crowley, Louisiana Beaumont, Texas	Distancia: 0,3 – 1 m Porcentaje de cruzamiento: general 0,45, máximo 3,4, 0, 16 en California Distancia: 9 m solo en Texas	Beachell et al., 1938
<i>O. sativa</i> cv. <i>Cypress</i> no resistente / <i>O. sativa</i> cv. resistente al glufosinato (LLR/ICE62; var. LL401)	Biggs, California Crowley, Louisiana Beaumont, Texas	Porcentaje de cruzamiento: 0,0 a 0,3. Distancia: 0 - 21 m del borde del arroz resistente al glufosinato. Porcentaje de cruzamiento: indetectable Distancia: plantas adyacentes (arroz resistente y arroz susceptible) Porcentaje de cruzamiento: 0,08.	P. Shannon y S. Lincombe, com. pers. (citada por Gealy, 2005)
Cv. <i>O. sativa</i> (M202) susceptible / cv. <i>O. sativa</i> (M202) resistente	Biggs, California	Promedio general: 0,0051 Distancia: <0,5 m; diseño de surcos alternados con dispersión mecánica del polen Porcentaje de cruzamiento: 0,010 a 0,216	Fischer et al., 2004
Cv. <i>O. sativa</i> susceptible / cv. <i>O. sativa</i> resistente glufosinato	Robbins, California (Davis, California)	Distancia: 0,3 a 15 m; diseño circular con aros concéntricos de arroz susceptible del área donante central con polen de arroz resistente a herbicida Porcentaje de cruzamiento: 0,007 a 0,108; indetectable a >1,8 m de fuente de arroz transgénico Distancia: plantas adyacentes, porcentaje de cruzamiento: 0,1 A 1,5 m: 0,01, porcentaje de cruzamiento A >1,5 m porcentaje de cruzamiento: indetectable	Johnson, Roberts y Mitten, Bayer Crop Science 2001 (citado por Gealy, Mitten y Rutger, 2003).
Cruzamiento arroz rojo / arroz			
Cv. <i>O. sativa</i> CPB6 resistente al glufosinato y cv. <i>O. sativa</i> Purple Haze susceptible/ arroz rojo color pajizo; también sus cruzas recíprocas	Baton Rouge, Louisiana	Distancia: 0,08 a 0, 25 m Porcentaje de cruzamiento: arroz resistente glufosinato /arroz rojo = 0,33 Arroz púrpura/arroz rojo = 0,7	Zhang et al., 2003
Ecotipos <i>O. sativa</i> arroz rojo (8 tipos diferentes) / <i>O. sativa</i> resistente glufosinato cv. <i>Bengal</i> , <i>Gulfmont</i> , o <i>Cypress</i>	Fayetteville, Arkansas	Arroz rojo / arroz rojo resistente glufosinato = indetectable Arroz rojo/arroz púrpura = indetectable Distancia: <0,25 m Porcentaje de cruzamiento: Promedio general: 0,0146 Cruzamiento máximo: 0,37 (con arroz rojo cáscara negra 10A/cv. resistente glufosinato <i>Bengal</i>)	Wheeler y TeBeest, 2002

Nota: se observó una sobreposición importante de los periodos de floración de los pares de especies probadas. En un híbrido producido del cruzamiento «a»/«b», la planta «a» fue femenina y la planta «b» fue masculina.

Fuente: datos modificados de Gealy (2005)

CUADRO 7
Fecundación cruzada de arroz cultivado y arroz rojo bajo las condiciones de los Estados Unidos de América. (continuación)

Polen receptor/polen donante	Lugar	Porcentaje de cruzamiento (%) y distancias de separación (m)	Referencia
Arroz rojo <i>O. sativa</i> / cv. <i>O. sativa</i> IMI-resistente	Stuttgart, Arkansas	Distancia: 0 a 6 m Porcentaje de cruzamiento: Plantas espontáneas CL121 = 0,003; CL161 = 0,007 Muestras recolectadas a mano: CL121 = 0,01 CL161 = 0,02	Shivrain et al., 2006 ^a
Arroz rojo <i>O. sativa</i> /cv. <i>O. sativa</i> IMI-resistente	Stuttgart, Arkansas	Distancia: plantas mezcladas en infestación natural Porcentaje de cruzamiento = 0,012	Estorninos et al., 2002 ^a
Arroz rojo <i>O. sativa</i> / cv. <i>O. sativa</i> IMI-resistente (CL121 y CL161)	Sudoeste Louisiana, 12 campos comerciales arroz IMI-resistente, 2002 y 2003	Distancia: plantas mezcladas en infestación natural Porcentaje de cruzamiento 2002: Promedio todos los sitios = 0,17 Máximo (sitio tenía pobre control arroz rojo) = 0,58 Porcentaje de cruzamiento 2003: Promedio todos los sitios = 0,68	Zhang et al., 2004; W. Zhang 2005, com. pers.
Arroz rojo <i>O. sativa</i> (cáscara pajiza Stuttgart) / <i>O. sativa</i> IMI-resistente (CL121 y CL161) (igual a CL3291)	Stuttgart, Arkansas	Máximo (sitio tenía pobre control arroz rojo) = 3,2 Distancia: plantas mezcladas en infestación natural Cultivo año 2000. Área pulverizada con imasetafir en 2001. Porcentaje de cruzamiento: CL121 (mayoría coincidente con floración) = 0,0013 CL141 (mayoría floración no coincidente) = 0,0016	Estorninos et al., 2003 ^a
Imposible determinar que tipo de planta fue donante de polen y cual fue receptor		La producción de semilla de arroz rojo fue estimada indirectamente lo cual puede haber subestimado o sobreestimado el porcentaje de cruzamiento	
Arroz rojo <i>O. sativa</i> (cáscara negra y pajiza, respectivamente) / cv. <i>O. sativa</i> susceptibles Kaybonnet y Starbonnet, respectivamente; incluye cruces reciprocas	Stuttgart, Arkansas	Distancia: en 2000, pares de arroz y arroz rojo con floración coincidente en surcos adyacentes. Porcentaje de cruzamiento: Kaybonnet/arroz rojo cáscara negra = 0,10 Arroz rojo cáscara negra/Kaybonnet = 0,0 Starbonnet/arroz rojo cáscara pajiza = 0,23 Arroz rojo cáscara pajiza/Starbonnet = 0,14	Estorninos et al., 2003b

Nota: se observó una sobreposición importante de los periodos de floración de los pares de especies probadas. En un híbrido producido del cruzamiento «a»/«b», la planta «a» fue femenina y la planta «b» fue masculina.

Fuente: datos modificados de Gealy (2005)

CUADRO 8

Estimación de los porcentajes de fecundación cruzada entre arroz cv. *Clearfield* (CL161) y diferentes biotipos de arroz rojo en campos comerciales de producción de arroz, Arkansas, Estados Unidos de América.

Biotipo de arroz rojo	Número de campos muestreados*	Campos con fecundación cruzada	Porcentaje de fecundación cruzada** (%)	Promedio de fecundación cruzada
Cáscara negra	6	4	0,070 – 1,441	0,434
Cáscara marrón	7	3	0,241 – 1,887	0,763
Cáscara pajiza	8	5	0,015 – 0,188	0,109
Promedio general				0,435

*Las panojas de hasta 100 plantas individuales fueron recolectadas en el año 2004 de 12 campos. Algunos campos estaban infestados con más de un biotipo de arroz rojo. Las semillas recolectadas fueron sembradas en el 2005, pulverizadas con 0,07 kg/ha de imazetafir postemergencia tres veces por semana en intervalos comenzando en la etapa V2; tejidos de las plantas sobrevivientes fueron recolectados para ensayos genéticos.

** El porcentaje de fecundación cruzada fue estimado dividiendo el número de híbridos confirmados entre el número de arroz rojo pulverizado por muestra.

Fuente: datos de un experimento en marcha (2006) por Burgos *et al.*, sin publicar.

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

Si bien ocurrió algún flujo de genes entre *Clearfield* y arroz rojo *BrHR*, encontrándose la menor frecuencia entre campos, el grado de fecundación cruzada en los campos en que esto ocurrió fue mayor que con otros biotipos de arroz rojo. Debería ser reconfortante para los cultivadores de arroz y para los expertos en control de malezas saber que los arroces *SHR* que comprenden el 80 por ciento de la población del arroz rojo tienen la menor tasa de fecundación cruzada entre todos los biotipos de arroz. El grado de fecundación cruzada detectado en los campos comerciales fue generalmente mayor que el detectado en las pequeñas parcelas de investigación. Esto podría ser debido a una mayor carga de polen en los campos comerciales que en las miniparcelas experimentales. Una diferencia significativa en la tasa de fecundación cruzada también fue observada entre las variedades *Clearfield*: la tasa de fecundación cruzada para *CL161* con arroz *SHR* fue de 0,008 por ciento comparada con sólo 0,003 por ciento entre *CL121* y arroz *SHR* (Shivrain *et al.*, 2006a). El flujo efectivo de polen desde el campo de *Clearfield* fue observado hasta seis metros de la interfase con arroz *SHR*. El mayor número de híbridos fue encontrado en la interfase, con un promedio de fecundación cruzada de 0,003 por ciento en las parcelas experimentales sembradas con *CL161*. El número de híbridos declinó drásticamente a un metro de distancia a un promedio de fecundación cruzada de 0,001 por ciento. Más allá de esta distancia, fue detectado un número muy bajo y casual de híbridos (entre cero y dos) en cada metro después de la interfase. Por esta razón, es necesaria y está justificada la distancia de separación recomendada de 10 m en los campos de producción de semilla (Khush, 1993). Sin embargo, en China los cruzamientos han sido documentados hasta 43 m de distancia entre *Minghui-63* y *Oryza rufipogon* (Song *et al.*, 2003). Sin duda, varios factores, algunos de ellos mal identificados y otros escasamente comprendidos, tienen un papel importante en el flujo efectivo de polen y la resultante tasa de fecundación cruzada.

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

A partir de cruzamientos entre arroz cultivado y arroz rojo mítico se producen plantas F_1 notoriamente diferentes, a saber, madurez tardía, míticas, parte inferior de los tallos o vainas basales de las hojas de color verde normal, granos medios rojos. Sin embargo, los cruzamientos con arroces *BHR* aristados y/o *SHR* aristados presentan madurez



M.R. BURGOS, 2005

Lámina 13

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

normal, aristas rosadas, parte inferior de los tallos de color púrpura y granos medios rojos (Gealy, 2005). La comprensión de las características fenotípicas esperadas en las poblaciones híbridas F₁ y F₂ puede ayudar a los productores de arroz, agrónomos y molineros a identificar el arroz rojo y a tomar decisiones para su manejo. En estudios de hibridación entre arroz *Clearfield* y arroz *SHR* (Burgos *et al.*, 2006b), las plantas F₁ fueron claramente más altas que los parentales de arroz cultivado y de arroz rojo y tenían hojas pubescentes como el arroz rojo pero erectas como el parental de arroz cultivado (Lámina 13). El vigor híbrido también fue evidente en los cruzamientos: las plantas F₁ fueron de 40 a 50 por ciento más

altas que el parental *Clearfield* sin considerar la variedad usada del grupo *Clearfield* y del parental de arroz rojo que tuvo como promedio 110 cm de alto y produjo 45 por ciento más tallos que los parentales *Clearfield* y el arroz rojo.

Los híbridos fueron confirmados cada vez que se realizaron cruzamientos. Todas las plantas F₁ florecieron más tarde que sus parentales que florecían 98 y 102 días después de la siembra, para las variedades *SHR* y *CL161*, respectivamente. Ninguno de los híbridos con arroz rojo como parental femenino floreció dentro la época normal de crecimiento en el campo. La fenología de los híbridos tuvo influencia materna porque los híbridos de arroz rojo *CL161* × arroz rojo florecieron 90 días después de la siembra, más temprano que cualquiera de los dos parentales. Los cruzamientos espontáneos entre las variedades *Clearfield* (*CL121* o *CL161*) y el arroz *SHR* también produjeron esencialmente los mismos fenotipos F₁ que se observaron en los cruzamientos controlados (Shrivain *et al.*, 2006b). Es interesante notar que estos resultados difieren de los resultados obtenidos por Gealy, Yan y Rutger (2006) en los cuales las variedades de arroz de grano largo polinizadas por arroz *SHR* produjeron plantas F₁ que florecieron más tarde que cualquiera de sus parentales y la opinión generalmente aceptada de Jodon (1959) de que «los híbridos de arroz rojo» (con arroces cultivados) «maduran más tarde que cualquiera de sus parentales». Prescindiendo de ello, en los campos de los agricultores los cruzamientos con el arroz rojo como progenitor femenino son los más importantes porque, como se mencionó anteriormente, las semillas de los híbridos desgranar e infestan los campos de arroz mientras que las semillas híbridas producidas con el arroz cultivado como progenitor femenino son en su mayoría cosechadas con el grano y removidas del campo.

Como se ha mencionado, la tasa de fecundación cruzada entre el arroz rojo y los arroces *Clearfield* fue fuertemente afectada por la variedad: *CL161* tuvo el doble de cruzamiento que el *CL121* (Shrivain *et al.*, 2006a). Dado que la variedad *CL121* es de maduración más temprana y está más sincronizada en la floración con el arroz *SHR* que la variedad *CL161* (Burgos *et al.*, 2004), la mayor tasa de fecundación cruzada de la última puede haber estado relacionada con su mayor altura y/o con su morfología floral. Los híbridos entre arroz rojo y las variedades *Clearfield* fueron todos resistentes al

herbicida imazetafir y relativamente fáciles de identificar en el campo. Por lo general florecieron muy tardíamente de modo que muchas de sus semillas no podrían madurar antes de la llegada del frío. Sin embargo, si el cultivo se siembra y se cosecha lo suficientemente temprano o si los días calurosos se extendieran hasta la entrada del otoño, las plantas híbridas tardías podrían espigar, florecer y formar semillas que podrían ser viables en un plazo de dos semanas.

La resistencia al herbicida imazetafir es heredada como un gen parcialmente dominante (Shrivain *et al.*, 2006b; Burgos *et al.*, 2006b). Cerca del 50 por ciento de las plantas F_2 sobrevivirán a una aplicación de herbicida mientras que el 25 por ciento de la población exhibirá un nivel intermedio de resistencia. Sin

embargo, las plantas F_2 segregarán varios tipos de plantas, algunas de las cuales son más cortas que la variedad de arroz mientras que otras son mucho más altas que el parental de arroz rojo (Lámina 14). En la continuación de un trabajo aún no publicado, cerca del cinco por ciento de las plantas F_2 fueron muy cortas -80 cm o menos-, 25 por ciento fueron casi tan altas como el parental *CL161* y el resto fueron mucho más altas que los parentales del arroz comercial o del arroz rojo con cáscara pajiza. La fenología de las plantas F_2 también varía desde extremadamente tempranas a extremadamente tardías, con la mayoría de las plantas que florecen entre 90 a 100 días después de la siembra, similar a ambos progenitores. Algunos de los tipos de plantas con características que son compatibles con el cultivo del arroz y con caracteres específicos de maleza, por ejemplo, desgrane y latencia, podrían evolucionar con el tiempo a formas de poblaciones estables, establecerse y contribuir a la diversidad de los arrozos maleza. Si tales poblaciones tienen genes de resistencia a los herbicidas, el conjunto de tipos de arrozos rojos en el sur de los Estados Unidos de América podría incrementarse con los tipos resistentes a los herbicidas.

En estudios con plantas F_2 derivadas de cruzamientos manuales entre arroz rojo y arroz transgénico resistente al glufosinato o arroz no transgénico no resistente a herbicidas, las características fenotípicas tales como la germinación de la semilla y el desgrane variaron considerablemente y a menudo fueron intermedias entre el arroz cultivado y los progenitores de arroz rojo y no tenían más características de maleza (p. ej., latencia o desgrane) que sus progenitores originales de arroz rojo (Oard *et al.*, 2000). Por ello, solo el carácter de resistencia a los herbicidas fue un contribuyente importante a la adecuación de las poblaciones del arroz rojo derivadas de los cruzamientos con arroz transgénico.

Resumen

Al resumir los trabajos sobre el cruzamiento natural entre arroz cultivado y arroz rojo en los Estados Unidos de América hasta el 2004, Gelay y Estorninos (2004a, 2004b)

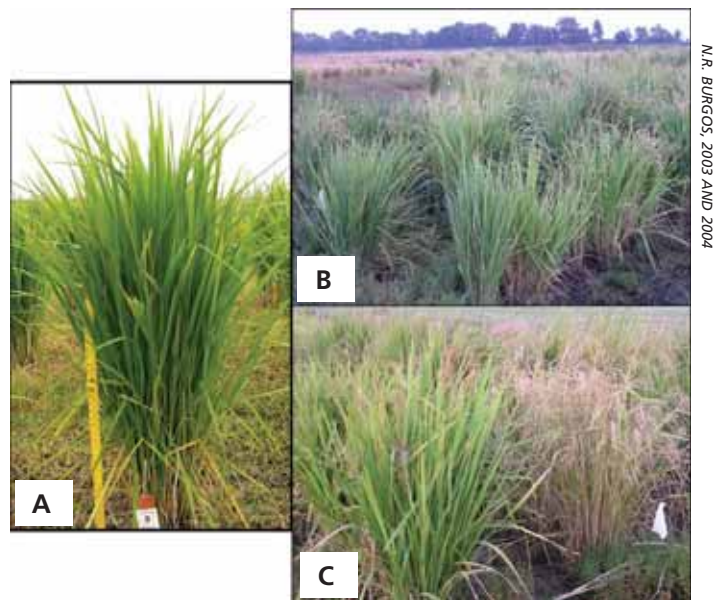


Lámina 14

Fenotipos esperados de cruzamiento entre arroz Clearfield resistente a herbicida y arroz rojo de cáscara pajiza. (A) fenotipo F_1 ; (B) y (C) segregación de plantas F_2 en un amplio rango de alturas y períodos de madurez. Una planta extremadamente temprana y otra tardía se observan en (C).

notaron que mientras las tasas de fecundación cruzada entre los arroces rojos y los arroces convencionales o variedades resistentes a los herbicidas han sido variables, fueron casi siempre menores de 0,5 por ciento. La tasa específica de fecundación cruzada pareció haber sido influenciada por múltiples factores: la variedad de arroz, el ecotipo de arroz rojo, las distancias horizontales y verticales entre las panojas, la sincronización de la floración y otros aspectos ambientales no bien entendidos aún.

Los trabajos anteriores y los estudios más recientes comentados en esta sección pueden ser resumidos como sigue. En los Estados Unidos de América el arroz rojo es fenotípica y genéticamente diferente como resultado de múltiples introducciones de arroces maleza rojos en semillas contaminadas importadas durante las primeras etapas del cultivo en el país, la hibridación natural entre los tipos de arroz rojo importados y sus progenies y la hibridación natural entre una sucesión de tipos de arroz maleza rojo y una sucesión de variedades cultivadas de arroz. La actual tecnología de arroz que incluye las variedades resistentes a herbicidas es una herramienta poderosa para el manejo de las infestaciones de arroz maleza rojo pero debe ser usada de acuerdo con los protocolos y recomendaciones que acompañan dicha tecnología y con otras herramientas (culturales, químicas, normativas) para manejar esos arroces a fin de proporcionar y asegurar un control sostenible del arroz rojo.

Capítulo 4

Desgrane y latencia en los arroces maleza

DESGRANE TEMPRANO Y ABUNDANTE

La caída de las semillas a medida que avanza su madurez en la inflorescencia es un carácter seleccionado naturalmente por las plantas que producen frutos y semillas secos y es uno de los mecanismos más importantes para la dispersión de las semillas en el reino vegetal. El desgrane aumenta no solo la sobrevivencia sino también el área de distribución de la especie. La retención de las semillas en la inflorescencia, al menos hasta que han alcanzado la madurez, es el carácter opuesto seleccionado por el ser humano, en un primer momento en forma inconsciente y más adelante en forma consciente, en la domesticación y mejoramiento de las plantas para permitir y/o facilitar la recolección de los productos deseados: alimentos para el hombre y el ganado, semillas oleaginosas, leguminosas de grano. La selección consciente para el carácter de no-desgranado en trigo, cebada y arroz, fue probablemente hace 6 000 a 10 000 años el primer trabajo importante de «fitomejoramiento» humano en las plantas (Diamond, 1999).

Un desgrane temprano y abundante, el pericarpio rojo y la latencia de las semillas son las características constantes de todos los tipos diversos y otras variantes de los arroces rojos. Si la referencia se amplía para incluir todos los arroces maleza, el desgrane se convierte en la característica invariable porque algunos arroces maleza, especialmente en Asia y África, tienen pericarpio blanco y las semillas de algunos tipos de arroces maleza no presentan más latencia que aquella que presentan algunas variedades cultivadas. Por ejemplo, las semillas de la variedad *Nato*, una antigua variedad de grano medio, como muchos de los fenotipos de arroz rojo presenta latencia por algún tiempo después de la cosecha, pero esta es relativamente breve. Constantin (1960) determinó el desgrane para 1 084 panojas de arroz rojo recolectadas en arrozales del área arrocera del suroeste de Louisiana y comentó: «No se encontraron panojas de arroz rojo que tuvieran espiguillas no desgranadoras características del arroz cultivado. Todas tenían espiguillas desgranadoras y no se detectó variación entre plantas». La literatura más antigua sobre arroces maleza en Asia (Graham, 1913; Roy, 1921; Chatterjee, 1947) y sobre los arroces rojos en América del Norte (Nelson, 1908; Quereau, 1920; Hodges, 1957; Williams, 1956) y en términos generales (Grist, 1955), siempre enfatizaron la importancia de la naturaleza «desgranadora», «caediza» o «caduca» de las espiguillas para la persistencia y difusión de los arroces maleza.

Desgrane – carácter maleza

La caída temprana y abundante de las semillas a medida que maduran en la inflorescencia es un importante mecanismo para su dispersión y distribución. Con toda seguridad incrementa la probabilidad de que una parte importante de las semillas producidas por una planta se distribuyan sobre la superficie del suelo desde donde pueden ser posteriormente esparcidas por el viento y el agua antes de ser consumidas por los animales, cosechadas con los granos o eventualmente cayendo al suelo junto con la planta. El desgrane es una característica de las plantas seleccionada naturalmente, pero como se ha mencionado anteriormente, es una característica inconveniente en las plantas que producían alimentos deseados por los agricultores recolectores en las primeras etapas



J.C. DELOUCHE, 1984

Lámina 15

Arriba: desgrane de cuatro fenotipos RR comparados con la variedad Starbonnet no desgranadora (a la izquierda). Abajo: vigor del RR manifestado en la producción de tallos comparado con la variedad Starbonnet (centro).

del desarrollo humano. Por lo tanto, desde el inicio del fitomejoramiento la característica de no-desgrane ha sido apreciada en la selección y mejoramiento de los cultivos. El carácter de no-desgrane no ha sido desventajoso para las especies cultivadas dado que su sobrevivencia es dependiente de las actividades humanas y no de la naturaleza. Sin embargo, el carácter de no-desgrane sería desventajoso para las plantas «salvajes» que crecen asociadas a los cultivos, por ejemplo, las malezas. La mayoría de las semillas producidas serían removidas y destruidas por los agricultores o mezcladas con la cosecha y consumidas. Las prácticas culturales y tecnologías modernas tales como la especialización de la producción de semillas, la cosecha mecánica y los equipos de limpieza de granos y semillas han fuertemente incrementado las desventajas de incluso formas emparentadas no desgranadoras de plantas salvajes anuales o de malezas creciendo con los cultivos. En la Lámina 15 se compara el desgrane en panos de cuatro fenotipos de arroz rojo con las panos no desgranadoras de la variedad Starbonnet.

Iniciación del desgrane en el arroz rojo

Si bien el desgrane es aparentemente una característica de todos los arroces maleza, hay considerable variación en el momento e intensidad del desgrane entre los distintos fenotipos o ecotipos. En los estudios hechos en 1980 por Do Lago (1982) se determinó el momento de la iniciación del desgrane en 28 fenotipos de arroz rojo recolectados en Mississippi, Estados Unidos de América y encontró que el tiempo medio de la iniciación del desgrane en todos los fenotipos fue de 24 días después del 50 por ciento de la antesis, 23 días para el grupo *SHR* y 27 días para el grupo *BHR*. En 1981 estudió nuevamente la iniciación del desgrane en 14 fenotipos seleccionados y también determinó el contenido de humedad de la semilla en el momento del desgrane. Sus resultados se resumen en el Cuadro 9.

El tiempo medio de desgrane para el arroz *BHR* fue de tres días más que para los grupos *SHR* pero hubo mucha menos variación en la iniciación del desgrane (cuatro días *vs.* 13 días para el grupo *SHR*). Del mismo modo, la media del contenido de humedad al inicio del desgrane fue la misma para los grupos *SHR* y *BHR* pero hubo menos variación entre los fenotipos *BHR*: 6,6 por ciento *vs.* 12,2 por ciento para los grupos *SHR*. Estos datos fueron fuertemente influenciados por dos fenotipos muy atípicos de cáscara pajiza y el único fenotipo *B_rHR* cáscara marrón rojiza. Cuando se excluyen estos fenotipos, la media del contenido de humedad y el rango de la iniciación

CUADRO 9

Momento del desgrane y contenido de humedad de las semillas en 14 fenotipos seleccionados de arroz rojo

Tipo	Color de la cáscara	Días al desgrane desde 50 % antesis		Contenido de humedad de las semillas (%) al inicio del desgrane	
		Media	Rango	Media	Rango
Variedad comercial	STW	NS		NS	
Todos rojos (13)	SH & BH	24	17-30	29,4	23,0-44,2
SHR (9)*	STW	24	17-30	27,7	23,0-35,7
BHR (3)	BLK	27	25-29	27,6	24,5-31,1
BrHR rojo (1)	BRN	17		44,2	

*Antesis, desgrane y maduración fueron al azar e irregulares en las panojas de dos arrozces rojos de cáscara pajiza (SHR) y en el arroz rojo de cáscara marrón (BrHR).

Fuente: Do Lago (1982)

del desgrane son 26,4 por ciento, 23-31,1 por ciento y 25,8 por ciento, 23-27,9 por ciento para los restantes 10 fenotipos de arroz rojo y los siete SHR, respectivamente.

En 1981, Do Lago hizo un estudio más detallado del tiempo necesario de desgrane en la panoja para seis fenotipos de arroz rojo, cuatro tipos SHR y dos tipos BHR. Tal como se esperaba, el desgrane comenzó en el ápice de la panoja sólo a los 16 días después del 50 por ciento de la antesis para el fenotipo SHA+ y tardíamente, a los 26 días, para el SHR 79/11, pero el desgrane para esta última progresó hacia la base de la panoja en dos días (Cuadro 10). Los tiempos medios para la iniciación del desgrane en el ápice, en la parte media y en tercio inferior de la panoja para cinco de los seis fenotipos fueron de 21,0, 23,4 y 26,4 días, respectivamente. El contenido de humedad de las semillas en el tercio superior de la panoja en la primer evidencia de desgrane varió entre 23,5 por ciento y 31,2 por ciento con una media de 27,0 por ciento para los cinco fenotipos. Como se observa en el Cuadro 10, el fenotipo BHR 79/5 tuvo una floración en cierto modo errática en lugar de hacerlo desde el ápice hacia la base de la panoja por lo que el desgrane y la maduración fueron desuniformes. Por ello, el excepcionalmente alto contenido de humedad de las semillas (42,2 por ciento) a la iniciación del desgrane indudablemente refleja la mezcla de semillas «más secas» y de semillas «más húmedas» recolectadas en el tercio superior de la planta para la determinación del contenido de humedad. El 27,0 por ciento de promedio de humedad para los cinco fenotipos en el Cuadro 10 es 2,4 por ciento más bajo que el de 13 fenotipos en los datos tabulados en el Cuadro 9. La diferencia probablemente refleja el mayor cuidado tomado en el estudio detallado pero sobre todo la inclusión del fenotipo marrón rojizo 78/8 en la media de los 13 fenotipos. Este exhibió el mismo hábito de floración errático que el BHR 79/5 rojo excluido de los promedios en el Cuadro 10.

Noldin (1995) en sus estudios de 18 fenotipos de arroz rojo obtenidos en cuatro estados diferentes productores de arroz en el sureste de los Estados Unidos de América

CUADRO 10

Tiempo transcurrido para el desgrane de las semillas en fenotipos seleccionados de arroz rojo y contenido de humedad de las semillas en el tercio superior de la panoja a la primer evidencia de desgrane

Fenotipo	Color de la cáscara	Área de la panoja con desgrane			Tiempo para llegar a la base de la panoja Días	Humedad de las semillas en el ápice de la panoja Porcentaje
		Ápice	Media	Base		
		(Días de 50% antesis)				
SHA+	STW	16	18	21	5	31,2
79/1	STW	22	23	25	3	23,5
79/11	STW	26	27	28	2	24,3
79/15	BLK	24	29	33	9	28,3
79/5	BLK	19	20	21	2	42,2*
80/1	STW	17	20	25	8	27,9
Media (sin 79/5)		21	23,4	26,4	5,4	27,0

* Antesis, desgrane y maduración no fueron uniformes a lo largo del eje de la panoja

Fuente: Do Lago (1982)

examinó algunas de las propiedades asociadas con el desgrane de las semillas. Cinco de los seis fenotipos de Mississippi fueron recolectados más de 15 años antes para los estudios de Do Lago (1981), Teekachunhatean (1985), García Quiroga (1987) y otros. Noldin encontró que:

- El tiempo medio de la iniciación del desgrane para los 15 ecotipos con desgrane fue 15 días después de la antesis, con un rango de 11 a 18 días.
- La media del contenido de humedad de las semillas al inicio del desgrane para los 15 ecotipos fue de 25 por ciento, con un rango de 16 a 30 por ciento.
- El índice medio de desgrane para 17 ecotipos en una escala de 1 (muy bajo < 1 por ciento) a 5 (moderado 6-25 por ciento) hasta 9 (alto > 50 por ciento) fue de 6+ con un rango de 1 (tres ecotipos) a 9 (siete ecotipos).

Dos de los tres ecotipos clasificados por Noldin como esencialmente no desgranadores procedían de Mississippi y habían sido clasificados en los estudios anteriores de Do Lago como fuerte a moderadamente desgranadores. Si bien Do Lago no utilizó un índice de desgrane, es difícil reconciliar las muy diferentes observaciones de los dos investigadores relacionadas con el fenotipo codificado como *BLKH* en los estudios de Do Lago y como *MS3* en los estudios de Nordin. Este fenotipo fue el arroz rojo de cáscara negra más común en Mississippi durante el período 1977-1990 y fue observado como desgranando fuerte y fácilmente por muchos investigadores involucrados en los estudios sobre arroz rojo. El otro fenotipo de Mississippi registrado como resistente al desgrane por Noldin, el *MS5*, había sido considerado como moderadamente desgranador por Do Lago (*80/1*). También hubo diferencias entre los dos investigadores respecto al momento de la iniciación del desgrane y en menor medida respecto al contenido de humedad de las semillas en el momento del desgrane. Según Noldin, la iniciación del desgrane ocurría 15 días después del 50 por ciento de la antesis como tiempo medio para 15 ecotipos mientras que Do Lago informó acerca de un tiempo medio de 24 días para 28 fenotipos en sus estudios en 1980 y en 13 fenotipos en los estudios en 1981. Sin embargo, según ambos investigadores el contenido medio de humedad de las semillas en el momento del desgrane fue cercano, 25 por ciento por Noldin y 28 por ciento por Do Lago para 12 fenotipos y de 27 por ciento para los cinco fenotipos en los estudios más detallados que se encuentran en el Cuadro 10. Las diferencias entre los dos investigadores en el momento de la iniciación del desgrane parecen ser debidas a diferencias en los criterios y procedimientos usados para determinar el 50 por ciento de la base de datos de la antesis. Do Lago indicó en su discusión sobre el desgrane que su método para determinar el 50 por ciento de la antesis, o sea 50 por ciento de las plantas en líneas de 22 o 44 plantas exhibiendo antesis, probablemente prolongó el período de 50 por ciento de la antesis al inicio del desgrane. Los estudios de Do Lago también fueron llevados a cabo en un lugar a más de 300 km al norte del lugar de los estudios de Noldin.

El parámetro de mayor significado ecológico es el contenido de humedad en el momento del desgrane. Los porcentajes medios determinados por ambos investigadores, 25 y 27 por ciento, están apenas por debajo del 28-30 por ciento de contenido de humedad en el momento de la madurez fisiológica, o sea máximo peso seco para la variedad *Starbonnet 50* según Rajanna y Andrews (1970) y para otras numerosas variedades y fenotipos de arroz rojo según Larinde (1979). Do Lago (1982) también determinó los cambios en materia seca y contenido de humedad para los dos fenotipos de arroz más comunes en Mississippi y la variedad *Starbonnet*, comenzando al décimosegundo día después de la antesis. Los datos obtenidos para los tres tipos fueron similares: el peso seco de las semillas se incrementó en forma sostenida alcanzando el máximo cerca de 22 días después de la antesis. El contenido de humedad de las semillas a los 22 días fue de 26-28 por ciento. Do Lago también notó que los 13 fenotipos de arroz rojo en el estudio resumido líneas arriba iniciaron el desgrane antes

que las variedades *Starbonnet* y *Lebonnet* alcanzaran la madurez de cosecha definida como 20 por ciento de humedad o menos; sin embargo ninguna estaba desgranando cuando la variedad *Labelle* de madurez más temprana alcanzó la etapa de madurez de cosecha.

Chin *et al.* (1999) estudiaron en Viet Nam las características de desgrane de 10 líneas típicas de arroz maleza de pericarpio rojo. El

porcentaje medio de desgrane para las 10 líneas fue de 25,7 por ciento. En un estudio más detallado determinaron el momento y el grado (porcentaje) de desgrane de cinco líneas de arroz maleza, comparadas con la variedad *IR 64*. Sus resultados se encuentran en el Cuadro 11.

El desgrane comenzó muy temprano en dos de las líneas de arroz maleza. No pareció haber ninguna relación entre el momento del desgrane y el porcentaje de semillas desgranadas.

Viabilidad de las semillas desgranadas

El principal flujo del desgrane de las semillas en el arroz rojo parece ocurrir, en promedio, en el momento en que las semillas llegan a la madurez fisiológica y, por lo tanto, son capaces de germinar una vez que termina la latencia. Sin embargo, las semillas de algunos ecotipos empiezan a desgranar mucho antes de llegar a la madurez fisiológica y aún antes de 10 días después de la antesis. Si bien la cantidad de semillas que desgranar en esa etapa temprana es indudablemente muy reducida, podría ser significativa para volver a llenar el banco de semillas del suelo, si es que esas semillas son capaces de germinar.

Ferrero y Vidotto (1999) y FAO (2003) estudiaron en Italia el desarrollo de la capacidad germinativa y el momento del desgrane de semillas de arroz rojo (*Oryza sativa* var. *sylvatica*) para establecer el momento más apropiado para aplicar medidas de control durante el período de floración y maduración, tales como corte de la panoja, aplicación de herbicidas con cepillo o barra para sacudir y otros. Determinaron que:

- Cerca del 20 por ciento de las semillas de arroz rojo en desarrollo cosechadas a mano germinaron nueve días después de la floración y 85 por ciento germinaron a los 12 días.
- El desgrane fue evidente de nueve a 12 días después de la floración pero las semillas desgranadas 15 días antes tenían muy baja viabilidad, cerca de cinco por ciento. En un estudio hecho en 1996 el desgrane se incrementó gradualmente a partir de los 15 días para completar el desarrollo de la panoja en cerca de 30 días cuando 65 por ciento de las semillas habían desgranado; sin embargo, en un estudio en 1997 desgranaron solo 15 por ciento.
- El corte de la panoja y el aplastado con un rodillo como medida de control después de la siembra debe comenzar nueve días después de la floración para prevenir el escape de las semillas desgranadas hacia el banco de semillas del suelo.

Rajanna y Andrews (1970) estudiaron el desarrollo y la maduración de las semillas de *Bluebonnet 50*, una variedad de grano largo. La humedad de la semilla decreció gradualmente de un máximo de 60 por ciento mientras que su peso seco se incrementó sensiblemente hasta cerca de 25 días después de la antesis. De aquí en adelante, el peso

CUADRO 11
Momento y grado de desgrane de cinco líneas de arrozos maleza comparados con la variedad *IR 64*

Línea de arroz maleza	Momento del desgrane (días después de la floración)	Semillas desgranadas (%)
<i>Latta 10</i>	15	19,3
<i>Latta 11</i>	14	94,3
<i>Latta 18</i>	10	38,0
<i>Latta 20</i>	8	56,4
<i>Latta 23</i>	7	24,6
Cultivar <i>IR 64</i>	Sin desgrane	0,00

Fuente: Chin *et al.*, 1999

seco permaneció constante y a medida que el contenido de humedad de la semilla declinó más aún a 15 por ciento a los 40 días. Las semillas presentaron una germinación máxima alrededor de los 25 días, sin tener relación con su fecha de siembra dentro de un período de tres semanas. Un bajo porcentaje de las semillas fueron capaces de germinar a los 10 días, bajo condiciones de laboratorio, produciendo, obviamente, plántulas débiles. El porcentaje de semillas capaces de germinar aumentó hasta los 20 días si bien las plántulas más vigorosas se produjeron solamente unos días más tarde, a los 24-25 días. Larinde (1979) determinó que en las semillas de los arroces rojos *BHR* y *SHR*, comunes en Mississippi, el contenido de humedad decreció de cerca de 60 por ciento cuatro días después de la antesis a cerca de 20 por ciento a los 26-30 días. El peso seco de las semillas se incrementó rápidamente alcanzando su máximo a cerca de 20-24 días, para los fenotipos *SHR* y *BHR*, respectivamente. Si bien menos del cinco por ciento de las semillas fueron capaces de germinar a los 10 días, la germinabilidad comenzó a incrementarse rápidamente solamente después de 14-16 días y alcanzó su máximo a los 22-24 días.

Las expresiones «exercción de la panoja» y «espigado» se refieren esencialmente a la misma etapa en el desarrollo reproductivo de las plantas individuales de arroz (Stansel, 1975). En la base de datos algunos de los primeros estudios sobre el desarrollo de la capacidad germinativa de los arroces rojos se usaron los términos «exercción de la panoja», «espigado» o «floración» y, por lo tanto, no pueden ser directamente relacionados con aquellos de los días después de la antesis. De cualquier manera, proporcionan evidencia adicional de que las semillas pueden germinar normalmente ya cerca del momento del desgrane si bien el vigor de la plántula alcanza su máximo sólo cuando las semillas llegan a su madurez fisiológica, o sea, cuando acumulan el máximo peso seco. Sonnier (1963, 1965) cosechó semillas de los tipos *SHR* y *BHR* en Louisiana en el mes de septiembre, a intervalos diarios, comenzando cuatro días después de la completa exercción de la panoja y continuando durante 23 días. Las semillas fueron secadas a temperatura ambiente, trilladas y almacenadas hasta las pruebas de germinación que se realizaron en el siguiente mes de abril (siete meses de almacenamiento). Unas pocas semillas (menos del cinco por ciento) germinaron, o sea, produjeron plántulas normales, seis días después de la exercción de la panoja. A partir de ese momento la germinación se incrementó rápidamente a cerca de 70 por ciento a los 23 días. Si bien las semillas habían sido almacenadas durante siete meses a temperatura ambiente, el porcentaje de semillas latentes aumentó de cerca de cinco por ciento a los siete días a cerca de 70 por ciento a los 14 días y después decreció a menos de 20 por ciento a los 23 días. Cuando se sumaron los porcentajes de germinación y de semillas latentes para obtener el total de semillas viables, el nivel de 80 por ciento se alcanzó entre 12 y 15 días. El autor notó que la latencia fue mucho más persistente en las semillas producidas en 1964 que en 1962 y 1963. En estudios relacionados con la fecha de siembra, Sonnier determinó que los tipos *SHR* maduraron unos pocos días más temprano que los tipos *BHR* pero ambos tipos desgranaron semillas viables antes de la cosecha de *Nato*, una variedad temprana y de *Bluebonnet 50*, una variedad de media estación.

Helpert e Eastin (1976, 1978) informaron de estudios similares sobre el desarrollo de la capacidad germinativa de las semillas de los ecotipos *SHR* y *BHR* comparados con la variedad *Labelle*, una variedad de grano largo y madurez temprana. Las panojas fueron etiquetadas en el momento de la emergencia de la panoja y cosechadas a intervalos de tres días. Las semillas de *SHR* y *BHR* analizadas inmediatamente después de la cosecha eran en general latentes hasta 27 a 33 días después de la emergencia de la panoja mientras que aquellas de *Labelle* tenían menos latencia y germinaron el 25 por ciento a los 27 días. Las semillas de *BHR* almacenadas durante dos semanas a 30 °C rompieron la latencia antes de ser analizadas y germinaron 40, 70, 80 y 90 por ciento a los 21, 24, 27

y 30 días de la cosecha, respectivamente, mientras que aquellas de *SHR* germinaron 70, 85, 90 y 95 por ciento para los mismos períodos. Las semillas de *Labelle* almacenadas durante dos semanas a 30 °C antes del análisis germinaron más de 50 por ciento a los 15 días y cerca de 80 por ciento a los 21 días. Los autores concluyeron que las semillas de *Labelle* y de los tipos *SHR* y *BHR* eran viables a los 12, 15 y 18 días después de la formación de la panoja, respectivamente. Esta conclusión, sin embargo, aparentemente confunde viabilidad, germinabilidad y latencia. Es probable que el desarrollo de la semilla siguió el mismo modelo para las tres líneas pero la latencia fue más intensa y persistió durante más tiempo en dos de los tres tipos de arroz rojo.

Importancia de la característica del desgrane para el hábito de maleza del arroz rojo

La importancia de la característica de un desgrane abundante y temprano para un comportamiento como maleza de los arroces rojos debe ser siempre considerada. En la revisión del arroz cultivado y del arroz maleza en Asia, Vaughan *et al.* (2005) indicaron que el desgrane es un carácter simple común a todos los arroces maleza encontrados en los arrozales. Del mismo modo, después de examinar y caracterizar 1 084 panojas de arroz rojo recolectadas en el área arrocera del suroeste de Louisiana a fines de la década de 1950, Constantin (1960) notó que el desgrane y la pubescencia de la cáscara eran los dos únicas características que no variaban entre las plantas representadas por las panojas y concluyó: «Los dos factores principales involucrados en la sobrevivencia y difusión del arroz rojo son el desgrane y la capacidad del grano para permanecer viable en el suelo durante períodos largos y adversos».

El carácter de desgrane de la semilla contribuye a la persistencia y difusión del arroz rojo en varias formas importantes. En primer lugar, el arroz rojo es una especie anual totalmente dependiente de la semilla para su sobrevivencia durante estaciones adversas y hasta que las condiciones vuelvan a ser favorables para iniciar y completar su ciclo biológico anual. El desgrane asegura que una parte importante de las semillas producidas son distribuidas sobre la superficie del suelo antes y durante la cosecha en lugar de ser recogidas con el grano y removidas del campo. En segundo lugar, el principal flujo del desgrane en la mayoría de los tipos de arroz rojo ocurre unos pocos días antes o en el momento en que las semillas alcanzan su madurez fisiológica, aproximadamente cuando la semilla tiene un contenido de humedad entre 24 y 28 por ciento. Este es un hecho importante para la retención de la latencia durante el período de la posmaduración (y de la poscosecha) cuando los niveles de temperatura y humedad del suelo son a menudo favorables para la germinación de las semillas del arroz que están en contacto con la superficie del suelo. Las plántulas desarrolladas a partir de semillas que germinan en ese momento en los climas templados morirán a causa de las temperaturas de congelamiento; en los climas subtropicales o en los climas tropicales alternativamente húmedos y secos morirán a causa de la sequía o de la preparación de la tierra para la siembra y el combate de malezas del cultivo siguiente (Teekachunhatean, 1985; Teekachunhatean y Delouche, 1986). El Capítulo 6 examina las relaciones ecológicas entre el contenido de humedad de las semillas en el momento del desgrane, la latencia y la sobrevivencia de una parte importante de las semillas desgranadas sobre y eventualmente dentro del suelo y la germinación y la emergencia en la siguiente estación de producción de arroz y en los años sucesivos.

LATENCIA INTENSA Y PERSISTENTE

La latencia de las semillas también ha evolucionado como un mecanismo de sobrevivencia en especies de plantas anuales. Cuando las etapas vegetativas y reproductivas del ciclo anual se han completado la especie sobrevive como semilla -la

etapa más resistente- hasta que las condiciones se vuelven favorables para reiniciar el ciclo anual. Simpson (1990) notó que si bien la latencia de las semillas tiene un gran significado adaptativo para numerosas especies, es una de las razones principales para que las gramíneas constituyan el grupo de malezas más importante en todo el planeta. Sin embargo, la latencia de las semillas es un carácter inconveniente para la producción de cultivos basados en especies anuales.

Una latencia intensa y persistente no solo interfiere con la siembra de los cultivos en el momento adecuado sino que también un nivel moderadamente persistente de latencia de las semillas complica y aumenta las dificultades de las operaciones de manejo del cultivo después de la siembra, por ejemplo, el control de malezas y la cosecha, a causa de la desuniformidad de la emergencia y del crecimiento y desarrollo de las plantas. Por otro lado, la ausencia o un bajo nivel de latencia (latencia efímera) pueden llevar a la brotación de las semillas antes de la cosecha, o germinación en la panoja. Esta situación que puede ocurrir cuando las plantas de arroz se vuelcan y caen al agua o, más generalmente, cuando hay lluvias frecuentes o alta humedad durante el período de maduración y cosecha. Por ejemplo, aún una latencia relativamente de baja intensidad y duración puede complicar los cultivos múltiples de arroz cuando hay un período relativamente breve entre los cultivos y las semillas del primer cultivo se usan para sembrar el segundo cultivo. La germinación en la espiga es un problema bastante común en algunos tipos de trigo cultivado en el norte de Europa y un problema serio, aunque raro, en los cultivos de algodón, sorgo y trigo en el sureste de los Estados Unidos de América.

Desde el momento en que los agricultores comenzaron a mejorar el manejo de los cultivos, consciente o inconscientemente, seleccionaron especies de cultivos anuales con períodos de latencia limitados pero variables para adaptarlas a las condiciones climáticas prevalentes y a la intensidad de la agricultura. Simpson (1990) consideró un éxito la reducción de la latencia a un nivel que permitió la siembra oportuna de los cultivos, uno de los grandes logros humanos en el época neolítica. Durante el siglo XX los fitomejoradores obtuvieron con éxito variedades con un nivel e intensidad apropiados de latencia; por lo tanto, las semillas de las variedades modernas de arroz tienen un corto período de latencia que persiste hasta la madurez de la cosecha y unos pocos días después, en lugar de la ausencia total de latencia, tal como indican los investigadores en su comparación con los arroces maleza.

Tal como se discutió anteriormente, muchos de los primeros productores de arroz de Estados Unidos de América creían que los granos de arroz blanco que quedaban sobre la tierra después de la cosecha sufrían las condiciones adversas del invierno, germinaban y se transmutaban en plantas de arroz maleza con granos de pericarpio rojo las cuales, a su vez, continuaban a producir arroz rojo en las próximas generaciones. Sin embargo, los primeros estudiosos del problema del arroz rojo en ese país no aceptaron la hipótesis de esa transmutación como justificación del origen y difusión de los arroces rojos (Allston, 1846; Austin, 1893; Dodson, 1898, 1900; Knapp, 1899). Los autores sugirieron que la entrada inicial de tipos de arroz rojo en un campo de arroz ocurría generalmente a través de semillas contaminadas y que su subsiguiente persistencia y difusión eran el resultado de un desgrane fuerte y temprano que dejaba la mayoría de las semillas de arroz rojo en el suelo, manteniendo la viabilidad, sobreviviendo al invierno y permaneciendo por varios años en el suelo. Dodson (1898) llevó a cabo algunos experimentos en Louisiana para validar esas sugerencias e ideas y demostró que un más alto porcentaje de las semillas de arroz rojo sobrevivió a las condiciones invernales del campo en comparación con las semillas de arroz blanco -cultivado- y de esa manera germinaron y produjeron plantas de arroz rojo para la estación siguiente. Pocas semillas de arroz cultivado sobrevivieron al invierno pero aquellas que lo hicieron produjeron plantas con semillas de color blanco. Dodson concluyó que: «A causa del

intenso cultivo el arroz blanco ha seriamente perdido su fuerza de autopreservación (sic) ... Si están en el suelo, las lluvias del otoño con días templados que ... llegan en noviembre y la primera parte de diciembre causan la germinación de las semillas y entonces mueren con el frío del invierno. Por otro lado, el arroz rojo depende de la autopreservación para la continuación de la especie y bajo las mismas condiciones anteriores, es difícil encontrar una semilla que muestre evidencia de germinación ... En la siguiente primavera, de las semillas de arroz rojo que permanecieron en el suelo, un porcentaje importante podría crecer y (solamente) un pequeño porcentaje del arroz blanco (germinaría), y no es difícil entender porque la idea que prevalente debería ser que ... las semillas blancas han desarrollado plantas que producen semillas rojas».

La conclusión a que llegó Dodson fue correcta y su explicación fue necesaria y casi completamente expresada en términos darwinianos en momentos en que la genética mendeliana había sido apenas redescubierta. La sobrevivencia y difusión de las poblaciones de arroz rojo son sin duda totalmente dependientes del mantenimiento de la viabilidad de una parte importante de las semillas desgranadas sobre la superficie del suelo hasta que las condiciones vuelven a ser favorables para iniciar y completar el ciclo anual de crecimiento, desarrollo y reproducción.

La latencia de las semillas es un mecanismo efectivo de sobrevivencia para las especies salvajes, nativas y las malezas anuales y perennes propagadas por semillas porque satisface varias condiciones críticas:

- La latencia bloquea (demora) la germinación de modo que la especie sobrevive bajo la forma de semilla, la etapa más resistente del ciclo de una planta, hasta que las condiciones son nuevamente favorables para el crecimiento, el desarrollo y la reproducción.
- La intensidad de la latencia varía entre todas las semillas de la población de modo de distribuir la germinación en el tiempo y aumentar la posibilidad de que algunas semillas germinen cuando las condiciones sean favorables para el establecimiento de las plántulas y completar el ciclo biológico de la especie.
- La latencia inhibe y/o mejora los procesos fisiológicos de deterioro de modo que las semillas retienen su viabilidad durante el período de latencia.
- En la naturaleza, la latencia cesa bajo determinadas condiciones o eventos, el más común de los cuales es el tiempo pero también la luz, las bajas o altas temperaturas, la acidez o los nitratos del suelo y otros elementos.

Muchos estudios han demostrado que la latencia del arroz maleza y del arroz rojo satisfacen plenamente todas esas condiciones.

Efectividad de la latencia para demorar la germinación

La latencia inhibe la germinación de las semillas cuando todas las condiciones ambientales para la germinación han sido totalmente satisfechas. La germinación es demorada unos pocos días o hasta un año, dependiendo de la intensidad de la latencia en cada semilla de la población. La latencia se ha mostrado sumamente efectiva para cumplir la función para la cual esta ha evolucionado: la distribución de la germinación en el tiempo y en el espacio para maximizar la probabilidad de sobrevivencia de las especies y las poblaciones. Los resultados de los datos de algunos estudios sobre la efectividad de la latencia para distribuir la germinación en el tiempo e incrementar la sobrevivencia de las poblaciones del arroz rojo se encuentran en el Capítulo 6.

Variación en la intensidad y persistencia de la latencia

La persistencia e intensidad de la latencia varían entre las semillas de una población. La latencia sería un mecanismo de sobrevivencia mucho menos efectivo si persistiera

durante el mismo tiempo en todas las semillas de la población. La germinación de todas las semillas ocurriría al mismo tiempo lo cual podría no ser favorable para el establecimiento, crecimiento y reproducción de la especie. En el arroz, el nivel inicial de intensidad de la latencia de las semillas varía entre los arroces cultivados y los arroces malezas. En 1980 Do Lago (1982) hizo una encuesta preliminar sobre la variabilidad de la latencia en los fenotipos de arroz rojo de Mississippi. El porcentaje de semillas latentes fue generalmente determinado como un porcentaje de «semillas firmes, no germinadas» que permanecieron al final del período de germinación. Su viabilidad fue confirmada periódicamente por la prueba de tetrazolio o por tratamientos de liberación de la latencia. La intensidad de la latencia fue determinada para cuatro variedades cultivadas de arroz y 28 fenotipos uniformes de arroz rojo haciendo pruebas normales de germinación sobre las «semillas recolectadas en su *madurez*, secadas a *temperatura ambiente* durante 7-12 días (*y*) almacenadas a 10 °C por unas *pocas semanas*». Tal como era esperado en un poco riguroso estudio, señalado por las palabras en cursiva en el entrecomillado, los resultados fueron variables pero sugestivos.

- La latencia de las cuatro variedades cultivadas varió entre 26 y 77 por ciento con un promedio de 52 por ciento. La variedad de media estación *Nato*, de grano medio, exhibió la latencia más intensa.
- El nivel de latencia para las semillas de las 18 *SHR* varió entre 26 y 100 por ciento, con un promedio de 50 por ciento mientras que para las 10 *BHR* varió entre 94 y 98 por ciento con un promedio de 97 por ciento. El nivel de latencia para el conjunto de los 28 lotes de arroz rojo fue de 66 por ciento.

Do Lago enfatizó la naturaleza preliminar del estudio, reconoció la falta de controles adecuados y atribuyó el relativamente bajo nivel de latencia de los *SHR* (50 por ciento) comparado con el nivel alto de los *BHR* (97 por ciento) y a la madurez más tardía de estos últimos (Cuadro 2) que dio lugar a una cosecha más tardía y menor tiempo de secado a temperatura ambiente y almacenamiento a 10 °C que para los *SHR* «típicos». Do Lago repitió los estudios con controles más rigurosos en 1981 usando las mismas cuatro variedades cultivadas y 20 arroces rojos, muchos de los cuales eran los mismos fenotipos usados en el estudio anterior. Después de las determinaciones iniciales las semillas fueron almacenadas a 10 °C y menos de 50 por ciento de humedad y reanalizadas para su germinación y latencia seis meses más tarde. Los resultados se resumen en el Cuadro 12.

CUADRO 12
Intensidad de la latencia de las semillas de variedades cultivadas y fenotipos de RR cosechados 24 días después de la antesis, secados durante 9 días a 22-24 °C y después de seis meses de almacenamiento

Variedad o fenotipo	Color de la cáscara	Meses de almacenamiento a 10 °C y 50 % humedad relativa	
		0	6
(% semilla latente)			
<i>Labelle</i>	Pajizo	83	1
<i>Lebonnet</i>	Pajizo	90	4
<i>Starbonnet</i>	Pajizo	75	3
<i>Nato</i>	Pajizo	96	40
Arroz rojo (RR)			
<i>BLKH</i>	Negro (BH)	100	14
<i>SHA-</i>	Pajizo (SH)	100	15
<i>SHA+</i>	Pajizo	99	37
<i>78/5</i>	Negro	100	38
<i>78/8</i>	Marrón	100	73
<i>9 SHR-RR</i>	Pajizo	r = 100-94; x = 98	r = 35-3; x = 11
<i>6 BH-RR</i>	Negro	r = 100-95; x = 99	r = 61-5; x = 33

FNota: r = rango; x = media
uente: Do Lago, 1982

En otro trabajo Do Lago transplantó 22 plántulas de cada una de las 14 segregaciones del arroz rojo heterocigota *78/21* descrito en el Cuadro 4 y cosechó al azar panojas de 54 plantas para determinar el color del pericarpio y la germinación/latencia unos pocos días después de la cosecha y su secado a menos de 15 por ciento de humedad a 10 °C en un ambiente de baja humedad. Diez plantas produjeron granos con pericarpio blanco y 44 tenían pericarpio rojo. El nivel inicial de latencia entre las 54 segregaciones tomadas al azar, todos tipos *SHR*, varió como se muestra en el Cuadro 13.

Si bien este trabajo indicó que los segregantes de pericarpio rojo tenían en promedio más latencia que aquellos con pericarpio blanco, 90 por ciento *vs.* 45 por ciento, es solamente una indicación porque el estudio fue diseñado solo para observaciones y no para determinar si el pericarpio de color y la latencia tenían algún grado de asociación. Sin embargo, observaciones posteriores de más de 2 000 plantas de poblaciones segregantes durante el período 1982-1983 indicaron que la latencia en las segregaciones de pericarpio blanco eran por lo general menos intensas y menos persistentes que en las segregaciones de pericarpio rojo. Otros estudios críticos son necesarios y recomendados sobre la asociación de pericarpio blanco o no pigmentado -el carácter recesivo- con la intensidad y la persistencia de la latencia en las poblaciones segregantes de cruzamientos de arroz cultivado y arroz rojo.

Noldin (1995) determinó la germinación y la latencia en el momento de la cosecha de 19

ecotipos de arroz rojo de cuatro estados y de tres variedades cultivadas en 1993. Encontró que el nivel de latencia varió entre los 19 ecotipos de arroz rojo: 13 exhibieron latencia superior al 90 por ciento, dos entre 80 y 89 por ciento, tres entre 70 y 79 por ciento y uno tenía 63 por ciento. La latencia en las tres variedades cultivadas fue inferior a 10 por ciento, lo cual es bastante bajo comparado con los resultados obtenidos por Do Lago citados anteriormente y otros citados en este capítulo.

La intensidad de la latencia en las semillas cosechadas cerca de su madurez fisiológica (25 - 30 por ciento de contenido de humedad), secadas a cerca de 14 por ciento o menos con aire frío (20-22 °C), se acerca al 100 por ciento para la mayoría de los fenotipos *RR* y puede ser muy alta aún para muchas variedades cultivadas. Sin embargo, como se nota líneas arriba, la persistencia de la latencia varía entre las semillas individuales dentro de las poblaciones. Esta variación es evidente en los datos presentados en el Cuadro 12. Si los períodos de latencia fueran los mismos en todas las semillas de una población el porcentaje de semillas latentes después de seis meses de almacenamiento debería ser el mismo como en el mes cero o 0 por ciento. La variación en la persistencia de la latencia entre y dentro las poblaciones de dos variedades cultivadas y cinco fenotipos de arroz rojo en almacenamiento abierto a una temperatura relativamente alta de 30 °C durante un período de hasta 25 días es evidente en los datos de germinación del Cuadro 14.

Función protectora de la latencia

La latencia no sería muy efectiva para asegurar la sobrevivencia de las poblaciones de plantas si las semillas latentes sucumbieran a los factores ambientales más comunes que

CUADRO 13
Nivel inicial de latencia en 54 segregaciones de *SHR* tomadas al azar

Semillas latentes (%)	Número de fenotipos blancos	Número de fenotipos rojos	Número total de fenotipos
< 30	1	1	2
30-39	3	0	3
40-49	0	0	0
50-59	2	2	4
60-69	1	2	3
70-79	1	0	1
80-89	0	8	8
90-100	2	31	33
Total	10	44	54
Latencia media	45 %	90 %	

Fuente: Do Lago (1982)

CUADRO 14
Variación en la persistencia de la latencia en semillas de dos variedades cultivadas de arroz y en cinco fenotipos de arroz rojo en almacenamiento abierto a 30 °C

Variedad o fenotipo	Período de almacenamiento (días)					
	0	3	5	10	20	25
Porcentaje de germinación						
<i>Labelle</i>	8	88	94	98	100	100
<i>Nato</i>	4	8	9	14	39	57
<i>BLKH</i>	5	68	79	91	97	99
<i>SHA-</i>	7	73	81	93	96	98
<i>SHA+</i>	1	2	6	10	69	91
<i>79/1</i>	5	10	36	65	90	96
<i>78/8</i>	0	0	2	12	45	78

Fuente: Moreno, 1990

favorecen el deterioramiento de las semillas: alta humedad de la semilla, alta humedad ambiental y altas y bajas temperaturas. En sus estudios de métodos para liberar la latencia en las semillas de arroz, Delouche y Nguyen (1964) observaron que muchas semillas de la variedad *Nato* que no habían germinado bajo condiciones estándar de análisis durante un período de 80 días, estaban aún firmes, o sea, latentes y viables según se comprobó por medio de la prueba del tetrazolio. Estas semillas remanentes completamente embebidas fueron recolectadas, colocadas sin secar en botellas de vidrio selladas y almacenadas a temperatura ambiente (cerca de 25 °C) durante 90 días más. Al final de este período de 90 días se determinó el porcentaje de humedad y la germinabilidad de las semillas. El contenido de humedad de las semillas fue de cerca de 27 por ciento, la germinabilidad, sin aplicar ningún tratamiento especial, fue de 30 por ciento y aplicando un tratamiento de imbibición para remover la latencia fue de 98 por ciento. Las semillas no latentes de arroz con 27 por ciento de humedad y a 25 °C habrían germinado en 10 días o se habrían deteriorado en un par de semanas, pero las semillas latentes, en las mismas condiciones fueron protegidas y su viabilidad total se mantuvo por casi seis meses (170 días). Estas observaciones fueron confirmadas cerca de 20 años más tarde en un estudio diseñado específicamente por Teekachunhatean (1985). Semillas latentes y no latentes de los arroces rojos *BLKH* y *SHA+* fueron colcadas entre papel de germinación húmedo a 15 °C durante 30 horas para llevarlas a una imbibición total de cerca 30 por ciento de contenido de humedad. Las semillas totalmente embebidas se secaron brevemente hasta un contenido de 27 por ciento de humedad (por debajo del contenido mínimo para la germinación del arroz) y se dividieron en 24 grupos de 125 semillas de cada genotipo y estado de latencia, se sellaron en sobres de dos mililitros de polietileno grueso y se colocaron en varios contenedores grandes de vidrio y sellados para ser almacenadas a 30 °C: Dos sobres de cada genotipo y estado de latencia se removieron a intervalos mensuales durante un año para análisis comunes de germinación. Los tratamientos de remoción de la latencia fueron aplicados al azar sobre las semillas clasificadas como latentes, por ejemplo, en aquellas semillas firmes, limpias y sin evidencia de deterioro o germinación al fin de período de prueba, para confirmar si eran viables y germinables. Los resultados del estudio para los períodos bimensuales de muestreo se encuentran en el Cuadro 15. Las semillas latentes de *BLKH* estaban todas muertas después de dos meses mientras que 50 por ciento de las semillas de *SHA+* sobrevivieron a un período de 12 meses, aparentemente porque la latencia fue inducida a una temperatura alta de 30 °C entre el segundo y el cuarto mes. Más del 75 por ciento de las semillas latentes sobrevivieron al período de almacenamiento de más de un año, muchas de ellas todavía en una condición de latencia.

CUADRO 15

Efecto del almacenamiento de semillas totalmente embebidas no latentes y semillas latentes (ca. 28 por ciento de contenido de humedad) de dos tipos de arroz rojo a 30 °C sobre la latencia y la germinación

Fenotipo arroz rojo	Respuesta de la semilla	Período de almacenamiento (meses)						
		0	2	4	6	8	10	12
		Semillas no latentes						
<i>BLKH</i>	% latencia	0	0	0	0	0	0	0
	% germinación	100	54	2	0	0	0	0
<i>SHA+</i>	% latencia	3		45				
	% germinación	90	78	9	15	11	13	2
		Semillas latentes						
<i>BLKH</i>	% latencia	99	80	92	57	92	87	84
	% germinación	1	28	5	37	4	10	4
<i>SHA+</i>	% latencia	99	100	89	89	86	85	76
	% germinación	0	0	8	10	6	0	0

Fuente: Teekachunhatean, 1985.

CUADRO 16

Distintas respuestas germinativas de semillas de ecotipos de arroz rojo no latentes (ND) y latentes (D) después de períodos de aceleración del envejecimiento de hasta 24 días

Ecotipo/condición	Color de la cáscara	Envejecimiento acelerado a 45 °C y 100 por ciento de humedad relativa (días)						
		0	4	8	12	16	20	24
Porcentaje de germinación								
AR 2 (ND)	FBL	91	89	87	62	17	1	0
(D)		61	90	93	82	68	33	6
LA 4 (ND)	BLK	99	99	95	52	24	5	0
(D)		74	98	92	78	58	7	8
MS 2 (ND)	STW	97	98	91	72	40	7	0
(D)		75	99	100	99	57	7	3
MS 5 (ND)	STW	98	98	84	54	9	1	0
(D)		90	98	98	87	73	50	19
TX 4 (ND)	BLK	90	65	13	1	0	0	0
(D)		56	95	95	86	24	4	0

Nota: ND = no latente; D = latente; FBK = negro decolorado; BLK = negro; STW = pajizo

Fuente: Noldin, 1995.

Noldin (1995) sometió semillas latentes y no latentes de 11 ecotipos de arroz rojo procedentes de cuatro estados a tratamiento de envejecimiento acelerado de 45 °C y 100 por ciento de humedad relativa por períodos de hasta 24 días antes de analizar su germinación. Noldin consideró los lotes de semillas como no latentes si germinaban 80 por ciento o más; los lotes que germinaron menos de 80 por ciento fueron considerados latentes. Algunos resultados seleccionados se encuentran en el Cuadro 16. El tratamiento de envejecimiento acelerado liberó la latencia durante los primeros cuatro días pero las semillas inicialmente latentes sobrevivieron de cuatro a más de ocho días bajo condiciones adversas de envejecimiento acelerado más intensas que aquellas clasificadas como no latentes. Estos estudios demuestran que las semillas latentes de arroz son mucho más resistentes a la combinación de altas temperaturas y contenido de humedad que aquellas en las cuales la condición de latencia ha sido liberada, o sea, semillas no latentes.

En otro estudio, Teekachunhatean (1985) determinó la resistencia relativa de semillas completamente embebidas, latentes y no latentes, de la variedad *Nato* y de los arrozces rojos *BLKH* y *SHA+* a bajas temperaturas de 5, 0 y -15 °C por períodos de hasta cuatro semanas. Las semillas fueron colocadas entre hojas de papel toalla durante esos períodos tal como se hace en las pruebas de germinación. Los resultados seleccionados se encuentran en el Cuadro 17. Las semillas no latentes mantuvieron su germinabilidad a los altos niveles a 5 y 0°C durante el período de cuatro semanas, especialmente la variedad *Nato*, pero no hubo evidencia de latencia inducida y las semillas que no germinaron se deterioraron. La latencia fue en la mayor parte liberada en las semillas de la variedad *Nato* después de dos semanas a 5 y 0 °C mientras que aquellas de los dos fenotipos de arroz rojo permanecieron latentes. Estos datos muestran que las semillas latentes de arroz son relativamente más resistentes a bajas temperaturas que las semillas no latentes. Todas las semillas, latentes y no latentes, murieron a temperaturas muy bajas de -15 °C.

Las semillas latentes de arroz son relativamente más resistentes a las condiciones adversas de temperatura y contenido interno de humedad que las semillas no latentes. La latencia proporciona una protección importante contra las condiciones comunes que causan el deterioro de las semillas y la pérdida de viabilidad. De este modo, esto satisface una de las cuatro condiciones para un mecanismo efectivo de sobrevivencia establecidas anteriormente. Evidencia adicional sobre la función protectora de la

CUADRO 17

Respuesta de la germinación al efecto de las bajas temperaturas y períodos de exposición de semillas latentes y no latentes totalmente embebidas (27-30 por ciento de contenido de humedad) de la variedad *Nato* y de los fenotipos de arroz rojo *BLKH* y *SHA+*

Variedad/fenotipo	Respuesta de la semilla	Valor inicial semana 0	Temperatura					
			5 °C		0 °C		-15 °C	
			Semanas		Semanas		Semanas	
			2	4	2	4	2	4
Semillas no latentes								
<i>Nato</i>	Germinada %	98	92	72	74	65	1	0
	Latente %	0	0	0	0	0	0	0
<i>BLKH</i>	Germinada %	100	82	43	18	18	0	0
	Latente %	0	0	0	0	0	0	0
<i>SHA+</i>	Germinada %	99	81	36	40	23	2	0
	Latente %	0	0	0	0	0	0	0
Semillas latentes								
<i>Nato</i>	Germinada %	21	73	75	64	70	2	0
	Latente %	78	22	7	20	8	0	0
<i>BLKH</i>	Germinada %	3	4	9	13	24	0	0
	Latente %	96	90	82	49	41	0	0
<i>SHA+</i>	Germinada %	3	5	5	2	9	0	0
	Latente %	96	94	92	81	78	0	0

Nota: *BLKH* = genotipo cáscara negra; *SHA+* = cáscara pajiza con aristas cortas

Fuente: Teekachunhatean, 1985.

latencia en la sobrevivencia de las poblaciones de arroz rojo se encuentran en el Capítulo 6.

Liberación de la latencia

El cuarto y último criterio respecto a la consideración de la latencia como un efectivo mecanismo de sobrevivencia tal como se estableció al inicio de este capítulo es que la latencia debe ser liberada por eventos y/o condiciones naturales. Este criterio es totalmente satisfecho en el caso de la latencia del arroz rojo. La maduración demorada o liberación de la latencia ocurre en semillas que se secan naturalmente en condiciones ambientales con el correr del tiempo. El tiempo requerido para esa maduración demorada es determinado por:

- la herencia la cual establece el potencial de las condiciones de la latencia;
- las condiciones climáticas durante la maduración de la semilla que influyen en su expresión;
- el contenido de humedad de la semilla y la temperatura que influyen la forma de liberación de la latencia.

La intensidad de la latencia es mayor en el momento en que las semillas llegan a su madurez fisiológica, alrededor de 28 a 30 por ciento de contenido de humedad. El desgrane comienza alrededor de este momento en el caso del arroz rojo (su significado se discute en el Capítulo 6), pero no, por supuesto, para las variedades cultivadas que no desgranar. La liberación de la latencia probablemente comienza a medida que las semillas se secan por debajo de un contenido de 15 por ciento de humedad en cuyo momento ese fenómeno es principalmente controlado por la temperatura: cuanto mayor es la temperatura hasta cerca de 50 °C, más rápida es la liberación de la latencia. Los investigadores que estudian la latencia en los arroces cultivados y en los arroces rojos necesitan apreciar cuan rápidamente puede ser liberada la latencia por las altas temperaturas. Las semillas cosechadas a relativamente altos contenidos de humedad deberían ser secadas a bajas temperaturas a 8-12 por ciento de humedad y almacenadas por debajo de la temperatura de congelación (-10 a -20 °C) hasta que se necesitan para

otros experimentos (Roberts, 1963; Cohn, 1980; Do Lago, 1984; Teekachunhatean, 1985).

Los efectos del tiempo, la temperatura y el contenido de humedad de la semilla durante el período de latencia del arroz son conocidos desde hace tiempo y se han aprovechado para solucionar los problemas de la latencia en las variedades cultivadas. Umali, Parker y Dumlao (1960) expusieron semillas de la variedad *Peta* a humo de madera durante 84 horas para liberar la latencia. Atribuyeron el efecto liberador de la latencia a algunos compuestos químicos que contrastaban un inhibidor en las envolturas seminales. Sin embargo, Jennings y de Jesús (1964) reinterpretaron estos resultados y concluyeron que el agente efectivo en el humo era la temperatura, dado que durante las 84 horas del ahumado se mantuvo una temperatura de 49 °C. Estos autores probaron y recomendaron que semillas frescas secadas en condiciones ambientales fueran expuestas a 50 °C de temperatura en recipientes abiertos durante cuatro a cinco días para liberar la latencia de pequeños lotes experimentales de semillas de arroz. Anteriormente, Roberts (1962) había hecho un análisis detallado del efecto de la temperatura sobre los períodos de latencia de una variedad cultivada de arroz y determinó que el coeficiente de la temperatura para romper la latencia fue de 3,38, interpretando el resultado como una negación de la idea de que un proceso de difusión dependiente de la temperatura estaba involucrado en la latencia del arroz; basó su opinión en el hecho que los coeficientes de temperatura para muchos procesos de difusión son solo de 1,3 y especuló que alguna reacción de oxidación no enzimática, esencial para la germinación, fue promovida por las altas temperaturas. Aún antes, Weir (1959) observó que la latencia de las semillas en arroz cultivado en Arkansas, especialmente las variedades *Bluebonnet 50* y *Nato* estaba relacionada con el momento de la cosecha, el contenido de humedad en ese momento y el método de secado. Las semillas cosechadas con relativamente altos contenidos de humedad y secadas en forma natural, es decir con aire no calentado, presentaron el mayor grado de latencia. El secado de las semillas a 40 °C durante cuatro días antes de hacer los análisis de germinación liberó la latencia de la mayoría de los lotes de semillas, excepto en el caso de los lotes con mayor latencia de la variedad *Nato*. Han habido numerosos informes sobre el efecto de las altas temperaturas para liberar la latencia de los arroces cultivados desde inicios de la década de 1960 a medida que el calor comenzó a ser adoptado como el método preferido para liberar la latencia (Delouche y Nguyen, 1964; Pili, 1968; Nugraha y Soejadi, 1991). Dado que no había interés del sector del fitomejoramiento o del sector de análisis en los arroces rojos, los efectos del calor para romper la latencia del arroz rojo no fueron demostrados hasta 10 años después de las observaciones de Weir, por Larinde (1979), Do Lago (1962), Moreno (1990) y otros.

Los datos de Do Lago (1982) en el Cuadro 12 ilustran la variación en la intensidad de la latencia entre los fenotipos de arroz rojo y también indican claramente el efecto del tiempo en la liberación de la latencia aún a temperaturas tan bajas como 10 °C. El nivel inicial de la latencia en las variedades cultivadas varió entre 75 por ciento para *Starbonnet* y 96 por ciento para la variedad con fuerte latencia como *Nato* y de 94 por ciento para los 20 fenotipos de arroces rojos. La latencia fue prácticamente liberada en su totalidad en tres de las cuatro variedades y decreció a menos de 40 por ciento para cuatro de los cinco arroces rojos identificados cuando estuvieron almacenadas durante seis meses a 10 °C. La variedad *Nato* mantuvo el mayor nivel de latencia -40 por ciento- durante el período de seis meses, más que cualquiera de los tipos del grupo *SHR* y de todos los tipos identificados de arroz rojo, excepto el 78/8, el arroz rojo más persistente (73 por ciento después de seis meses) de todos los 20 arroces rojos y cuatro variedades cultivadas evaluados. El grupo de seis tipos *BHR* tuvo una latencia más persistente que el grupo de nueve tipos *SHR*. El efecto de la temperatura sobre el período de latencia también es muy evidente en los resultados de los estudios de Moreno (1990). La latencia de las semillas de la variedad *Labelle* perdieron su latencia en tres días cuando descendió

de 90 a 10 por ciento (Cuadro 14) mientras que los cinco arroces rojos identificados variaron considerablemente en la liberación de la latencia a 30 °C. La latencia en *BLKH* y *SHA-*, dos de los tipos más comunes de arroz rojo en Mississippi, fue liberada más bien rápidamente con la germinación que aumentó de menos de 10 por ciento al iniciar las pruebas hasta cerca de 70 por ciento tres días después y a más de 90 por ciento a los 10 días. La latencia fue liberada algo más rápidamente en el 78/8, el arroz rojo con mayor latencia, que en *Nato*, la variedad más latente. La latencia en *SHA+*, el tercer fenotipo más común de arroz rojo, fue liberada a casi la misma velocidad que en *Nato* y 78/8 después de 10 días pero llegó a una condición de no latente a los 25 días en cuyo momento un porcentaje importante de las semillas de *Nato* y 78/8 todavía estaban latentes.

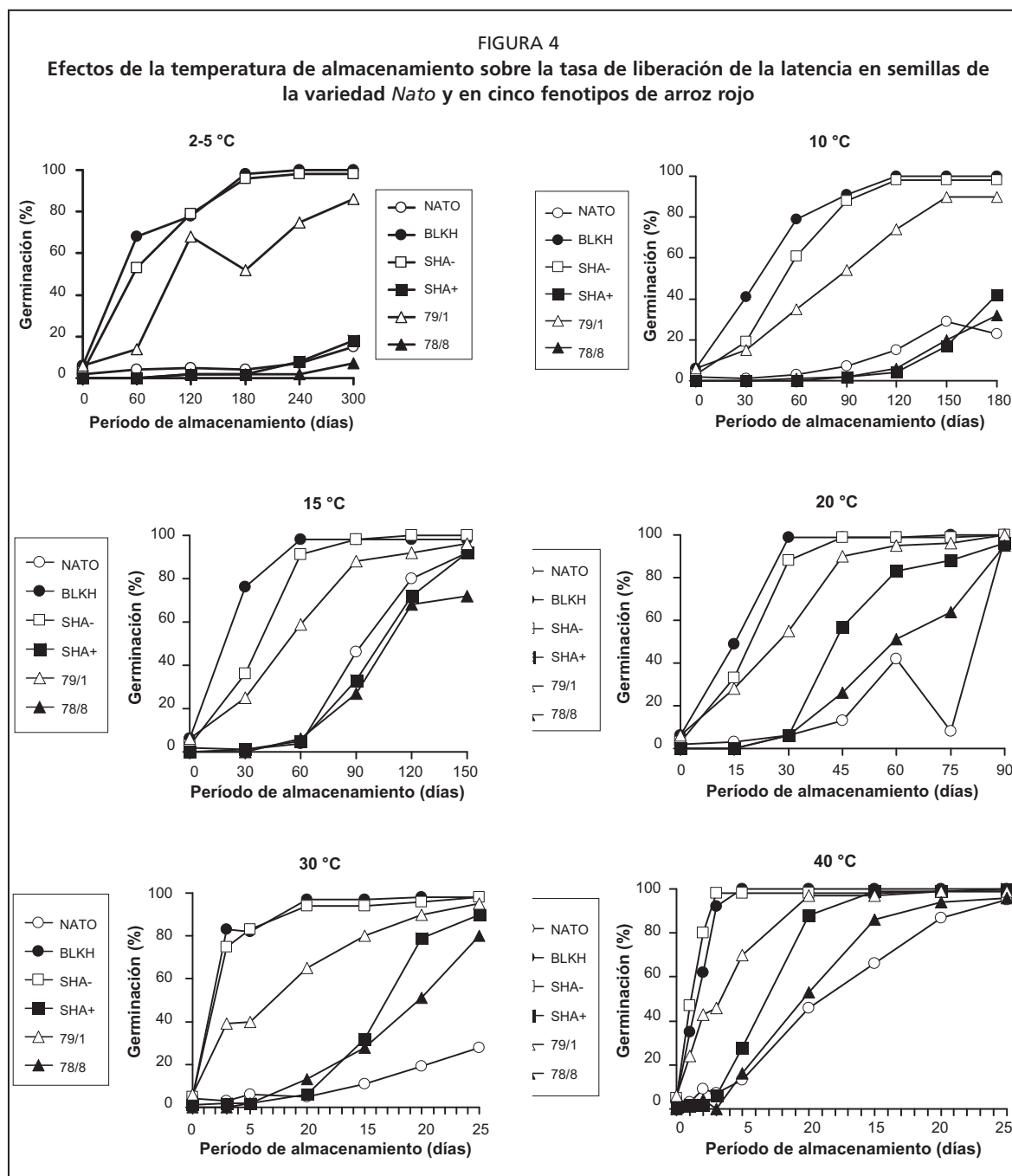
Datos adicionales de estudios de Moreno (1990) sobre los efectos de la interacción del tiempo y la temperatura en la liberación de la latencia en la variedad *Nato* y en cinco fenotipos de arroz rojo se presentan en la Figura 4. Los fenotipos *BLKH*, *SHA-* y 79/1 perdieron la latencia a una tasa relativamente alta a todas las temperaturas, desde 2 - 5 a 40 °C. por ejemplo, *BLKH* y *SHA-* alcanzaron más de 90 por ciento de germinación en 180 días a 2 - 5 °C y en cerca de tres días a 40 °C, mientras que *Nato* y 78/8 alcanzaron menos del 20 por ciento de germinación a 2 - 5 °C en 300 días y 90 por ciento de germinación a 40 °C solamente a los 20 días.

Naturaleza de la latencia en los arroces rojos y sus respuestas

Existe abundante literatura sobre la naturaleza de la latencia de las semillas del arroz y sobre las respuesta de las semillas a una gran variación de tratamientos con diversos niveles de efectividad para romper o liberar la latencia. Si bien la mayor parte de las investigaciones se han hecho sobre los arroces cultivados, los arroces maleza rojos también han recibido cierta atención, especialmente en los últimos 25 años. La información acumulada hasta ahora sugiere que mientras la intensidad y la persistencia de la latencia varía ampliamente entre las especies, *Oryza sativa* y *O. glaberrima* de los tipos *indica*, *japonica* y *javanica* y entre los ecotipos o biotipos de arroz maleza rojo, la naturaleza esencial de la latencia es similar, si no la misma. Generalmente, las bases de datos indican que las poblaciones de *O. glaberrima* tienen las semillas con mayor latencia seguidas por aquellas de los tipos *indica*, *javanica* y *japonica*. (Dore, 1955; Tang y Chiang, 1958; Ikeda, 1963; Nakamura, 1963; Hayashi e Himeno, 1974; Ellis, Hong y Roberts, 1983). La intensidad y el período de latencia en las poblaciones cultivadas parece ser controlada por interacciones genéticas con el ambiente. Una fuerte y persistente latencia es considerada como dominante sobre los períodos de latencia corta característica de muchas variedades cultivadas.

Tipo de planta y condiciones climáticas

Los genotipos relativamente foto no-sensitivos y de corta madurez, por lo general tienen la latencia más corta y menos intensa (Chandraratna, Fernondo y Wattedegera, 1952; Dore, 1955; Agrawal, 1981; Deore y Solomon, 1983), pero la relación entre madurez y latencia no es muy consistente. Las semillas que maduran durante períodos lluviosos y húmedos tienen generalmente mayor intensidad y persistencia de la latencia que aquellas que maduran en períodos más secos (Ghosh, 1962; Jennings y de Jesús, 1964; Nair, Ponnaiya y Raman, 1965). La latencia es también más intensa en las semillas que maduran a temperaturas más altas, por ejemplo, a 30 °C que aquellas que maduran a bajas temperaturas (Ikehashi, 1972, 1975). Buenaventura (1956) observó que el período de latencia después de la cosecha de distintas variedades en las Filipinas variaba entre 0 y 11 semanas y que su intensidad y persistencia eran mayores cuando las semillas fueron cosechadas con un contenido de humedad relativamente alto. Weir



Fuente: adaptado de Moreno (1990).

(1959), en Arkansas notó que la latencia era más intensa en semillas cosechadas con «alto» contenido de humedad y secadas naturalmente o con aire no calentado.

Tratamientos químicos

Muchos tratamientos químicos diferentes han mostrado la estimulación de la germinación de las semillas latentes de arroz. Sin embargo, los resultados obtenidos por diferentes investigadores han sido relativamente inconsistentes, excepto en el caso de pocos compuestos químicos. Los nitratos y los nitritos, por lo general, estimulan la germinación de varias semillas latentes, especialmente si están descascaradas (Roberts, 1963; Agrawal, 1981; Cohn, Butera y Hughes, 1983; Howard-Kandakai, 1983). Roberts

(1964a, 1964b) investigó la idea de que la liberación de la latencia en el arroz involucra el bloqueo de la respiración convencional aplicando los inhibidores comunes citocromo oxidasa que deberían prolongar la latencia, pero esto no ocurrió. En cambio, muchos de ellos, especialmente el trinitruro de sodio, promovieron distintos niveles de germinación de las semillas latentes. Roberts (1964b) especuló que la oxidasa citocromo es un fuerte competidor por el oxígeno disponible y que la inhibición hace que haya más oxígeno disponible para las reacciones no enzimáticas que asumió que estaban involucradas en la liberación de la latencia. La imbibición de las semillas en agua a 40 °C es efectiva para promover la germinación de semillas ligeramente latentes mientras que la imbibición en hipoclorito de sodio al 0,25 por ciento fue efectiva para estimular la germinación de las semillas más latentes (Delouche y Nguyen, 1964). La latencia del arroz fue liberada por la imbibición en ácido sulfúrico, nítrico y clorhídrico, por tiempos variables, o sea, escarificación con ácido (Lin y Tseng, 1959; Roberts, 1963; Murty y Roghavaiah, 1966; Sikder, 1967; Agrawal, 1981; Paquiot, 1992). Roberts encontró que la escarificación con ácido nítrico fue más efectiva que otros ácidos en el caso de variedades cultivadas y atribuyó este hecho a los efectos aditivos del nitrato. Paquiot trabajando con la variedad con alta latencia *Nato* y con tres fenotipos de arroz rojo encontró que el ácido nítrico era más eficiente en el tiempo de imbibición (relativamente buenos resultados se obtuvieron en cinco minutos), mientras que el ácido sulfúrico fue el más efectivo y seguro para estimular una germinación completa cuando se embebían las semillas en períodos de hasta 30 minutos. Los efectos de la escarificación con ácidos no pueden ser separados de la escarificación mecánica tales como el descascarado, la abrasión del pericarpio y cortando porciones de la espiguilla. Los dos tipos de escarificación actúan probablemente sobre las cáscaras y la testa del pericarpio.

Los datos sobre los efectos de las hormonas tales como el ácido giberélico, el etileno y las citoquininas sobre la liberación de la latencia son algo inconsistentes. Cohn y Butera (1982) encontraron que varias citoquininas rompieron efectivamente la latencia en el arroz rojo pero solo en algunos años en que se habían removido las cáscaras. Varios investigadores han informado que la giberelina promovió la germinación de algunas pero no de todas las semillas latentes en los genotipos evaluados (Roberts, 1963b; Nakamura, 1963; Roberts y Smith, 1977; Ellis, Hong y Roberts, 1983; Paquiot, 1982). Sin embargo, Eastin (1978b) fracasó en su intento por estimular la germinación de semillas latentes de arroz rojo con ácido giberélico y otras fitohormonas. La etilenclorhidrina, un compuesto químico como actividad similar a las hormonas, embebido a 1 000 ppm durante 24-48 horas a 40 °C fue consistentemente efectiva para liberar la latencia en arroces cultivados y en arroces rojos (Delouche y Nguyen, 1964; Do Lago, 1982; Teekachunhatean, 1985; García Quiroga, 1987; Paquiot, 1992).

Cobertura de las semillas

La remoción de las cáscaras y la ruptura del complejo del pericarpio y la testa son los dos tratamientos más efectivos para liberar la latencia en el arroz y en muchas otras especies de *Poaceae* (Simpson, 1990). La permeabilidad de las envolturas al agua no es un factor importante ya que tanto las semillas latentes como no latentes absorben agua en la misma proporción (Roberts, 1961; Larinde, 1979). Nguyen y Delouche (1964) sostuvieron que los efectos benéficos sobre los que informaron otros autores respecto a la remoción de la cáscara (Mikkelsen y Sinah, 1961; Roberts, 1961) eran debidos probablemente al efecto combinado de la remoción junto con la abrasión del conjunto pericarpio y testa durante el proceso de descascarado. Encontraron que la remoción cuidadosa de las cáscaras incrementó la germinación de semillas latentes de la variedad *Nato* en solamente de cinco a 35 por ciento en un período de 30 días mientras que la escarificación y la abrasión del pericarpio junto con el borde del escutelo indujo un 98

por ciento de germinación en seis días. Además encontraron que haciendo muescas en el pericarpio a lo largo del borde del escutelo a través de una pequeña abertura abierta en la lemma sobre el embrión fue igualmente efectiva. Los mismos resultados fueron obtenidos por Pili (1968), Larinde (1979), Paquiot (1982) y Nugraha y Soejadi (1991). Estos datos y otros no apoyan la opinión de Mikkelsen y Sinah (1961) de que la latencia en el arroz es causada por el fitrato de un inhibidor o inhibidores de las cáscaras hacia el pericarpio y testa y el embrión. Si bien los mecanismos específicos e incluso generales permanecen desconocidos, es cierto que tanto las cáscaras como el conjunto pericarpio testa de las semillas de arroz están involucrados en el establecimiento y liberación de la latencia en el arroz.

Causas de la latencia de las semillas de arroz

A partir de la voluminosa base de datos sobre la latencia de las semillas del arroz han surgido varias teorías. Las que ya han sido mencionadas y otras incluyen:

- la migración de inhibidores de la lemma y la palea hacia el cariósido;
- la restricción de la disponibilidad de oxígeno a los tejidos embrionarios impuesta por la combinación de cáscara y pericarpio y testa;
- funcionamiento defectuoso del proceso del fosfato pentosa (PP) en las semillas latentes que es esencial para las etapas iniciales de la germinación (Roberts, 1973).

Las semillas latentes tienen una alta actividad de respiración convencional involucrando el citocromo oxidasa que compite con la oxidasa en el proceso del fosfato pentosa. Los tratamientos tales como la remoción de las cáscaras y la ruptura del conjunto pericarpio-testa incrementan la disponibilidad de oxígeno que favorece el proceso del fosfato pentosa y libera la latencia. Sin embargo, trabajos recientes arrojan dudas sobre la teoría del proceso del fosfato pentosa.

Leopold, Glenister y Cohn (1988) examinaron la pérdida de latencia después de la maduración de las semillas de arroz rojo como un modelo de caso para probar la hipótesis que las reacciones que regulan la latencia de las semillas pueden ocurrir a contenidos de agua que son «probablemente» muy bajos para actividades metabólicas importantes. Encontraron que después de la maduración, entre otras cosas, la liberación de la latencia fue más rápida a un contenido de humedad de 6-14 por ciento (peso seco). La liberación de la latencia no ocurrió a más de 18 por ciento de humedad y fue severamente inhibida a menos de cinco por ciento de humedad. El cálculo de los valores de la entalpía de los enlaces de agua colocaron el contenido óptimo de agua para después de la maduración entre las regiones de los enlaces de agua 1 y 2, o sea inmediatamente inferiores a los valores intermedios de contenido de agua. Los autores supusieron que hay un requerimiento para completar algunas transformaciones químicas en las semillas secas de modo de llevarlas a un estado pronto para la germinación. Los autores determinaron que un contenido de humedad de 6-14 por ciento era óptimo para la liberación de la latencia y que las reacciones necesarias probablemente podrían involucrar oxidaciones no enzimáticas. A un contenido de humedad inferior a seis por ciento las reacciones necesarias serían demoradas por un incremento de la energía libre requerida para las reacciones. A contenidos de humedad superiores a 18 por ciento el incremento de la actividad metabólica de la oxidación podría pasar a ser dominante y suprimir las oxidaciones no enzimáticas de la liberación de la latencia. Estas especulaciones se ajustan a las observaciones previas de que el 8-12 por ciento de humedad de las semillas (base húmeda) es el nivel más favorable para la liberación de la latencia (Roberts, 1962; Jennings y de Jesús, 1964; Ellis, Hong y Roberts, 1983), que las semillas con alto contenido de humedad son persistentemente más latentes que aquellas con menos de 14 por ciento de humedad (Weir, 1959; Buenaventura, 1956) y que la latencia persistió en las semillas casi completamente embebidas con cerca de 28

por ciento de humedad (Delouche y Nguyen, 1964; Teekachunhatean, 1985). También se ajusta a los hallazgos respecto a la persistencia y a las variaciones estacionales en la latencia de las semillas de arroz en o sobre el suelo (Capítulo 6).

Simpson (1990) revisó y analizó la información relevante disponible sobre todos los aspectos de la latencia en las semillas de pastos, incluyendo especulaciones, ideas, conceptos y teorías. El proceso lógico adoptado por la revisión aclaró muchas de las similitudes en las respuestas y reacciones entre las especies de *Poaceae* pero no presentó una teoría general sobre la latencia.

Liberación de la latencia en la naturaleza

Los factores operativos involucrados en la liberación de la latencia en semillas de arroz maleza rojo bajo condiciones «naturales», en las cuales la latencia es mantenida o liberada, son consideradas en el Capítulo 6.

Capítulo 5

Vigor y competitividad de los arrozces maleza

El vigor y la competitividad de los arrozces maleza, incluyendo los arrozces rojos, en los arrozales es tal vez su característica más obvia. En América del Norte, América del Sur y Europa la competencia es primeramente intraespecífica e intensa. Los arrozces rojos comunes que infestan los arrozales tienen características, propiedades y respuestas que les dan una neta ventaja sobre la mayoría de las variedades cultivadas. En el África subsahariana la competencia es principalmente interespecífica pero igualmente intensa. Los principales arrozces rojos son *Oryza barthii*, *O. longistaminata* y *O. punctata*. *Oryza barthii* y *O. longistaminata* son los más importantes y ampliamente diseminados (Johnson *et al.*, 1999). *Oryza longistaminata* es una especie perenne con rizomas profundos que le permiten sobrevivir a la quema de los campos, a la labranza superficial o a las sequías prolongadas, convirtiéndose así en un fuerte competidor. En Asia, donde se ha originado el arroz rojo, la competencia ha sido básicamente interespecífica pero se está volviendo intraespecífica (Chin *et al.*, 1999). Si bien algunos importantes arrozces maleza con o sin pericarpio rojo pertenecen a distintas especies, su competitividad está asociada a muchas de las mismas características, propiedades y respuestas que presentan los arrozces rojos *O. sativa*.

PÉRDIDAS ECONÓMICAS CAUSADAS POR LOS ARROCES MALEZA

Durante más de 100 años el arroz rojo ha sido considerado como la maleza más abundante y difícil de controlar en los arrozales de Louisiana (Stubbs, Dodson y Brown, 1904). En la década de 1970 las pérdidas económicas anuales causadas por arroz rojo en los Estados Unidos de América, solamente por la disminución de valor de los granos contaminados, fue de \$EE.UU. 50 millones (Eastin, 1978a). Sin embargo, la pérdida económica total a causa de las infestaciones de arroz rojo es mucho mayor cuando se consideran las reducciones de rendimiento. En Stuttgart, Arkansas, la nueva variedad de alto rendimiento *Wells*, sufrió un 35 por ciento de pérdidas cuando fue sembrada en un campo infestado con 22 plantas/m² de arroz rojo (Burgos y Anders, investigación en marcha, 2006). Las pérdidas en los campos de los productores pueden ser menores dependiendo del nivel de infestación. El grano de arroz contaminado con arroz rojo sufre un descuento en el molino de modo que la pérdida económica total con un 35 por ciento de pérdida de rendimiento llega a 95 por ciento comparado con el valor del arroz producido en un campo libre de arroz rojo. De las 600 000 hectáreas de arroz cultivadas en Arkansas, cerca del 60 por ciento están infestadas, en grados diversos, con arroz rojo. En base a los rendimientos de la variedad *Wells* y un precio del grano de \$EE.UU. 86/ton, las pérdidas de los productores podrían llegar a \$EE.UU. 200/ha. Con 390 000 hectáreas infestadas de arroz rojo en Arkansas las pérdidas totales a los precios actuales del grano podrían llegar a \$EE.UU. 78 millones/año. Los otros estados productores de arroz de los Estados Unidos de América, excepto California, han tenido probablemente pérdidas proporcionales en los últimos años. El descuento en el precio para el arroz contaminado refleja los costos adicionales de procesamiento para reducir o eliminar el arroz rojo, la disminución en el rendimiento de arroz entero y, por lo general, una reducción en la clasificación, mientras que la

pérdida de rendimiento es el resultado de la considerable capacidad competitiva del arroz rojo en los arrozales.

CARACTERÍSTICAS COMPETITIVAS DE LOS ARROCES MALEZA COMPARADOS CON LOS ARROCES CULTIVADOS

En comparación con las variedades que infestan, los principales arroces maleza, incluyendo el arroz rojo, son generalmente más altos, tienen más tallos, son más abiertos o difusos, tienen tallos más débiles, son más susceptibles al vuelco, producen más paja, germinan y emergen un día o dos antes, emergen desde una profundidad mayor y presentan un crecimiento más rápido de las plántulas (Sonnier, 1978; Eastin, 1978a; Do Lago, 1982; Teekachunhatean, 1985; Diarra, Smith y Talbert, 1985a; Kwon, Smith y Talbert, 1991a, 1992; Pantone y Baker, 1991a, 1991b; Wague, 1992; Carrozza, 1999; Khodabaks, 1999; Fischer, 1999; Ferrero y Vidotto, 1999; Estorninos, Gealy y Talbert, 2002). Estas y otras características, propiedades y respuestas de los arroces maleza, incluso de los arroces rojos, les dan una ventaja competitiva sobre las variedades cultivadas que infestan.

Altura de las plantas

Los 31 fenotipos de arroz rojo (21 *SHR*, 9 *BHR* y 1 *BrHR*) recolectados y caracterizados por Do Lago (1982) fueron en general más altos que *Starbonnet*, la variedad más alta de las cuatro variedades usadas para las comparaciones (Cuadro 2 – los tipos de arroz rojo designados con números mayores de 80 o con una T, p. ej., 86/1 y T/9, fueron recolectados por otros investigadores después que Do Lago completó el trabajo). El tipo *SHR* más bajo fue 19 cm más alto que *Starbonnet* y el tipo más alto fue 51 cm más alto. Los tipos *BHR* fueron los arroces rojos más altos, de 32 a 66 cm más altos que la variedad *Starbonnet*. Los cinco tipos *SHR* recolectados en Mississippi después de 1980, (designados con números mayores de 80) fueron la descendencia de los cruzamientos de un tipo *SHR* y una de las variedades semienanas, p. ej. *Lemont* que habían sido liberadas. Los 19 ecotipos de arroz rojo (11 *SHR*, 6 *BHR* y dos tipos de cáscara dorada) de los cuatro estados, caracterizados por Noldin (1995), fueron significativamente más altos que las tres variedades cultivadas usadas en las comparaciones. Los ecotipos de arroz rojo tuvieron una altura mayor que *Mars*, la variedad más alta, variable entre 19 y 51 cm, mientras que comparada con la variedad semienana *Lemont*, la ventaja en altura varió entre 31 y 63 cm. Ventajas similares en altura también fueron encontradas por Fischer y Ramírez (1993) en Colombia, De Souza (1989) en Brasil, Chin *et al.*, en Viet Nam y Ferrero y Vidotto (1999) en Italia. Hace cerca de un siglo, Dodson (1898, 1900) y Nelson (1907, 1908) describieron el arroz rojo como más corto que las variedades cultivadas. Sin embargo, las variedades cultivadas han sido progresivamente acortadas para un mejor uso de los fertilizantes y reducir el vuelco. Las variedades de arroz desarrolladas durante la Revolución Verde por el *International Rice Research Institute* (IRRI) fueron más cortas y con paja más fuerte que las variedades tropicales sembradas en las décadas de 1950 y 1960. Las variedades semienanas del tipo *indica* tales como *Lemont*, introducidas en los países de agricultura más desarrollada en la década de 1970, incrementaron considerablemente la ventaja de la altura de los arroces rojos (Kwon, Smith y Talbert, 1991a, 1991 b; Noldin, 1995; Ferrero y Vidotto, 1999). La altura es un carácter competitivo en las comunidades de las plantas. Las malezas más altas que el cultivo son por lo general más competitivas durante la última mitad del ciclo de crecimiento y tienen un mayor efecto sobre los componentes del rendimiento que el crecimiento del cultivo en sí mismo, como resultado del efecto de la sombra y del vuelco (Stansel *et al.*, 1965; Smith, 1968).

Tallos

Los arroces rojos producen numerosos tallos, especialmente cuando se comparan con las variedades modernas diseñadas para la siembra directa y la cosecha mecanizada. Altas densidades de plantas con bajo número de tallos producen altos rendimientos de grano de madurez uniforme que facilitan las operaciones de cosecha y poscosecha, p. ej., el secado. Por otro lado, la alta capacidad de producir tallos de los arroces rojos es una ventaja competitiva importante para su éxito como malezas. Todos los arroces rojos, excepto dos caracterizados por Do Lago (1982), produjeron más tallos que *Starbonnet*, la variedad con mayor capacidad de producción de tallos (Cuadro 2). Las dos excepciones eran altas, glabras, erectas, con moderado desgrane, tipos de grano *SHR* que simulaban la variedad *Bluebonnet 50* que había sido reemplazada por *Starbonnet*. Los tipos *SHR* produjeron entre 10 y 100 por ciento más tallos que *Starbonnet*. Los tipos *BHR* tenían más tallos que los tipos *SHR* y produjeron de dos a tres veces más tallos que *Starbonnet*. Más adelante, Noldin (1995) obtuvo resultados similares en estudios donde dos de los 19 ecotipos de arroz rojo produjeron menos tallos que la variedad *Maybelle*. Muchos de ellos produjeron 25 a 50 por ciento más tallos. Chin *et al.*, (1999) informaron que los arroces maleza en Viet Nam produjeron cerca de 30 por ciento más tallos por planta en los arrozales que las variedades cultivadas. Sonnier (1978) describió los tipos *SHR* y *BHR* como más altos, más abiertos y con muchos tallos, comparados con variedades cultivadas, y notó que los tipos *BHR* eran los que tenían más tallos, hasta 50 – 75 tallos por planta, en las infestaciones en el campo. Ferrero y Vidotto (1999) informaron que en Italia los arroces rojos en la etapa de plántula eran difíciles de distinguir de los arroces cultivados pero que una vez iniciada la aparición de los tallos, los arroces rojos eran fácilmente identificados por sus tallos, más numerosos, más largos y más finos. La Lámina 15 compara la producción de tallos de dos arroces rojos con la variedad *Starbonnet*.

Vuelco

Las ventajas competitivas de la altura y del alto número de tallos de los arroces rojos, combinados con el hábito «abierto» de los mismos, contribuye a un vuelco más temprano y severo que el del arroz cultivado, una situación que reduce la competencia de las variedades cultivadas más bajas (Quereau, 1920; Smith, Flinchum y Seaman, 1977). Los tipos *BHR* más altos se vuelcan más fácilmente que los tipos *SHR* más bajos (Larinde, 1979), pero ambos son susceptibles al vuelco y frecuentemente caen sobre el arroz cultivado causando a la vez su vuelco (Huey, 1978; Huey y Baldwin, 1978).

Germinación y emergencia

En el pasado se tenía la impresión de que el arroz rojo germinaba y emergía más lentamente que las variedades cultivadas. Esto probablemente derivaba de las observaciones hechas durante los ensayos de análisis de germinación y/o emergencia a ciertos plazos determinados, p. ej., unas pocas semanas después de la cosecha, cuando hay efectivamente una gran diferencia en la intensidad de la latencia entre los arroces rojos y las variedades cultivadas. Dado que la latencia se manifiesta no solamente en la total inhibición de la germinación sino también por una germinación/emergencia más lenta y por una mayor especificidad de las condiciones requeridas (Delouche y Nguyen, 1964), las semillas menos latentes o no latentes de las variedades germinan/emergen más rápido que las de los arroces rojos. Sin embargo, tales observaciones hechas durante ensayos y experimentos no son representativas de la situación competitiva durante la época de la siembra. Por ejemplo, las semillas de arroz rojo que contaminan la semilla de arroz se siembran junto con estas, fueron secadas y almacenadas con las mismas

CUADRO 18

Rangos de temperatura para la germinación de las variedades cultivadas de arroz y ecotipos de arroz rojo a intervalos durante un período de 14 días.

Variedad o ecotipo	Período de germinación (días)				
	2	4	6	8	14
Rango de temperatura para germinación \geq 50 % (°C)					
<i>Nato</i>	Ninguno	30-40	22-42	20-42	20-42
<i>Starbonnet</i>	Ninguno	26-40	22-42	20-42	20-42
<i>79/15 (RR)*</i>	34-40	24-42	22-42	20-42	20-42
<i>BLKH (RR)</i>	30-40	24-42	22-42	20-42	18-42
<i>SHA- (RR)</i>	28-40	22-42	20-42	20-42	20-42
Rango de temperatura para germinación \geq 80 % (°C)					
<i>Nato</i>	Ninguno	30-40	26-40	26-40	22-42
<i>Starbonnet</i>	Ninguno	26-40	26-40	24-40	20-42
<i>79/15 (RR)</i>	34-40	28-40	24-40	22-42	22-42
<i>BLKH (RR)</i>	34-40	26-42	24-42	22-42	20-42
<i>SHA- (RR)</i>	32-40	24-42	24-42	22-42	22-42

*: RR = arroz rojo

Fuente: Pitty, 1988

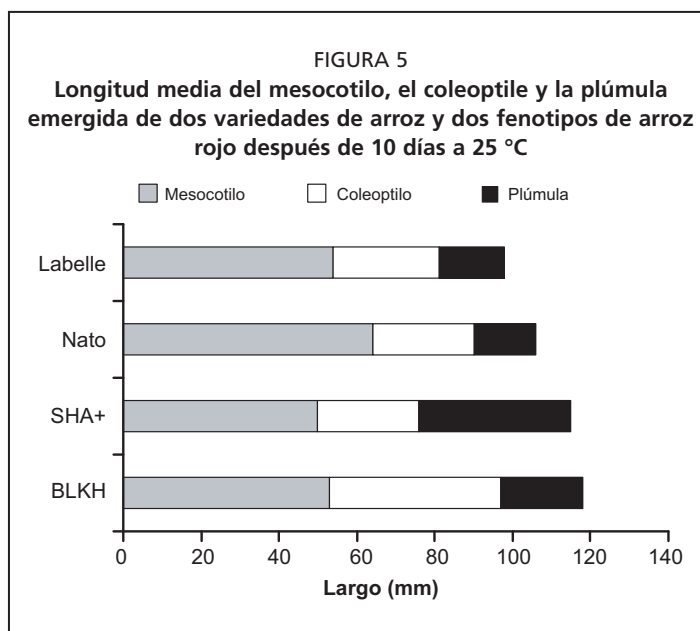
durante varios meses de modo que latencia fuera totalmente liberada al momento de la siembra.

Estudios hechos en Texas a fines de la década de 1970 compararon las respuestas germinativas diarias de semillas no latentes de un ecotipo *BHR* con las de 22 variedades de arroz a temperaturas de 15 – 40 °C durante un período de siete días (Eastin, 1978b; Helpert e Eastin, 1978; Helpert, 1981). El límite más bajo para la germinación durante el período de siete días fue de 15 °C mientras que 40 °C fueron perjudiciales. La temperatura óptima para la germinación del tipo *BHR* fue de 30 – 35 °C comparado con 30 °C para las variedades cultivadas. En promedio, el tipo *BHR* germinó antes que las variedades en el rango 20 – 35 °C. Pitty (1988) determinó la velocidad y los porcentajes de germinación para semillas no latentes de las variedades *Nato* y *Starbonnet* y para los arroces rojos *BLKH*, *SHA-* y *79/15* en una plancha de termogradiante de una vía, con un rango de temperatura de 14 a 44 °C en un período de 14 días. Los tres arroces rojos germinaron de uno a dos días antes y a temperaturas más bajas y más altas que las dos variedades las cuales no alcanzaron 50 y 80 por ciento de germinación en dos días y a cualquier temperatura (Cuadro 18). Los tres arroces rojos alcanzaron el nivel del 80 por ciento de germinación en seis días a temperaturas 2 °C más bajas y 2 °C más altas que las variedades cultivadas. La temperatura óptima constante para la germinación de los arroces rojos fue de cerca de 35 °C comparada con 30 - 32 °C para las variedades cultivadas. Los tres arroces rojos germinaron antes a un mayor porcentaje que las variedades cultivadas y a 42 °C pero hubo poca germinación por encima de 42 °C y por debajo de 18 °C para cualquiera de los materiales probados en ese período.

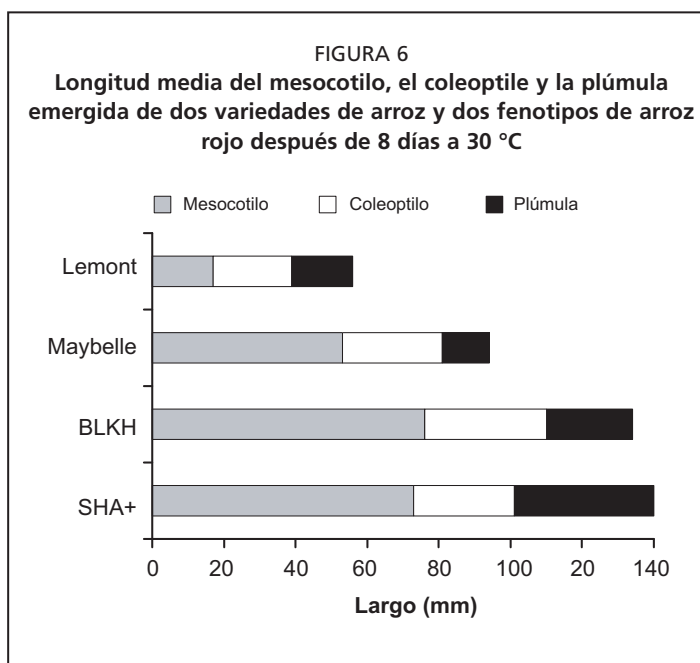
Teekachunhatean (1985) comparó el desarrollo del mesocotilo, el coleoptile y la plúmula de los arroces rojos *SHA+* y *BLKH* y las variedades *Nato* y *Labelle* después de 10 días a 25 °C. El desarrollo total de la plántula fue solo marginalmente mayor en el caso de los arroces rojos que en el de las variedades (Figura 5). Sin embargo, el autor notó que las diferencias fueron mucho mayores al inicio del período de 10 días y que, aparentemente, las variedades «alcanzaban» a los arroces rojos o los arroces reducían la velocidad de su desarrollo después de cinco días. Wagu (1992) repitió el estudio usando dos variedades comunes distintas, *Maybelle* y *Lemont*, pero los mismos arroces rojos a 30 °C durante ocho días en lugar de 25 °C y 10 días. El desarrollo de las plántulas de arroz rojo a los ocho días fue de 50 por ciento mayor que el de *Maybelle* y más de

dos veces mayor que el de *Lemont* (Figura 6); el excepcionalmente corto mesocotilo de la variedad semienana *Lemont* y de algunos de los últimos arrozcs semienanos causaron problemas en la emergencia y provocaron el tratamiento de la semilla con giberelina para aumentar el largo de la plántula, especialmente el mesocotilo. Ambos arrozcs rojos fueron superiores a *Maybelle* y *Lemont* en lo que hace al largo de la raíz a los cuatro y ocho días, al peso seco de la plántula y a la velocidad de germinación. El fenotipo *BLKH* exhibió una significativamente mayor tasa de germinación y desarrollo de la plántula que *SHA+* (Cuadro 19).

Helpert e Eastin (1978), al final de la década de 1970, en Texas, llevaron a cabo cuatro estudios sobre la profundidad de emergencia de modo de comparar la emergencia de los ecotipos *SHR* y *BHR* y de cinco variedades a profundidades del suelo de 0, 1, 2, 4, 8 y 16 cm, en el campo y en el invernadero. Los porcentajes de emergencia y de altura de las plantas de los dos arrozcs rojos fueron mayores que aquellos de las variedades cultivadas a todas las profundidades de suelo durante la primera mitad del período de observación de 24 días. Los porcentajes de emergencia para los arrozcs rojos fueron aún mayores a los 24 días pero las variedades tuvieron casi la misma altura de plantas. Los dos arrozcs rojos emergieron más rápidamente y con



Fuente: Teekachunhatean, 1985



Fuente: Wague, 1992.

CUADRO 19

Comparación del vigor de las plántulas de las variedades *Maybelle* y *Lemont* y los fenotipos de arroz rojo *SHA-* y *BLKH* durante un período de ocho días a 25 °C en la oscuridad

Variedad o fenotipo	Largo del brote (cm)	Largo de la raíz (cm)		Peso seco plántula (mg)	Índice de velocidad de germinación*
		4 días	8 días		
<i>Maybelle</i>	5,3c	10,0c	16,8b	2,24c	19,9c
<i>Lemont</i>	4,6c	8,4d	15,2c	2,05c	19,6
<i>SHA-</i>	7,8b	14,0b	20,0a	3,33b	22,1b
<i>BLKH</i>	10,3a	15,0a	19,5a	3,68a	28,4a

* El índice de velocidad de germinación se basa en la tasa y el porcentaje diario de germinación (Maguire, 1962).

Fuente: Wague, 1992.

porcentajes más altos que cualquiera de las cinco variedades. Algunas semillas del tipo *SHR* emergieron desde la profundidad de 16 cm.

EFFECTOS DE LA DENSIDAD DEL ARROZ ROJO Y PERÍODO DE INTERFERENCIA

En Arkansas se llevaron a cabo experimentos para evaluar los efectos de una competencia durante toda una estación entre 0, 5, 108 y 215 plantas/m² de arroz rojo sobre el rendimiento y los componentes del rendimiento de la variedad de grano largo *Lebonnet* y de la variedad de grano medio *Mars* (Diarra, Talbert y Smith, 1984; Diarra, Smith y Talbert, 1985b). La densidad de cinco plantas/m² redujo el rendimiento de grano en 19 – 22 por ciento mientras que las mayores densidades lo redujeron hasta en un 83 por ciento. Los componentes del rendimiento negativamente afectados por el arroz rojo a las densidades más altas incluyeron las panojas/m² y los granos por panoja. Sin embargo, el número de tallos se redujo significativamente solo a la densidad de 108 plantas/m² o mayor.

Teekachunhatean (1985) evaluó los efectos de la competencia por los fenotipos *SHA-* y *BLKH* sobre el crecimiento, el desarrollo y el rendimiento de la variedad *Starbonnet*. El nivel de competencia fue de 1:1 de cada tipo de arroz rojo con *Starbonnet* con las plantas sembradas a 15 cm de distancia en surcos separados 30 cm. Las plantas se sembraron directamente y se ordenaron en forma de tablero de ajedrez de modo que una planta de arroz rojo fue rodeada por plantas de *Starbonnet* y viceversa. La densidad de plantas por parcela fue de cerca de 30 plantas/m². El Cuadro 20 muestra los resultados de una estación en una competencia 1:1 entre *Starbonnet* y los fenotipos *SHA-* y *BLKH*, y en particular que:

- no tuvo efecto sobre el momento de la antesis, madurez de cosecha (ca. 20 por ciento de humedad) y altura de plantas, con la excepción de la altura de *BLKH* que fue reducida significativamente por la competencia con *Starbonnet*;
- el número de tallos y el peso seco por planta fueron reducidos significativamente para *Starbonnet* e incrementados para *BLKH* y *SHA-*;
- el rendimiento de grano de *Starbonnet* se redujo en 50 y 40 por ciento en la competencia con *SHA-* y *BLKH*, respectivamente, mientras que los rendimientos de *SHA-* y *BLKH* se incrementaron en 139 y 171 por ciento, respectivamente.

CUADRO 20

Efectos de la competencia durante una estación entre la variedad *Starbonnet* y los tipos de arroz rojo *SHA-* y *BLKH* en una relación 1:1 al momento del 50 por ciento de la antesis, sobre la madurez a la cosecha, número de tallos, peso seco de la planta y rendimiento de grano

Tipos en competencia*	Días a		Altura de planta (cm)	Número de tallos	Peso seco por planta (g)	Rendimiento de grano (g)	
	50 % antesis	Madurez de cosecha**				0,5 m ²	Como % cultivo puro
Starbonnet							
<i>Star/Star</i>	93	123	115c	10,0d	34,6c	29,6b	-
<i>Star/SHA-</i>	93	123	117c	6,0e	17,0d	14,9cd	50,4
<i>Star/BLKH</i>	94	124	113c	5,8e	15,7d	11,7d	39,6
SHA-							
<i>SHA-/SHA</i>	85	116	157b	14,8c	48,2bc	24,4bc	-
<i>SHA-/Star</i>	90	119	146b	18,2c	60,7b	38,0b	138,6
BLKH							
<i>BLKH/BLKH93</i>		123	177 ^a	24,5b	66,6b	33,9b	-
<i>BLKH/Star 91</i>		121	153b	35,7 ^a	95,2a	56,1	170,6

* *Star/Star*, *SHA-/SHA-*, *BLKH/BLKH* eran cultivos puros. En las siembras 1:1 los datos en el surco son para el primer tipo, p. ej., *Star/SHA-*, datos para *Starbonnet*. Las medias en cada columna no seguidas de la misma letra difieren significativamente al uno por ciento de probabilidad determinado por la prueba de la menor diferencia significativa.

** Humedad del grano cerca de 20 por ciento

Fuente: Teekachunhatean, 1985

CUADRO 21

Efectos de la competencia a lo largo de toda la estación entre las variedades *Maybelle* y *Lemont* y los tipos de arroz rojo *SHA-* y *BLKH*, en siembra directa y en siembra transplantada sobre la biomasa y algunos rendimientos del componente de las dos variedades

Tipos en competencia	Número tallos/planta a 100 días		Peso verde por planta a 100 días (g)		Número panojas/planta a la madurez		Número granos/panoja a la madurez		Rendimiento relativo granos/planta (%)**	
	TP	SD	TP	SD	TP	SD	TP	SD	TP	SD
<i>Maybelle</i> (solo)	17a*	18a	294a	330a	14a	15a	132a	172a	100	100
Relación 1:1										
<i>Maybelle</i> / <i>SHA-</i>	11b	12b	178b	160b	8b	7b	81c	73c	35	20
<i>Maybelle</i> / <i>BLKH</i>	11b	10b	173a	180b	7b	8b	78c	66c	29	21
<i>Lemont</i> (solo)	16a	17 ^a	276a	362a	12a	13a	111b	127b	100	100
Relación 1:1										
<i>Lemont</i> / <i>SHA-</i>	10b	11b	161b	172b	6b	6b	45d	60c	20	21
<i>Lemont</i> / <i>BLKH</i>	9b	10b	164b	148b	6b	5b	50d	70c	23	21

Notas: la media en cada columna no seguida por la misma letra difiere significativamente a nivel uno por ciento de probabilidad. TP = trasplante; SD = siembra directa

* todos los datos son para la variedad cultivada

** rendimiento basado en granos por planta de la variedad en una competencia 1:1 relativa a su rendimiento en monocultura.

Fuente: Moreno, 1990.

Los rendimientos de grano de *Starbonnet* y de los dos arrozos rojos eran comparables en cultivos puros. Sin embargo, en condiciones de competencia, el rendimiento cambió a favor de los arrozos rojos en contra de *Starbonnet* y aumentó significativamente para *BLKH*.

Moreno (1990) examinó los efectos de la competencia en una estación entre las variedades *Maybelle* y la semienana *Lemont* y los arrozos rojos *SHA-* y *BLKH* en una relación 1:1, tanto en trasplantes como en siembra directa. El número de tallos por planta, el peso verde por planta a los 100 días, las panojas por planta, los granos por panoja y el rendimiento de grano fueron significativamente menores en las dos variedades en los dos tipos de cultivo (Cuadro 21). Los efectos negativos de la competencia con los arrozos rojos fueron mayores en la variedad semienana *Lemont*.

Kwon, Smith y Talbert (1991a) informaron sobre los efectos de la interferencia de un ecotipo *SHR* a lo largo de toda la estación a densidades de 1 - 40 plantas m² sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento de las variedades *Newbonnet* y la semienana *Lemont*. La interferencia a lo largo de toda la estación tuvo un efecto de moderado a fuerte sobre el comportamiento de las variedades dependiendo de la densidad del arroz rojo. El peso seco de las variedades *Newbonnet* y *Lemont* se redujo 100 y 130 kg/ha, respectivamente, por cada planta de arroz rojo/m² mientras que el rendimiento de grano se redujo 178 y 272 kg/ha por cada planta de arroz rojo/m². La altura de las plantas de la variedad semienana *Lemont* se redujo con 10 plantas de arroz rojo/m² mientras que la variedad más alta *Newbonnet* se redujo solo a la densidad más alta del arroz rojo de 40 plantas m². La altura de la planta del arroz rojo se incrementó a medida que aumentaba la densidad de plantas del mismo pero fue mayor en la competencia con la variedad convencional *Newbonnet* que con la semienana *Lemont*. En términos generales, la interferencia del arroz rojo fue mayor con la variedad semienana *Lemont* lo cual fue atribuido por los autores a un mayor efecto de sombreado.

En un estudio relacionado con el anterior, Kwon, Smith y Talbert (1991b) evaluaron la influencia de la duración de la interferencia de un ecotipo *SHR* sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento del arroz de la variedad *Newbonnet* y de la variedad semienana *Lemont* de modo de obtener información útil para manejar el momento y las operaciones de control. El arroz rojo sembrado a 20 plantas/m² fue cultivado

con las dos variedades para observaciones de 0 a 120 días después de la emergencia. La competencia del arroz rojo durante 120 días, o sea una estación completa de competencia, redujo el peso seco de la paja en 58 y 34 por ciento y los rendimientos de grano en 86 y 52 por ciento para las variedades *Lemont* y *Newbonnet*, respectivamente. El peso seco de la paja de las variedades fue afectado progresiva y negativamente a medida que la interferencia del arroz rojo se extendió más de 40 días, mientras que los rendimientos de grano disminuyeron progresivamente a medida que el período de interferencia se extendió más de 60 días. Otros parámetros de comportamiento afectados negativamente por una prolongada interferencia del arroz rojo incluyeron la altura de las plantas, el número de panojas/m², el número de espiguillas por panoja y el número de granos llenos por panoja. En todos los parámetros medidos, la variedad semienana *Lemont* fue afectada más negativamente que la variedad convencional *Newbonnet*. Del mismo modo, el peso seco de la paja y el número de tallos fueron mayores para el arroz rojo en competencia con la variedad semienana *Lemont*. Por lo tanto, los arroces rojos son más similares a otras malezas comunes de los arrozales tales como *Sesbania exaltata* y *Aeschynomene virginica* que son sumamente competitivas en la segunda mitad de la estación y de *Echinochloa crus-galli*, la maleza más común en los arrozales, que es un fuerte competidor en las primeras etapas del cultivo (Smith, 1968). Estudios más recientes por Pantone y Baker (1991b) y Pantone, Baker y Jordan (1992) encontraron que la competencia intervarietal tenía mayor efecto que la competencia intravarietal y que la competencia del arroz maleza redujo el número de las panojas de arroz y de florecillas por panoja pero no el número de florecillas llenadas o de su peso, o sea, se redujo el rendimiento en cantidad pero menos en calidad. Estorninos *et al.* (2005b) informaron que el crecimiento del arroz en competencia con el arroz rojo se redujo solamente cuando la interferencia persistió más de 70 días, lo que es algo más que los 40 días de interferencia para la reducción de la biomasa y de 60 días para las reducciones de rendimiento sobre las que habían informado anteriormente Kwon, Smith y Talbert (1991b).

EFFECTOS GENERALES DE LA COMPETENCIA

Los primeros investigadores en el cultivo del arroz en los Estados Unidos de América notaron que sin medidas rigurosas y un uso conciente de las medidas de control disponibles en ese entonces, la población o densidad del arroz rojo en campos con producción continua de arroz a menudo se incrementaba en tal medida que los campos infestados se volvían inadecuados para ese cultivo (Dodson, 1898; Knapp, 1899; Quereau, 1920). En muchas de las discusiones en el primer simposio sobre investigación y control de arroz rojo realizado en 1978 (Eastin, 1978a), se enfatizó la magnitud del problema y la necesidad de que los productores arroceros explotaran todas las medidas disponibles para controlar el arroz rojo. Dishman (1978) describió un campo de 100 hectáreas que debió ser abandonado para la producción de arroz en razón de la severidad de la infestación de arroz rojo y explicó las medidas que fueron tomadas para reducir la densidad del arroz rojo de modo de poder sembrar nuevamente arroz. Sonnier (1978) discutió en detalle las alternativas y las opciones disponibles para los productores de arroz para controlar el arroz rojo de modo que la producción fuera otra vez económicamente viable. Si bien desde 1978 se han obtenido armas adicionales para el control del arroz rojo, aquellas discutidas en el simposio antes mencionado continúan siendo los elementos básicos del paquete de medidas de control.

Las consecuencias de las infestaciones de arroz rojo dependen del grado de infestación y de las medidas de control tomadas; ordenadas de las más a la menos importantes incluyen:

- el abandono eventual del área de producción de arroz debido a una abrumadora población de arroz rojo;

- reducciones importantes en el rendimiento y menores precios del grano debido al castigo hecho en razón de la presencia de granos de arroz rojo en el grano comercial;
- incremento de los costos de producción, p. ej., mano de obra, pesticidas, equipo y energía necesarios para las tareas de control;
- el inconveniente de remover las plantas invasoras en el caso de infestaciones menores.

La reducción de los rendimientos son una consecuencia común y frecuentemente importante de las infestaciones de arroz rojo. En Brasil, infestaciones de 60 plantas de arroz rojo/m² redujeron el rendimiento entre 30 y 50 por ciento (De Souza, 1989) mientras que en Colombia, 24 plantas m² redujeron los rendimientos en 50 por ciento (Fischer y Ramírez, 1993). Diez o menos plantas de arroz rojo/m² no afectaron los rendimientos en Costa Rica pero cada planta de arroz maleza por encima de 10 plantas m² decrecieron el rendimiento en 0,09 ton/ha (Espitia, 1999). García de la Osa y Rivero (1999) informaron acerca de infestaciones de arroz rojo de hasta 240 plantas/m² en algunas áreas severamente infestadas de Cuba y notaron que las variedades de ciclo corto fueron las más afectadas. En México las reducciones de rendimiento pueden llegar a 40 – 60 por ciento (Martínez, 1999) mientras que en Suriname el rendimiento se redujo en seis por ciento por cada uno por ciento de incremento de la densidad de infestación (Khodabaks, 1999). Chin *et al.* (1999) informaron sobre estudios en Viet Nam que mostraron que el rendimiento del arroz comenzó a decrecer cuando el número de tallos de arroz maleza excedió 12 tallos/m². En Francia, las infestaciones de arroz rojo pueden reducir los rendimientos en 50 por ciento (Mouret, 1999) y aún más en fuertes infestaciones en Italia (Ferrero y Vidotto, 1999).

FISIOLOGÍA Y COMPETITIVIDAD DE LOS ARROCES ROJOS EN LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

Una tecnología de control de malezas para el cultivo de arroz, oportuna, efectiva y económica es influenciada por varios factores incluyendo umbrales de interferencia, biología y hábitos de crecimiento de las malezas en el cultivo (Smith, 1988). El impacto del arroz maleza sobre el arroz depende de las densidades del cultivo-malezas, duración de la interferencia, la variedad sembrada, los niveles de fertilidad del suelo y el régimen de humedad del suelo. Los cultivares bajos crecen más lentamente que las antiguas variedades altas. Por lo tanto, es necesario más tiempo para cerrar el dosel foliar; esto da más posibilidades a las malezas tales como el arroz rojo para superar al arroz cultivado. El cambio de variedades de arroz altas a variedades bajas tuvo el indeseable efecto colateral de exacerbar el problema de las malezas porque favorece el crecimiento y la competencia de *Echinochloa crus-galli*, arroz rojo, *Leptochloa* spp. y de malezas acuáticas (Smith, Flinchum y Seaman, 1977; McGregor, Smith y Talbert, 1988). La ventaja competitiva favorece aún más a las malezas al aplicar fertilizante al inicio de la estación cuando es necesario para el cultivo de arroz.

Las plantas C₄ son en general más competitivas que las plantas C₃ porque estas últimas son menos eficientes en la asimilación del carbono que las primeras (Orsenigo, Patrignani y Rascio, 1997), especialmente en zonas climáticas cálidas y deficientes en agua. Por ejemplo, el sorgo granífero (*Sorghum bicolor*) es una especie C₄ muy productiva en Kansas y Texas donde las temperaturas del verano son altas y las precipitaciones son limitadas. Muchas de las malezas importantes del cultivo del arroz son C₄, excepto el arroz rojo que es una especie C₃, como el arroz cultivado. Smith (1988) informó acerca de los umbrales de las malezas en el sur de los Estados Unidos de América. De las 10 especies estudiadas, la competencia con el arroz rojo durante toda la estación causó la mayor reducción de rendimiento del arroz –cerca de 80 por ciento. Cuanto más corta

era la duración de la competencia del arroz rojo menor fue el efecto que tuvo sobre el rendimiento del arroz. La maleza más importante en el cultivo del arroz, *Echinochloa crus-galli*, se ubicó después del arroz rojo en sus efectos durante toda la estación sobre el rendimiento del arroz, causando una reducción del 70 por ciento. El arroz rojo también fue el competidor más agresivo y dañino en los arrozales, más que otras gramíneas tales como *Leptochloa fascicularis* y *Brachiaria platyphylla*. Estudios llevados a cabo en Arkansas a inicios de la década de 1980 usando la variedad *Newbonnet* sembrada con sembradora demostraron que una planta de arroz rojo/m² redujo el rendimiento en 219 kg/ha (Smith, 1988). Aparentemente, en un primer momento, desde la siembra hasta la etapa de dos o tres hojas, el arroz rojo no tiene impacto sobre el crecimiento del arroz y además es susceptible a medidas de control químico. Después de esta etapa se convierte en sumamente agresivo ya que crece más alto y más fuerte que el arroz. Niveles aceptables de control del arroz rojo se obtuvieron solamente con gran dificultad, altos costos y/o rotaciones de larga duración hasta que recientemente se comenzó a comercializar la tecnología de arroz *Clearfield* resistente a herbicidas.

En lo que concierne a los umbrales económicos de control, Smith (1988) propuso una baja tolerancia para el arroz rojo en los campos de producción de arroz; densidades de 1- 3 plantas/m² eran el punto de partida para iniciar con las medidas de control del arroz rojo, un criterio bastante rígido que no ha cambiado. En contraste, hasta 10 plantas m² son consideradas como el umbral económico para *Echinochloa crus-galli* y tres veces más para otras especies.

Mecanismos de competencia

La competitividad es la capacidad de las plantas para utilizar rápidamente recursos fungibles tales como el agua y los nutrientes o crecer mejor que las especies asociadas cuando esos recursos son limitados (Radosevich, Holt y Ghera, 1997). Es necesario explicar porque una planta C₃ como el arroz rojo es más competitiva que otra planta C₃ como el arroz cultivado. Existen varias causas posibles que establecen las diferencias entre el arroz cultivado y el arroz maleza rojo, en particular diferencias genéticas y las resultantes respuestas fisiológicas al ambiente. Sin embargo, solo recientemente se han realizado experimentos para elucidar los posibles mecanismos de la competencia, los que se discuten más adelante.

Muchas de las características morfológicas que contribuyen a la competitividad de los arroces rojos en los arrozales han sido identificadas y discutidas anteriormente. Los arroces rojos por lo general son más altos, producen más tallos y tienen una mayor área foliar que el arroz (Kwon, Smith y Talbert, 1992; Noldin, Chandler y McCauley, 1999; Estorninos, Gealy y Talbert, 2002). La altura, la producción de biomasa debajo y encima de la tierra y el área foliar están entre los indicadores más fuertes de la habilidad competitiva de una planta (Gaudet y Keddy, 1988). Los arroces rojos poseen estas características competitivas y son competidores mucho más agresivos que los arroces cultivados (Pantone y Baker, 1991b; Estorninos, Gealy y Talbert, 2002).

Las ventajas de la intercepción de la luz y de la ocupación del espacio

La producción de tallos en *Poaceae* está fuertemente correlacionada con la producción de biomasa y la toma de recursos. Por lo tanto, el arroz rojo que puede producir el doble de tallos que el arroz cultivado, tiene ventajas competitivas. El arroz rojo con alto número de tallos ocupa más espacio, invade a otras plantas y tiene un área foliar mayor para una mayor intercepción de luz. En ausencia de competencia, los arroces *SHR* produjeron significativamente más tallos que los arroces cultivados bajo condiciones similares (Cuadro 22). Creciendo en competencia, el arroz rojo (*LA3*) también

CUADRO 22
 Características agronómicas y fisiológicas comparativas de arroz y de arroz maleza cultivados en condiciones no competitivas en la Rice Research and Extension Center, Stuttgart, Arkansas, Estados Unidos de América, entre mayo y agosto, 2000 y 2001

Cultivar de arroz o tipo de arroz rojo	Biomasa del tallo ^a (g/planta)		Número de tallos	Panojas por planta (número)	Granos por panoja (número)	Granos por planta (número)	Clorofila total ^c (mg/g f wt)	Reducción de la fotosíntesis ^c (%)	$\delta^{13}C^d$
	100 N (kg/ha)	200 N (kg/ha)							
Bengal	175	210	54	51	70	3 794	1,67	42	-26,96
Wells ^b	270	290	64	32	73	2 399	2,02	46	-28,04
Katy arroz rojo	230	260	51	45	101	4 136	1,29	27	-27,98
SHR	380	400	76	86	159	15 133	1,40	32	-28,09
LSD _{0,05}			12	8	28	1 201	0,35	11	0,40

Planta tipo = 78
 Dosis de N = 44

Nota: los factores involucrados en estos experimentos son: i) tipo de planta indicado en la tabla; ii) dosis de N (0, 100 y 200 kg/ha) y, iii) sombra (0 y 50 %). El tratamiento de sombra fue impuesto 10 días después de la iniciación de la floración de cada tipo de planta y sostenido durante 7 días. Esta duración de la sombra no afectó el número de tallos, la biomasa de los tallos y la producción de grano. ^a dosis de N en kg/ha.

^b parámetros del rendimiento de Wells disponibles solo en el 2001. Esta variedad o maduró antes del inicio del tiempo frío en 2000.

^c la clorofila y la fotosíntesis fueron medidas en la hoja bandera dos días después de imponer el tratamiento de sombra.

^d analizado usando la hoja más joven de cada planta muestreada a 100 N kg/ha, 40 días después de la siembra en el 2000 y en ejecución de la hoja bandera en el 2001, antes del tratamiento de sombra. Los valores obtenidos son representativos de plantas C₄ en contraste con las de *Echinochloa crus-galli* (-12,13) que es una planta típica C₄.
 Fuente: datos extraídos de Stiers (2002).

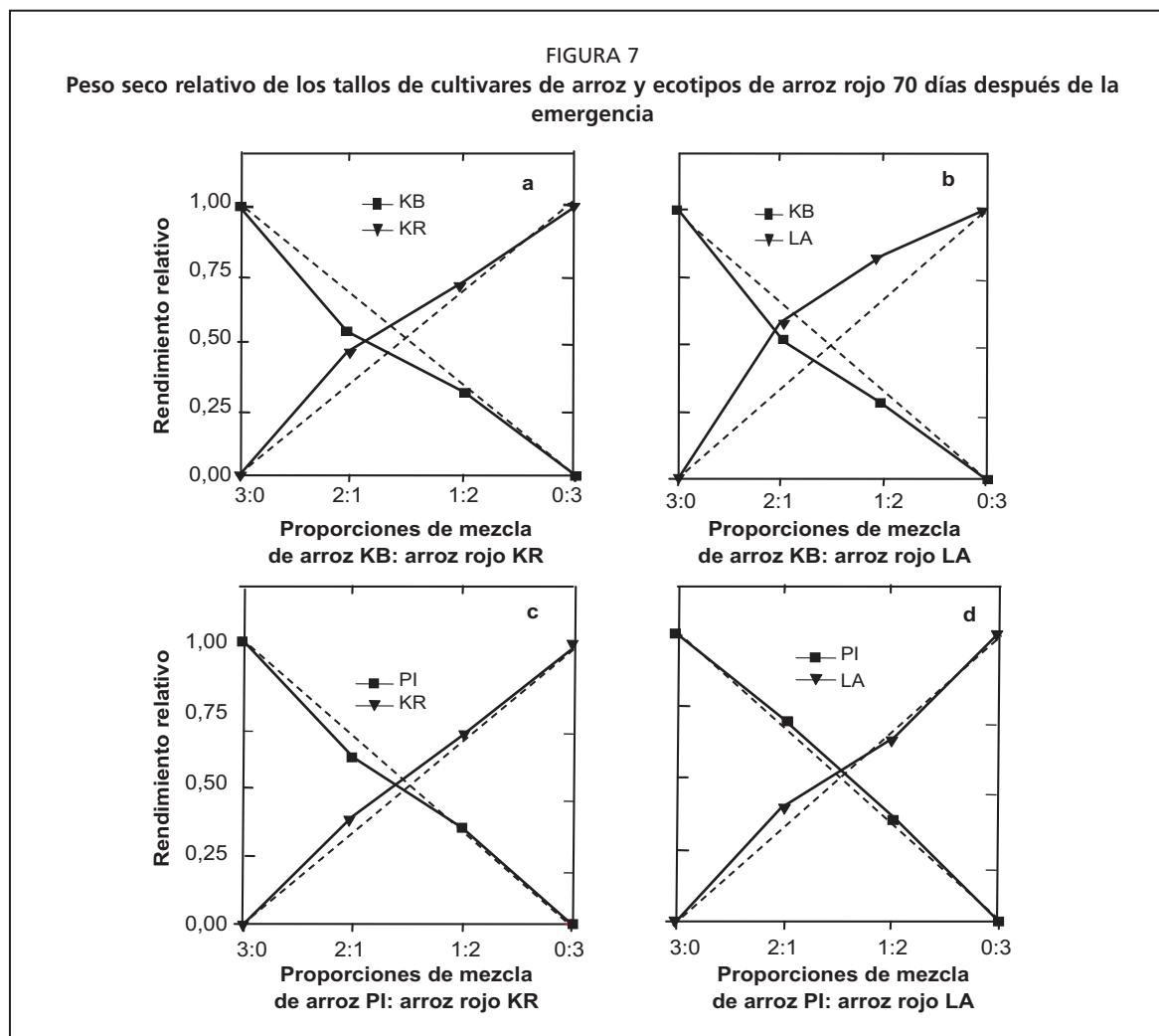
produjo más tallos y biomasa que la variedad *Kaybonnet* (Estorninos *et al.*, 2005b). Sin embargo, la competitividad del arroz rojo es influenciada por el biotipo de arroz rojo y la variedad que infesta. La producción potencial de tallos y de altura de planta es muy variable entre los tipos de arroz rojo (Capítulo 3, y en este mismo Capítulo, más adelante). En estudios hechos en Arkansas (Shrivrain, 2004), el número más común de tallos por planta en los arroces rojos *BHR* y *BrHR*, en ausencia de competencia, fue de 120/planta, con un rango de 70 - 140/planta. El arroz rojo *SHR*, o sea el tipo predominante de arroz maleza tuvo una capacidad potencial de producción de tallos de 70 - 120/planta, lo cual es mucho más alto que la capacidad de producir tallos de las variedades de arroz desarrolladas para la producción mecanizada.

Otro medio por el cual las plantas obtienen una ventaja competitiva sobre otras plantas en la competencia por la interceptación de la luz es la altura. La ventaja en altura del arroz rojo sobre las variedades cultivadas de arroz ya ha sido discutida. La altura de los ecotipos de arroz rojo afecta las variedades que infesta y, a su vez, es afectada por la variedad. El arroz rojo alto (*LA3*) sembrado a varias densidades en competencia con *Kaybonnet*, al ser sembrado a la densidad común (100 kg/ha), produjo muchos más tallos, panojas, biomasa y rendimiento de semillas que un arroz rojo de tipo bajo, *KatyRR*, derivado de un cruzamiento con la variedad *Katy* (Estorninos *et al.*, 2005). Del mismo modo, el rendimiento, la densidad de panojas y la masa sobre la tierra del arroz *Kaybonnet* fueron claramente más bajos cuando crecieron en competencia con el ecotipo alto *LA3* que con el tipo corto *KatyRR*.

La ventaja de la altura y la capacidad de producir tallos tienen efectos compensatorios para la competencia. Un biotipo de arroz rojo podría no ser significativamente más alto que las variedades de arroz pero aún así competir agresivamente produciendo más tallos. En estudios en macetas (Figura 7), variedades semienanas con alta capacidad de producción de tallos tales como *PI 312777*, de 82 cm y 12 tallos/planta fueron tan competitivamente agresivas como el arroz rojo en contraste con variedades altas pero pobres productoras de tallos tales como *Kaybonnet* de 100 cm y cinco tallos/planta (Estorninos, Gealy y Talbert, 2002). Se obtuvieron resultados similares en estudios de campo donde cultivares altamente productores de tallos de tipo *indica* *PI 312777* y *Guichao*, a densidades comerciales de siembra de 100 kg/ha redujeron el número de los tallos del arroz rojo más que lo que hizo *Kaybonnet* (Estorninos *et al.*, 2005a).

Dado que las características agronómicas de una variedad de arroz tienen influencia sobre su capacidad para soportar la competencia (Johnson *et al.*, 1998), los caracteres competitivos deberían ser considerados en los programas de fitomejoramiento para alto rendimiento y buena calidad de grano. Las variedades altas de arroz que no han sido sometidas a una selección intensa de sus características agronómicas o que son aún relativamente cercanas a las formas parentales salvajes, son más competitivas que las variedades semienanas en poblaciones mezcladas (Jennings y Aquino, 1968; Jennings y de Jesús, 1968). Por ejemplo, *Newbonnet*, una variedad alta, sufrió menos pérdidas de rendimiento de la competencia del arroz rojo en comparación con *Lemont*, una variedad semienana: 10 plantas de arroz rojo/m² causaron una reducción de 27 por ciento en *Newbonnet*, pero substancialmente una pérdida mayor de rendimiento de 45 por ciento en *Lemont* (Kwon, Smith y Talbert, 1991a).

Las variedades más nuevas, incluyendo *CL 161*, *Cocodrie*, *LaGrue* y *XL8* (arroz híbrido) son generalmente menos afectadas por la competencia del arroz rojo a densidades de 12 plantas/m² comparadas con la variedad antigua semienana *Lemont* (Ottis *et al.*, 2005). A la muy baja densidad de arroz rojo de menos de una planta/m², la variedad *Lemont* generalmente produjo el rendimiento más bajo (ca. 5-7,5 t/ha) mientras que el híbrido *XL8* produjo el rendimiento más alto (9-1,8 t/ha) en diversas localidades. Las variedades más nuevas, no híbridas, tuvieron un rendimiento igual o mayor que



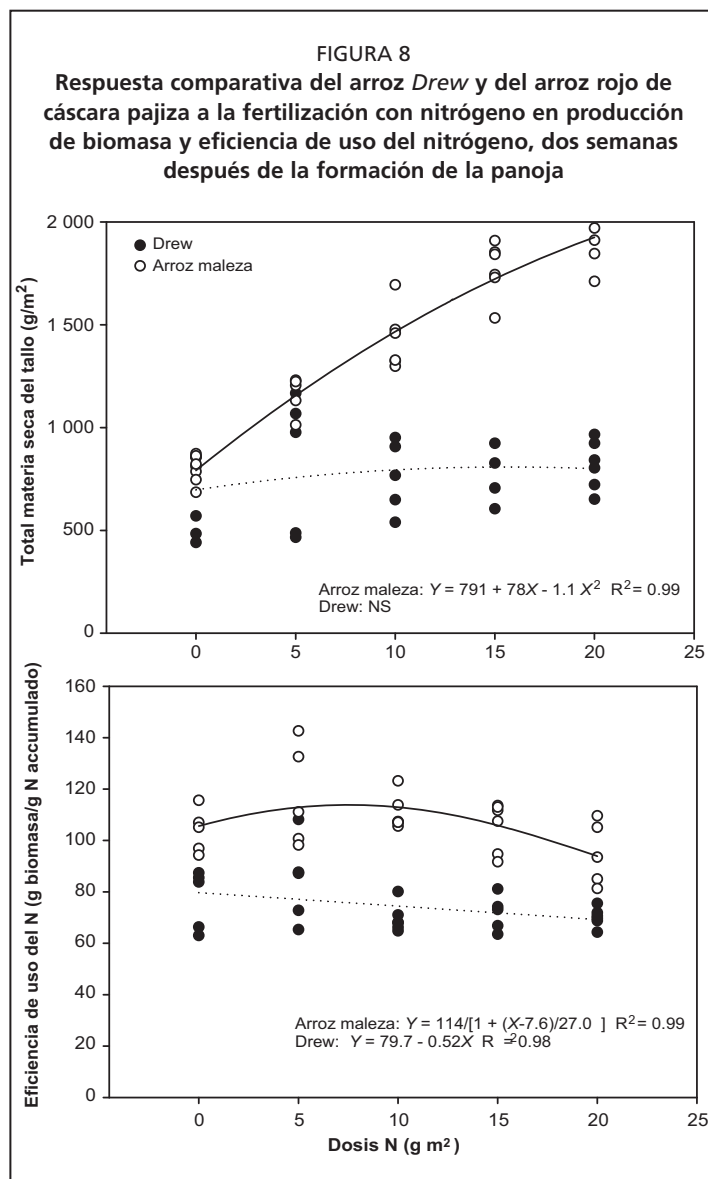
Nota: influencia de las proporciones de las mezclas de arroz/arroz rojo 3:0, 2:1, 1:2 y 0:3: (a) arroz *Kaybonnet* (■KB) y arroz rojo *KatyRR* (▼KR); (b) arroz *Kaybonnet* (■KB) y arroz rojo *LA3* (▼LA); (c) arroz *PI 312777* (■PI) y arroz rojo *KatyRR* (▼KR) y arroz *PI 312777* (■PI) y arroz rojo *LA3* (▼LA). Las líneas cortadas en cada cuadro indican la respuesta teórica esperada para dos especies igualmente competitivas que se intersectan en el punto de equivalencia.

Fuente: Estorninos, Gealy y Talbert, 2002.

Lemont pero fueron menos productivas que el híbrido. Esto indica que la selección para rendimientos más altos no eliminó la capacidad competitiva de los cultivares nuevos. El arroz híbrido tiene plantas más grandes con más tallos que las variedades modernas convencionales de arroz y es considerado más competitivo que estas. Esto fue más aparente donde la densidad del arroz rojo fue más alta (12 plantas/m²).

Absorción y eficiencia del uso del nitrógeno

El arroz rojo crece más rápido y madura más temprano que muchas variedades modernas de arroz e incluso que variedades más antiguas como *Newbonnet* y *Lemont* (Kwon, Smith y Talbert, 1992). Esta diferencia en producción de biomasa entre la maleza y el cultivo se magnifica en el campo. Incluso, cuando hay ausencia de competencia, el arroz y el arroz rojo responden en forma diferente a la fertilización nitrogenada. A dosis óptimas de nitrógeno las variedades *Bengal* y *Wells* (100 kg/ha N) produjeron entre 1,4-2,2 veces más biomasa que las variedades (Cuadro 23). A una dosis alta de fertilizante nitrogenado (200 kg/ha) la velocidad de emergencia de las hojas de *Bengal* (grano medio) y *Wells*



Nota: el arroz y el arroz rojo fueron sembrados bajo condiciones competitivas en surcos alternados a 19 cm de distancia con el arroz rojo a un tercio de la población de la variedad *Drew*, Arkansas.

Fuente: adaptado de Burgos *et al.* (2006a).

(grano largo) declinaron en relación con las dosis óptimas de nitrógeno. Viceversa, la velocidad de emergencia de las hojas de *SHR* cultivado con 200 kg/ha de nitrógeno, se incrementó significativamente en relación con las dosis bajas de nitrógeno (Stiers, 2002). Esto indica que una excesiva fertilización nitrogenada demora la madurez del arroz pero no del arroz rojo.

Las diferencias en la biología del arroz rojo influenciaron su interferencia con el arroz. Burgos *et al.* (2006a) encontraron que en una población mezclada de tres plantas de la variedad *Drew* con una planta de arroz *SHR*, el último acumuló más nitrógeno en los tejidos de sus tallos, produjo más biomasa de tallos por unidad de nitrógeno absorbido y respondió a niveles más altos de nitrógeno que la variedad (Figura 8). Sin fertilizante nitrogenado, el arroz rojo produjo 791 g/m² de biomasa de tallos, comparado con 686 g/m² para la variedad *Drew* dos semanas después de formar la panoja, en Stuttgart, Arkansas. La variedad *Drew* no respondió en forma significativa a la adición de 20 g/m² de nitrógeno mientras que el arroz rojo continuó a producir más biomasa de los tallos con la misma adición de nitrógeno y no alcanzó la máxima producción de biomasa dentro de los límites de fertilizante usados. La respuesta del arroz rojo a

la fertilización nitrogenada fue mucho mayor en relación a la variedad *Drew* dos semanas después de la formación de la panoja que a la iniciación de la misma. Dos semanas después de la formación de la panoja el arroz rojo también mostró una tasa sostenida de absorción de nitrógeno cuando este se aplicó hasta 20 g/m². El arroz *Drew* mostró una tasa decreciente de acumulación de nitrógeno en los tejidos de los tallos a medida que se aplicó más fertilizante. Estos resultados indicaron que el arroz rojo fue capaz de tomar más nitrógeno del suelo que la variedad *Drew*. En promedio, el arroz rojo acumuló 63 por ciento del nitrógeno aplicado en los tejidos de los tallos dos semanas después de la formación de la panoja, aparentemente como resultado del mayor volumen de biomasa que produjo debajo y encima de la tierra. El arroz *SHR* produjo por lo menos 1,5 veces la biomasa de las raíces de la variedad de grano medio *Bengal* y de la variedad de grano largo *Wells* bajo condiciones no competitivas (Cuadro 22).

La tasa de producción de biomasa de los tallos por cada unidad de nitrógeno acumulado (eficiencia de uso del nitrógeno) cuando se agregó fertilizante nitrogenado,

CUADRO 23

Crecimiento comparativo entre arroz y arroz rojo bajo condiciones no competitivas, con nivel óptimo de fertilidad del suelo, en experimentos en macetas al aire libre, mayo-septiembre 2001 en la Main Agricultural Research and Extension Center, Universidad de Arkansas, Fayetteville, Estados Unidos de América

Momento de cosecha (días después de la siembra)	Tipo de arroz o arroz rojo	Biomasa de las raíces (g/planta)	Biomasa de los tallos (g/planta)	Biomasa total (g/planta)	Tasa de crecimiento (g/día)
14	<i>Bengal</i>	0,02	0,02	0,04	-
	<i>Wells</i>	0,02	0,02	0,04	-
	<i>SHR</i>	0,03	0,02	0,05	-
21	<i>Bengal</i>	0,24	0,11	0,35	0,04
	<i>Wells</i>	0,16	0,08	0,24	0,03
	<i>SHR</i>	0,21	0,13	0,34	0,29
28	<i>Bengal</i>	0,55	0,19	0,74	0,39
	<i>Wells</i>	0,21	0,27	0,78	0,24
	<i>SHR</i>	0,36	0,31	0,67	0,33
90	<i>Bengal</i>	231,80	86,19	317,99	5,12
	<i>Wells</i>	211,08	79,09	290,17	4,67
	<i>SHR</i>	390,78	137,81	528,59	8,51
130	<i>Bengal</i>	191,75	73,88	265,63	-1,31
	<i>Wells</i>	190,62	71,38	262,00	-0,70
	<i>SHR</i>	237,50	138,88	376,38	-3,81
LSD _{0,05}		72,70	12,81	22,70	0,93

Nota: los valores son el promedio de cuatro repeticiones.

Bengal = arroz de grano medio; *Wells* = arroz de grano largo; *SHR* = biotipo de cáscara de color pajizo de Stuttgart, Arkansas.

Fuente: adaptado de Stiers (2002).

fue mayor en el arroz rojo que en la variedad *Drew*, lo cual fue más aparente dos semanas después de la formación de la panoja (Burgos *et al.*, (2006a). En una etapa más temprana del crecimiento -iniciación de la panoja- cuando no se agregó fertilizante nitrogenado, *Drew* y el arroz rojo produjeron cantidades equivalentes de biomasa de los tallos por cada gramo de nitrógeno acumulado, 69 y 72 g, respectivamente. Si bien la eficiencia de uso del nitrógeno de ambos declinó en forma lineal cuando se incrementó el aporte de nitrógeno, el arroz rojo (en un promedio de dos dosis de nitrógeno) produjo significativamente más biomasa de tallos por unidad de nitrógeno acumulado que *Drew*. Dos semanas después de la formación de la panoja, la eficiencia de uso del nitrógeno declinó en forma lineal con la dosis de nitrógeno para la variedad *Drew* mientras que el arroz rojo llegó al máximo a una dosis de nitrógeno menor de 10 g/m². La máxima eficiencia de uso del nitrógeno por el arroz rojo fue de 114 g de biomasa de tallos por gramo de nitrógeno total acumulado a una tasa de 7,4 g N/m², comparada con solo 75,8 g de biomasa por gramo de nitrógeno total acumulado por la variedad *Drew* a la misma dosis de nitrógeno. Por lo tanto, aparte de la dosis de nitrógeno, la eficiencia del uso del nitrógeno fue mayor para el arroz rojo que para la variedad *Drew*.

EL ARROZ ROJO Y UN POSIBLE PASO INTERMEDIO C₃-C₄ DE FIJACIÓN DE NITRÓGENO

Los últimos estudios discutidos líneas arriba sugieren que uno de los mecanismos importantes para la competitividad del arroz rojo en los arrozales es su capacidad para producir más raíces y biomasa de tallos y acumular más nitrógeno que las variedades cultivadas que infesta. Como que el proceso de absorción y asimilación de nitrógeno está estrechamente relacionado con la fotosíntesis, es posible que el arroz rojo tenga una eficiencia fotosintética mayor que el arroz cultivado. Se ha establecido que algunos tipos de arroz salvaje, por ejemplo, *Oryza rufipogon* y *O. australiensis* han evolucionado con un paso intermedio de fijación de carbono (Yeo, Yeo y Flowers, 1994) que es mejor

que la C_3 pero que no es tan eficiente como la C_4 . Estos mejoramientos en la eficiencia del sistema, como han discutido Ku *et al.*, (1991), incluyen:

- una mayor afinidad por el CO_2 que por el O_2 en el lugar de unión de la ribulosa-1,5-bifosfato carboxilasa-oxigenasa (variedad *Rubisco*);
- una tasa de fotorrespiración reducida comparada con las C_3 ;
- un punto de compensación de CO_2 reducido comparado con C_3 ;
- una tendencia hacia la anatomía Kranz.

Como se ha mencionado anteriormente, la presencia de esas características de un paso intermedio de fijación de carbono han sido identificadas en *Oryza rufipogon* y *O. australiensis*. En base a ello, se hizo un estudio preliminar para determinar el paso de la fijación de carbono en el arroz rojo usando proporciones discriminatorias de C^{13} a C^{12} . La variedad *Rubisco* liga preferentemente con el isótopo liviano del carbono; por lo tanto, las plantas C_3 tienen menores tasas de discriminación del carbono que las plantas C_4 . Dado que esos valores se expresan en referencia a una $^{13}C/^{12}C$ mayores que la muestra, la determinación final de los valores de los isótopos ($\delta^{13}C$) es negativa. En ese caso las plantas C_3 tendrían más valores negativos que las plantas C_4 . Los experimentos de campo llevados a cabo en la *Rice Research and Extension Center*, Stuttgart, Arkansas, (Stiers, 2002), mostraron que las variedades *Bengal* (grano medio) y *Wells* (grano largo) tenían valores $\delta^{13}C$ de -26,96 y -28,05, respectivamente, mientras que *Echinochloa crus-galli*, una especie C_4 , tenía $\delta^{13}C = -12,13$ (Cuadro 22). Estos valores son considerados típicos. Los biotipos de arroz rojo *KatyRR* y *Stuttgart SHR* tenían valores $\delta^{13}C$ de -27,98 y 28,09, respectivamente, similares a los valores de las variedades de arroz. Estos estudios preliminares recientes indican que un paso modificado o intermedio más eficiente que el sistema normal C_3 no está probablemente involucrado en la competitividad de los arroces rojos.

Adaptación a la sombra

Muchas especies de malezas del género *Oryza* (*O. australiensis*, *O. brachyantha*, *O. nivara*, *O. longistaminata*, *O. barthii* y *O. rhizomatis*) presentan las mismas tasas fotosintéticas que el arroz cultivado (Yeo, Yeo y Flowers, 1994). Estudios preliminares llevados a cabo en Arkansas también mostraron que el arroz rojo (*O. sativa*) tenía la misma tasa fotosintética que el arroz cultivado (Stiers, 2002). Sin embargo, se ha observado que en los campos de los agricultores, las plantas de arroz rojo distribuidas abiertamente parecen siempre tener una mejor habilidad para crecer por encima del dosel foliar del arroz y que las plantas bajas de arroz rojo son capaces de crecer normalmente en las poblaciones densas de arroz cultivado. Sin embargo, cuando la situación se invierte en términos de densidad, el arroz cultivado no puede sobrepasar el efecto de sombreo del arroz maleza. Por lo tanto, se ha hipotizado que el arroz rojo tiene una mejor tolerancia a la sombra que el arroz cultivado.

Experimentos realizados por Stiers (2002) en Stuttgart, Arkansas, en los años 2002 y 2001, indicaron que las variedades *Bengal* (grano medio) y *Wells* (grano largo) sufrieron un 42 y 46 por ciento de reducción de la tasa de fotosíntesis, respectivamente, dos días después de haber sido sometidas a 50 por ciento de sombra, comparada con una reducción de solo 38 por ciento para el arroz rojo *Stuttgart SHR* (Cuadro 22). Los tratamientos de sombra se aplicaron 10 días después del 50 por ciento de la antesis. El significado de un menor efecto del sombreo sobre la tasa fotosintética del arroz rojo sugiere que este es más tolerante a la reducción de la luz que el arroz cultivado y, por lo tanto, podría ser capaz de crecer bien en poblaciones normales de arroz aún cuando emerge más tarde que el arroz cultivado o cuando es retrasado temporariamente por la aplicación de herbicidas. Un mecanismo posible de adaptación a la sombra podría ser una alteración de la relación entre clorofila *a/b* en respuesta a la sombra. Esto fue

observado en el arroz *Stuttgart SHR* que mostró una relación de clorofila a/b de 4,69 sin sombra y de 4,19 después de dos días de exposición al 50 por ciento de sombra. La relación de clorofila a/b de los arrozales cultivados no fue alterada por la sombra. Los efectos reducidos de la relación de la clorofila reflejan un incremento en la proporción de la clorofila a en relación con la clorofila b . Un incremento de la clorofila b por unidad de superficie permite una mejor captación de la luz bajo condiciones restringidas de iluminación. Este tipo de respuesta también ha sido observado en algodón donde la relación de clorofila a/b disminuyó cuando las plantas fueron sombreadas durante dos a ocho días (Zhao y Oosterhuis, 1998).

Capítulo 6

Relaciones ecológicas

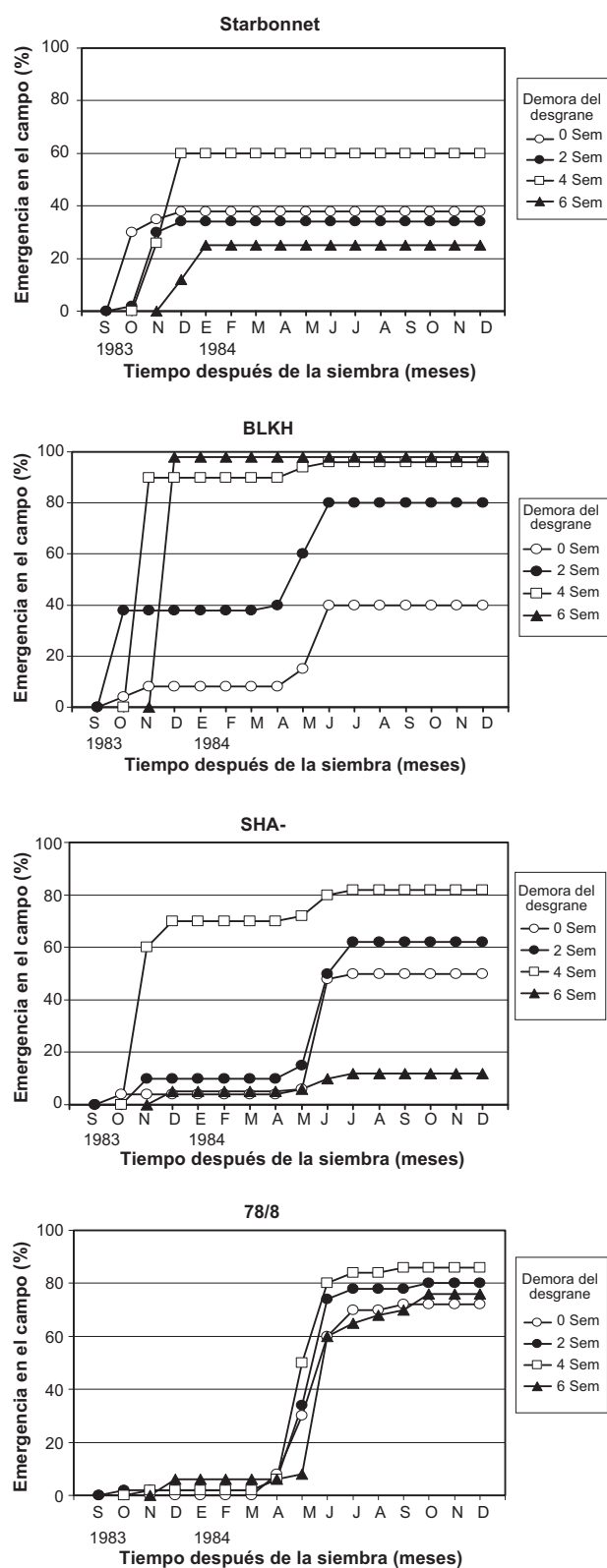
Existe abundante información disponible sobre la diversidad, las características y caracteres y la habilidad competitiva de los arrozales maleza, incluyendo los arrozales rojos. Sin embargo, se conoce relativamente menos sobre la forma en que esas características interactúan entre ellas y con los factores ambientales para adaptar esos arrozales a la ecología de los distintos sistemas de producción de arroz. La ecología está relacionada con la adaptación de los organismos vivos y la forma como viven en distintos ambientes, o sea como hacen para construir «su casa» (Heydecker, 1973) y como los arrozales maleza, incluyendo los arrozales rojos, se sienten en «su casa» en cultivos de arroz de siembra directa en zonas climáticas que van desde los trópicos hasta las zonas templadas (Labrada, 1999). Varios de los participantes en el Simposio de Arroz Rojo sobre Investigación y Control en 1978 (Eastin, 1978a) señalaron que era necesario seguir investigando sobre las características y relaciones ecológicas de los arrozales rojos a fin de encontrar los «puntos débiles» en su ciclo biológico que pudieran ser usados para diseñar estrategias efectivas y eficientes de control (Sonnier, 1978; Helpert e Eastin, 1978; Eastin, 1978b). Once de las 21 conclusiones y recomendaciones del Taller Global sobre Control de Arroz Rojo (FAO, 1999) estaban relacionadas con la necesidad de contar con mayor información e investigación sobre los aspectos ecológicos de las infestaciones de los arrozales maleza, incluyendo los arrozales rojos, y en medidas prácticas e integradas de control.

Información valiosa e interesante sobre las relaciones ecológicas de los arrozales maleza, incluyendo los arrozales rojos, ha sido desarrollada desde fines de la década de 1970 para los sistemas de cultivo mecanizados de siembra directa en zonas templadas o semitempladas del continente americano y de Europa. Una parte importante de esta información ha sido producida por estudiantes graduados de diferentes países en los que se cultiva arroz pero cuyos estudios no han sido publicados. Algunos de los resultados de esos estudios han sido revisados y ya presentados en esta publicación. Este Capítulo discute los resultados adicionales de sus trabajos y de otras fuentes de modo de iluminar las interacciones entre algunos de los caracteres de los arrozales rojos con los factores ambientales que les permiten invadir, difundirse y persistir en los sistemas de siembra directa bajo riego en las zonas templadas.

DESGRANE Y LATENCIA

La incidencia de un desgrane temprano, fácil y fuerte y de la latencia de intensidad variable de las semillas en el establecimiento, mantenimiento y sobrevivencia de las comunidades de plantas «nativas», o sea, de especies no mejoradas, han sido revisadas y discutidas en el Capítulo 4. En el caso del arroz rojo el desgrane asegura que una parte suficiente de las semillas producidas cae al suelo para producir el ciclo siguiente de plantas y no para ser llevadas como contaminantes en los granos cosechados (Constantin, 1960). La función de la latencia de las semillas en la sobrevivencia del arroz rojo durante los períodos de congelación en la estación invernal ha sido reconocida desde hace tiempo (Dodson, 1898). Al considerar esos dos caracteres críticos e invariables del arroz rojo surgen preguntas concernientes a sus relaciones (Do Lago, 1982), específicamente, respecto a si y como los dos caracteres interactúan para favorecer la sobrevivencia y la persistencia de los arrozales rojos. Teekachunhatean (1985) diseñó algunos estudios para

FIGURA 9
Emergencia acumulativa en el campo en un periodo de 15 meses de la variedad *Starbonnet* y de tres fenotipos de arroz rojo sembrados después de 0, 2, 4 y 6 semanas de demoras simuladas en el desgrane en 1983



Fuente: según Teekachunhatean (1985).

responder a esta pregunta tomando en consideración trabajos anteriores que demostraban el efecto del secado y de las altas temperaturas en la liberación de la latencia del arroz cultivado (Weir, 1959; Umali, Parker y Dumlao, 1960; Roberts, 1962; Jennings y de Jesús, 1964; Delouche y Nguyen, 1964) y los trabajos más recientes mostrando que las semillas de arroz rojo respondían en forma similar (Larinde, 1979; Do Lago, 1982).

Teekachunhatean simuló demoras en el desgrane, por ejemplo, variación de la resistencia al desgrane de los fenotipos *BLKH*, el común *BHR*, *SHA-*, el común *SHR* y del *78/8 BrHR*, desgranador muy temprano y profundamente latente. Para ello recogió las primeras semillas desgranadas en septiembre y las mantuvo en el aire a la altura de las panojas envueltas en tela de plástico por períodos de 0, 2, 4 y 6 semanas. Semillas «desgranadas» de la variedad no desgranadora *Starbonnet* usada para las comparaciones se cosecharon a mano del centro de las panojas, aproximadamente 28 días después del 50 por ciento de la antesis. Al final de cada período las semillas fueron recuperadas, sembradas a una profundidad de cerca de 0,5 cm en suelo fumigado en un área especial de las parcelas experimentales y regadas cuidadosamente. Las siembras fueron estudiadas y se registró la emergencia a intervalos semanales por cerca de 15 meses. La Figura 9 presenta resultados seleccionados de los estudios del año 1983. La emergencia de las semillas de la variedad de poca latencia *Starbonnet*, para todos los períodos de desgrane demorado, fue relativamente baja y ocurrió totalmente durante los primeros tres meses después de la siembra. La latencia de las semillas *BLKH* fue completamente liberada en el período de cuatro a seis semanas después del secado aéreo con el

resultado que, esencialmente, todas las semillas emergieron en el plazo de dos meses. Las semillas sembradas en el momento del desgrane (semana 0) y después de un período de dos semanas eran latentes de modo que 30 – 40 por ciento de las mismas sobrevivió al invierno como semillas y emergieron en abril y mayo del año siguiente, en la época común de siembra del arroz. Las respuestas del fenotipo *SHA* fueron similares, con la excepción de que las semillas del período de seis semanas fueron liberadas completamente, germinaron y murieron con los primeros fríos o durante la emergencia. La latencia de las semillas del fenotipo muy latente 78/8 se mantuvieron suficientemente a través del período demorado de seis semanas y la emergencia principal ocurrió en abril, mayo y aún junio del año siguiente.

García Quiroga (1987) extendió los estudios sobre el desgrane demorado colocando las semillas después de los períodos de desgrane simulado en condiciones de suelo de seco y en suelo pantanoso o húmedo «tal como se encuentran los arrozales durante el otoño y el invierno». Si bien los resultados fueron algo inconsistentes en los dos años de los estudios, concluyó que la latencia en las semillas desgranadas fue consistentemente prolongada en comparación con aquellas mantenidas al aire, con el resultado que «la mayoría de las semillas pasaron el invierno en estado latente y germinaron en la primavera siguiente cuando las condiciones fueron favorables para completar el ciclo biológico del arroz». Los efectos benéficos del desgrane temprano fueron más pronunciados bajo condiciones «pantanosas» que bajo condiciones de seco.

Los resultados de los estudios de Teekachunhatean y García Quiroga sugieren que el desgrane de las semillas y la latencia interactúan para aumentar la posibilidad de las semillas de arroz rojo sobrevivan a la estación invernal ya que las semillas germinan y emergen cuando las condiciones son favorables para el arroz en la primavera siguiente. El desgrane de semillas en los ecotipos de arroz rojo comienza inmediatamente después que las semillas llegan a la madurez fisiológica con un contenido de humedad de 25 a 28 por ciento (Capítulo 4), que es también el momento de la máxima intensidad de latencia. Dado que la latencia es liberada muy rápidamente entre 8 y 14 por ciento de humedad (Roberts, 1962; Ellis, Hong y Roberts, 1983; Leopold, Glenister y Cohn, 1988) y muy lentamente o no liberada a contenidos de humedad superiores a 18 por ciento, el desgrane coloca las semillas en el suelo debajo de las plantas donde es más probable que se mantenga un contenido de humedad superior a 18 por ciento que si las semillas permanecen en la planta secándose a menores contenidos de humedad y altas temperaturas. Viceversa, si los arroces rojos no desgranaran como muchas variedades, las semillas no recogidas en la cosecha podrían permanecer en la planta y perder la latencia de modo que muchas podrían germinar, emerger y morir por el frío a principios del invierno. Estos hallazgos y conclusiones tienen implicancias importantes relacionadas con el destino de las abundantes segregaciones en los grupos híbridos que resultan de los cruzamientos entre los arroces cultivados y los arroces rojos.

VARIACIÓN DE LA MADUREZ

Los días al 50 por ciento de la antesis y/o las unidades de calor requeridas para la floración variaron ampliamente entre los tipos de arroz rojo recolectados en Mississippi, Texas y Arkansas. En Mississippi, el tiempo al 50 por ciento de la antesis varió de 86 a 109 días para 26 arroces rojos *SHR*, de 93 a 112 días para nueve arroces rojos *BHR* y un *BrHR* y de 90 a 105 días para variedades de amplia difusión entre los agricultores (Cuadro 2). Todos, excepto dos tipos de *SHR* recolectados en campos de *Starbonnet* en 1978 - 1980, fueron de uno a 16 días más tempranos que *Starbonnet*; las dos excepciones fueron de tres a cuatro días más tardías mientras que todos menos uno de los tipos *BHR* tenían esencialmente la misma madurez de *Starbonnet* o eran unos pocos días más tardíos. Dado que ninguno de los arroces rojos fue más de cuatro días

más tardío que el *Starbonnet* y el desgrane comenzó temprano en la mayoría de ellos, muchas de las semillas de arroz rojo, tal vez más del 50 por ciento, podría estar en la superficie del suelo antes de la cosecha del cultivo y con semillas que desgranaran en el momento de la cosecha. Por otro lado, si los arroces rojos habían infestado los campos de las nuevas variedades de maduración temprana como *Lemont* -90 días al 50 por ciento de antesis-, antes que los campos de *Starbonnet* -105 días al 50 por ciento de antesis-, las semillas de los tipos más tardíos de arroz rojo no habrían estado lo suficientemente desarrolladas para desgranar y hubieran sido recogidas con el grano cosechado y/o separadas con los restos livianos de la cosecha cayendo al suelo. Los resultados de los estudios en Arkansas fueron similares. Mientras que la iniciación de la floración varió en algunas semanas para algunos de los arroces rojos *SHR* dependiendo de la latitud de origen (Shivrain, 2004), la mayoría de los arroces *SHR* floreció más temprano que los arroces cultivados. La latitud de origen tuvo una fuerte influencia en la época de floración de los arroces *SHR* pero no de los tipos *BHR* y *BrHR*. Como se señaló en el Capítulo 3, la considerable variabilidad en la época de floración de los arroces rojos tiene importantes implicancias para el flujo de genes entre el arroz cultivado y el arroz rojo, así como también para la adecuación de las segregaciones de los cruzamientos entre arroz cultivado y arroz rojo.

La considerable variación en la madurez, altura y forma de la planta de los tipos de arroz rojo proporciona un poderoso amortiguador contra cambios substanciales en la madurez y la altura de las variedades cultivadas. La selección natural y del cultivo resultan en cambios en las poblaciones de los arroces rojos a tipos que pueden sobrevivir y competir mejor con las nuevas variedades y la supresión o eliminación de tipos que no son competitivos.

PROLONGACIÓN DE LA EMERGENCIA

Dodson (1898) informó que sus observaciones de campo estaban de acuerdo con el concepto entonces prevalente de que los arroces rojos germinaban y emergían temprano en la primavera y, por lo tanto, la labranza para destruir las plántulas de arroz rojo era «productiva y beneficiosa». Sin embargo, Dodson también notó que muchas semillas de arroz rojo permanecían en el banco de semillas del suelo para emerger más adelante en la primavera después que el suelo es movido durante la siembra, a medida que «el arroz blanco crece» antes de la inundación y aún más tarde en el verano. Trabajos y observaciones más recientes sobre la emergencia de las semillas desgranadas de arroz rojo durante el otoño, el invierno y la siguiente primavera confirman las observaciones de Dodson. Sonnier (1963, 1965, 1978) en Crowley, Louisiana, describió las diferencias entre las emergencias de invierno y primavera de las semillas desgranadas del arroz cultivado y el arroz rojo de cultivos previos. Las plántulas de arroz que emergen en el otoño y durante períodos cálidos de febrero y marzo son casi todas de variedades cultivadas. Sin embargo, las plántulas que aparecen tardíamente en abril después que el suelo se calienta son casi todas de arroz rojo porque las plántulas emergidas de arroz cultivado sucumbieron a las heladas y las pocas semillas que no germinaron se deterioraron. Do Lago (1982) sembró semillas recién cosechadas y semillas latentes de tres variedades cultivadas y de cuatro fenotipos de arroz rojo a una profundidad de 2,5 cm el 28 septiembre en el noreste de Mississippi, a cerca de 320 km de Crowley. Esencialmente, todas las semillas de las variedades cultivadas, excepto *Nato*, germinaron, emergieron y sucumbieron con las heladas al inicio del invierno (Cuadro 24). Cerca de la mitad de las semillas de *Nato*, una variedad con fuerte latencia, había emergido temprano en el invierno, pero un 28 por ciento adicional emergió entre mediados de invierno y el 13 abril y tres por ciento emergió aún más tarde. La emergencia de tres de los cuatro arroces rojos fue ≤ 16 por ciento el 13 abril,

CUADRO 24

Porcentajes acumulativos de emergencia durante un período de ocho meses de tres variedades cultivadas y cuatro fenotipos de arroz rojo sembrados el 28 septiembre 1981

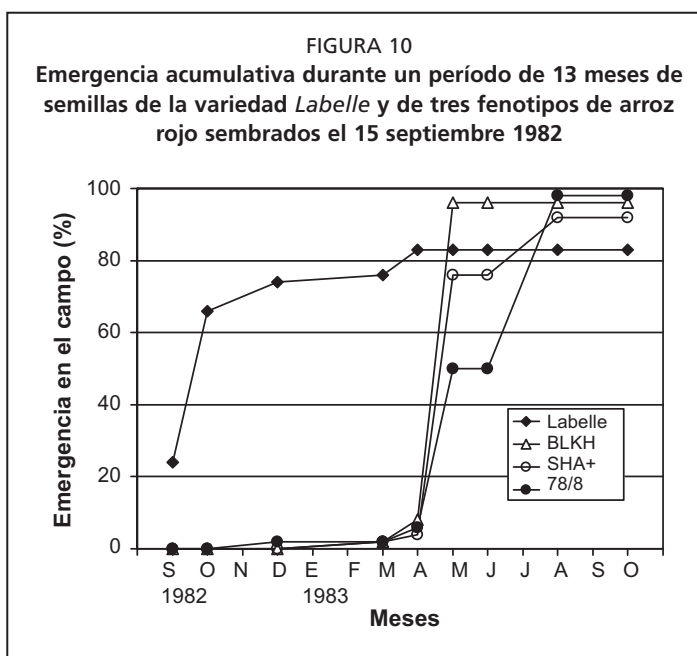
Variedad o ecotipo	Emergencia acumulativa a la fecha indicada (%)					
	11/12/81	23/03/82	13/04/82	28/04/82	13/05/82	28/05/82
<i>Labelle</i>	87	92	93	93	93	93
<i>Starbonnet</i>	92	96	96	96	96	96
<i>Nato</i>	47	66	75	78	78	78
<i>BLKH</i>	11	11	16	40	56	60
<i>SHA-</i>	37	49	50	65	75	80
<i>SHA+</i>	0	0	8	25	25	48
<i>78/8</i>	0	0	0	26	36	44

Fuente: Do Lago, 1982.

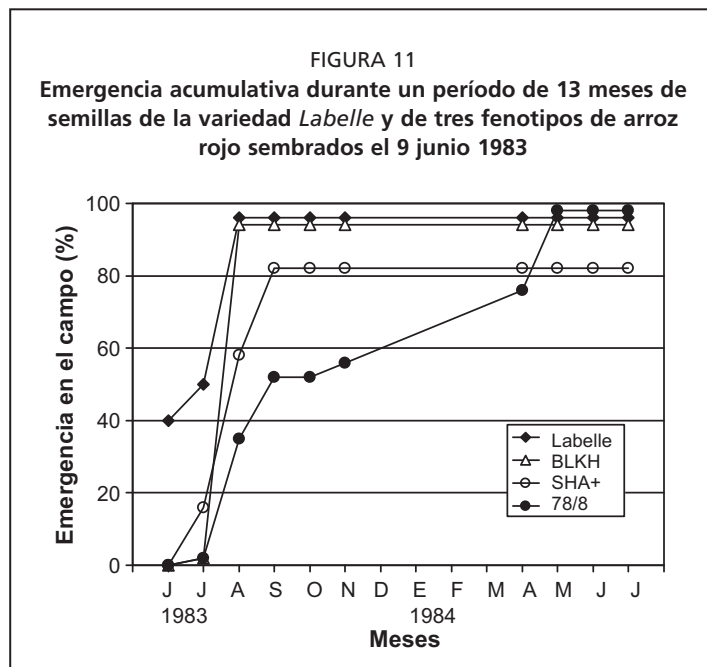
después de lo cual la emergencia se incrementó hasta el fin de mayo. El fenotipo *SHA-* tuvo 50 por ciento de emergencia a mitad de abril y la emergencia se incrementó a 80 por ciento al final de mayo. La última helada fatal en 1982 ocurrió a fin de marzo de modo que todas las plántulas que habían emergido sucumbieron. Los relativamente bajos porcentajes de emergencia acumulados de los arroces rojos *BLKH*, *SHA+* y *78/8* fueron probablemente el resultado de la terminación del experimento al final de mayo. En otros estudios, la germinación y la emergencia de las semillas del arroz rojo en áreas no inundadas continuaron a través de todo el verano.

Teekachunhatean (1985) en dos estudios adicionales comparó la germinación y la emergencia de tres tipos de arroz rojo y de la variedad *Labelle*: sembró semillas recién cosechadas y semillas latentes de cada tipo a 2,5 cm de profundidad el 15 septiembre 1982 y semillas de los mismos lotes, almacenadas a -5 °C para mantener la latencia, en junio siguiente. La emergencia fue determinada cada dos semanas durante un período de 13 meses después de la siembra. Las Figuras 10 y 11 muestran los resultados en términos de porcentajes de emergencia acumulativos. La mayoría de las emergencias de las semillas de la variedad *Labelle* sembradas en septiembre emergieron en diciembre, aquellas de *BLKH* emergieron en abril/mayo mientras que muchas de las semillas de los fenotipos *SHA+* y *78/8* también emergieron en abril/mayo pero la emergencia continuó hasta agosto. La emergencia de las semillas sembradas en junio de la variedad *Labelle* y del ecotipo *BLKH* se completó en agosto, del ecotipo *SHA+* en septiembre pero solo en abril del año siguiente en el caso del fenotipo *78/8*.

La última y más demorada emergencia de los arroces rojos comparada con las variedades cultivadas refleja las diferencias en intensidad de la latencia y la velocidad de su liberación. Esto no es contradictorio con las conclusiones del Capítulo 5 de que los arroces rojos son superiores a muchas variedades cultivadas en velocidad de germinación y



Fuente: adaptado de Teekachunhatean (1985).



Fuente: adaptado de Teekachunhatean (1985).

crecimiento de la plántula. Esto hace referencia a las semillas de arroz rojo caídas y/o sembradas cerca del momento de cosecha cuando la latencia es más intensa mientras que las conclusiones anteriores se relacionan con semillas de arroz rojo contaminantes de las semillas para siembra que han perdido completamente su latencia durante el secado y el almacenamiento.

Los factores ambientales, especialmente la temperatura, están probablemente también involucrados en estas respuestas diferentes. La temperatura tiene un efecto considerable sobre la velocidad a la cual se libera la latencia y en su inducción así como también tiene un efecto directo sobre la velocidad de germinación y de crecimiento de la plántula (Capítulo 5). Más aún, la

latencia se manifiesta en una mayor especificidad de las condiciones requeridas para la germinación, por ejemplo, temperatura así como también en la completa inhibición de la germinación (Vegis, 1964). Por lo tanto, la germinación de las semillas de arroz rojo con diferentes niveles de latencia residual no ocurrió hasta que las semillas individuales fueron sometidas a regímenes específicos de altas temperaturas.

Hay algunas implicancias importantes causadas por el período de emergencia tardío y extendido de los arroces rojos para el manejo y el control de las infestaciones. Como fue notado por Dodson (1898) y Sonnier (1978), la destrucción de las plántulas de arroz rojo por medio de la labranza o de tratamientos químicos antes de la siembra es una buena práctica pero no siempre suficiente como método de control. Las semillas de arroz rojo germinan y emergen en el momento de la siembra del arroz mientras que las plántulas de arroz rojo se establecen antes de inundar el cultivo y en cualquier momento en que es suspendida la inundación, incluso durante la cosecha. El mantenimiento de la inundación como ocurre en la siembra en agua es importante para prevenir o reducir la emergencia y desarrollo de las plantas de arroz rojo. Del mismo modo, la práctica del barbecho para renovar los campos infestados con arroz rojo debe ser acompañada por múltiples operaciones de labranza y cultivo durante un período de dos años o más de manera de agotar la población de semillas del suelo y reducir la infestación de arroz rojo a un nivel manejable.

En su búsqueda por un «punto débil» en el ciclo biológico de los arroces rojos, Helpert e Eastin (1978) llevaron a cabo estudios de campo para determinar la profundidad del suelo de las cuales podrían emerger dos tipos de arroz rojo, *BHR* y *SHR*, y cuatro variedades comunes, *Dawn*, *Nato*, *Early Colusa* y *Starbonnet*. Semillas de alta germinación (>90 por ciento) fueron enterradas a una profundidad de 0, 1, 2, 4, 8 y 16 cm en tubos de cloruro de polivinilo (PVC) en un suelo arenoso limoso cerca de Beaumont, Texas, en marzo 1977. Las primeras plántulas emergieron después de 10 días. La emergencia de las plántulas y la altura fueron registradas a 3, 10, 17 y 24 después de la fecha de la primera emergencia. En todas las profundidades de suelo, los tipos *SHR* y *BHR* tuvieron porcentajes de emergencia más altos desde el tercer día después de la primera emergencia hasta el vigésimocuarto día y produjeron

CUADRO 25

Efecto de la profundidad de siembra en cuatro fechas diferentes sobre la emergencia y altura de las plántulas de la variedad *Starbonnet* y los arroces rojos *SHA-*, *SHA+* y *BLKH* 20 y 30 días después de la siembra

1ª fecha de siembra: 17 septiembre 1983								
Profundidad de siembra en un suelo limoso arcilloso Catalpa								
Variedad o ecotipo	5 cm*		10 cm		15 cm		20 cm	
	Emergencia (%)	Altura planta cm	Emergencia (%)	Altura planta cm	Emergencia (%)	Altura planta cm	Emergencia (%)	Altura planta cm
<i>Starbonnet</i>	97	20,2	63	12,7	0	0	0	0
<i>SHA-</i>	98	20,2	65	9,8	0	0	0	0
<i>BLKH</i>	97	21,6	93	18,5	0	0	0	0
2ª fecha de siembra: 19 octubre 1983								
Profundidad de siembra en un suelo limoso arcilloso Catalpa								
Variedad o ecotipo	7,5 cm**		10 cm		12,5 cm		15 cm	
	Emergencia (%)	Altura planta cm	Emergencia (%)	Altura planta cm	Emergencia (%)	Altura planta cm	Emergencia (%)	Altura planta cm
<i>Starbonnet</i>	73	10,1	32	7,7	4	2,0	0	0
<i>SHA-</i>	78	10,0	30	7,5	3	1,0	0	0
<i>SHA+</i>	86	10,0	63	10,0	5	4,2	0	0
<i>BLKH</i>	88	11,6	70	10,0	27	6,8	0	0

Notas:

* medida de los datos 20 días después de la siembra

** medida de los datos 30 días después de la siembra

La temperatura del aire durante la segunda fecha de siembra fue de cerca 6 °C más baja que en la primera fecha de siembra.

Fuente: Teekachunhatean (1985)

plantas más altas durante la primera parte del período de 24 días. La germinación y la emergencia de todas las muestras fueron mayores a las profundidades de 4 cm o menos que a profundidades mayores pero los arroces rojos emergieron un día antes que las variedades a la profundidad de 4 cm y tuvieron mayores porcentajes de emergencia y más crecimiento a la profundidad de 8 cm. Algunas semillas del tipo *SHR* emergieron a 16 cm de profundidad. Resultados similares fueron obtenidos por Teekachunhatean (1985) en un estudio comparativo de la emergencia y el crecimiento de las plántulas de la variedad *Starbonnet* y de los tipos de arroz rojo *SHA-*, *SHA+* y *BLKH* a profundidades de suelo de 5 a 20 cm en septiembre y octubre 1983. En la siembra de septiembre, la emergencia y el crecimiento de *Starbonnet*, *SHA-* y *BLKH* fueron comparables a 5 cm pero el tipo *BLKH* mostró un comportamiento superior a la profundidad de 10 cm (Cuadro 25). No hubo emergencia a 15 cm de profundidad. Los ecotipos *SHA+* y *BLKH* emergieron marginalmente mejor que *Starbonnet* y *SHA-* desde la profundidad de 7,5 cm en la siembra de octubre y mucho mejor de la profundidad de 10 cm. El tipo *BLKH* emergió más de 25 por ciento mientras que otras muestras emergieron menos de cinco por ciento.

INTERACCIONES AMBIENTALES SOBRE Y EN EL SUELO

El banco de semillas de arroz rojo en el suelo

El término banco de semillas es usado para semillas viables y latentes que están sobre y en el suelo. El término es apropiado porque las semillas almacenadas en el suelo representan depósitos de genes y variación genética de especies que pueden ser utilizadas cuando se considere necesario y mantenerlas (Murdoch y Ellis, 1992; Stiles, 1992; Vidotto y Ferrero, 2005). La latencia es el criterio clave para conservar las semillas en ese banco ya que las semillas no latentes germinan en el suelo o se deterioran siempre que haya humedad disponible y que la temperatura sea favorable. Crawley (1990) enfatizó el poderoso amortiguador que es la latencia de las semillas contra adversidades ambientales u otras encontradas por las plantas que previenen o reducen la producción de semillas: las semillas del banco de semillas cubren el déficit. La existencia de un banco de semillas de arroz rojo en el suelo es la razón por la cual el control completo

del arroz rojo en uno o dos años, incluso en un campo moderadamente infestado, no previene una importante infestación en el tercer año (Sonnier, 1978; FAO, 2003).

El banco de semillas se agota bastante lentamente pero aumenta rápidamente a causa de medidas inadecuadas de control o por la siembra de semillas contaminadas. Frecuentemente se cita un cálculo hecho originariamente por R. J. Smith Jr. para enfatizar como la siembra de semillas de arroz contaminadas con semillas de arroz rojo puede originar una explosión en apenas dos años y creando un enorme depósito en el banco de semillas (Huey y Baldwin, 1978):

- Año 1: una semilla contaminante de arroz rojo se desarrolla en una planta con 10 tallos fértiles que producen 1 500 semillas.
- Año 2: las 1 500 semillas germinan, se desarrollan en plantas que producen 10 tallos que producen 1 500 semillas con un total de 2,25 millones de semillas.

Si bien este cálculo es exagerado ya que se basa en respuestas perfectas de las semillas, es útil para evidenciar que los sembradores de arroz no deberían sembrar semillas de arroz contaminadas con arroz rojo. Ilustra claramente como un arrozal limpio o con una baja infestación controlada puede rápidamente convertirse en un campo severamente infestado o fuera de control a causa de prácticas inadecuadas de manejo.

Las semillas de arroz rojo desgranadas sobre el suelo antes o en el momento de la cosecha permanecen sobre la superficie del suelo entre los restos vegetales hasta que el suelo es disturbado por el pasaje de animales y equipos o que empiezan las operaciones de labranza para la siembra siguiente y son así incorporadas en el suelo a distintas profundidades. En las áreas arroceras con inviernos templados con heladas fuertes, las semillas que permanecen sobre el suelo pueden agotarse por germinación y congelamiento durante el otoño y el invierno o ser atacadas por pájaros, roedores y especialmente por aves acuáticas migratorias cuando el campo se mantiene en condiciones «húmedas» después de la cosecha (Fontenot, 1973; Sonnier, 1978; Huey y Baldwin, 1978; Do Lago, 1982; Teekachunhatean, 1985). Sin embargo, como el agotamiento nunca es completo, por lo menos algunas de las semillas viables y latentes de arroz rojo son enterradas en el suelo a distintas profundidades durante la labranza que precede la siembra y así depositadas en banco de semillas de arroz del suelo. El proceso de las semillas desgranadas de arroz rojo en áreas subtropicales y tropicales húmedas no es muy diferente. Las semillas de arroz rojo que germinan en el intervalo entre los cultivos de arroz son destruidas por la labranza anterior a la siembra la cual incorpora al suelo las restantes semillas viables latentes y no latentes.

La población de semillas de arroz rojo en el banco de semillas varía con las prácticas culturales usadas después de la cosecha y en la preparación del suelo para la próxima siembra, incluyendo medidas de control tales como la falsa preparación de la cama de semillas y otros factores incluidos en el modelo de la dinámica de la población del arroz rojo propuesta por Vidotto y Ferrero (2005). Hay relativamente pocos datos sobre el rango del número de semillas por unidad de superficie y su distribución en profundidad ya que muchos estudios sobre las infestaciones de arroz rojo se enfocan al número de plantas por unidad de superficie y no al número de semillas en el suelo. Sonnier (1978) indicó que alrededor de 2 500 semillas/m² no era una cifra extraña en áreas severamente contaminadas. En otros estudios, Ferrero y Vidotto (1999) determinaron el número y distribución de semillas de arroz rojo en el banco de semillas de una parcela experimental: 2 504 semillas/m² a 10 cm de profundidad, 29 por ciento de las cuales a la profundidad de 0-1 cm, 69 por ciento a 1-5 cm y dos por ciento a 5-10 cm. La labranza superficial redujo considerablemente el número total de semillas por metro cuadrado pero aumentó considerablemente el porcentaje de semillas a la profundidad de 5-10 cm. Existe actualmente un mayor reconocimiento de que labrando la tierra después de la cosecha se entierran las semillas de arroz rojo bastante profundamente en el suelo en el

que sobreviven por muchos años. Esto ha llevado a aumentar las prácticas de labranza cero y falsa preparación de la cama de semillas hasta la siguiente siembra y entonces utilizar labranza mínima y/o labranza superficial de modo de inducir la germinación de las semillas de arroz rojo sobre el suelo o ligeramente cubiertas por este y poder destruirlas química o mecánicamente antes de la siembra (Sonnier, 1978; Fischer, 1999). Las plantas de arroz maleza, incluyendo el arroz rojo, que escapan a esas y otras medidas de control proporcionan la «lluvia» de semillas desgranadas que constituyen el principal insumo que regula la dinámica del banco de semillas y las deposita en ese banco (Vidotto y Ferrero, 2005).

Longevidad de las semillas de arroz rojo en el suelo

Quereau (1920) observó que las semillas desgranadas de arroz rojo estaban más o menos mezcladas con tierra gracias al trabajo de los animales y los implementos de cosecha. Indicó que había un cierto número de casos «registrados» donde las semillas de arroz rojo germinaban después de haber estado en la «tierra» por 12 años y que, en su estación, fue posible obtener una buena población de arroz rojo por el simple hecho de arar unos pocos centímetros más profundamente que la profundidad a que se había arado los siete años anteriores. Si bien las observaciones de Quereau estaban de acuerdo con los conceptos generales en esa época, los estudios clásicos de longevidad de semillas enterradas de arroz rojo no se llevaron a cabo hasta la década de 1930 (Goss y Brown, 1939). Las semillas de cinco ecotipos de arroz rojo y dos variedades cultivadas de arroz fueron enterradas en el suelo a una profundidad de 12,5 cm en distintos lugares: cerca de Beaumont (Texas), Stuttgart (Arkansas) y Biggs (California) bajo condiciones de secano e irrigadas. Grupos de semillas fueron tomadas del suelo anualmente durante cinco años y analizadas para su germinabilidad. Los resultados fueron:

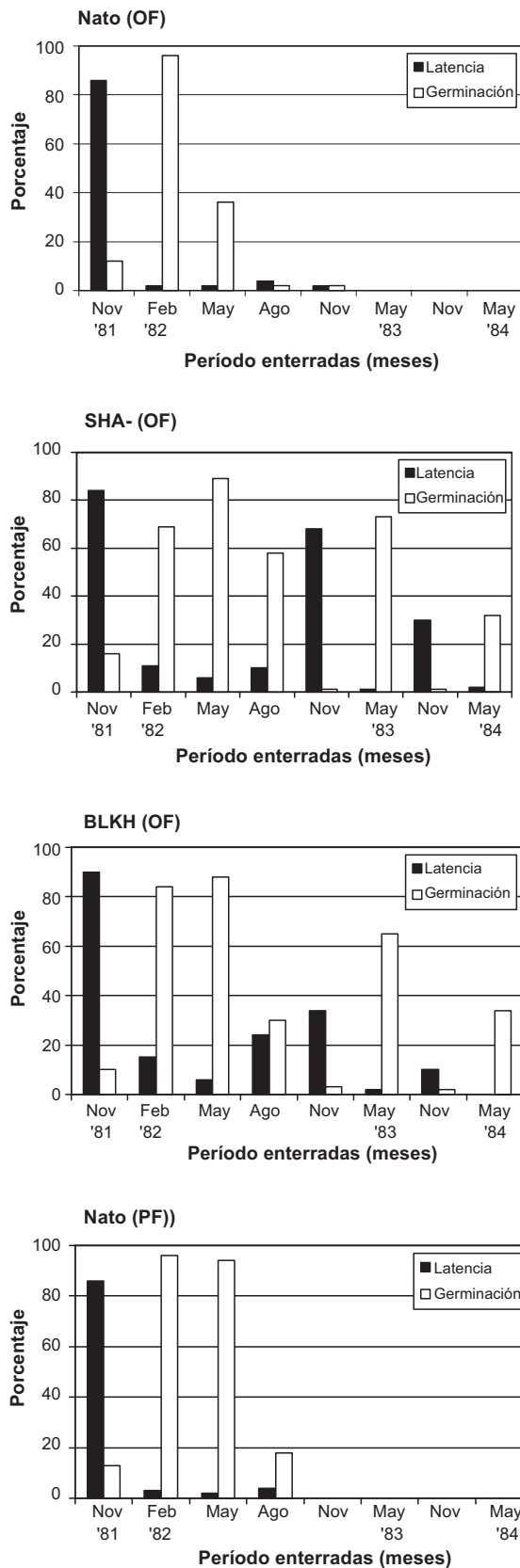
- semillas de dos variedades cultivadas (*Caloro* y *Supreme Blue Rose*) perdieron su viabilidad durante el primer invierno en todos los lugares bajo condiciones de secano y regadas;
- el arroz rojo *California* se comportó en forma similar a las variedades cultivadas excepto que fue ligeramente más persistente en Stuttgart; un pequeño porcentaje (< 16 por ciento) del arroz rojo *Italiano* de secano, en Biggs, germinó después de tres años;
- los tres arces rojos «sureños», dos *SHR* y un *BHR* mantuvieron buena viabilidad por tres años, cerca de 50 por ciento de viabilidad por cuatro años, 12-25 por ciento por cinco años y 2-20 por ciento después de siete años. El *BHR* «sureño» tuvo la más larga vida y la longevidad de los tres arces rojos «sureños» fue favorecida por el riego en las ubicaciones del sur.

Un año más tarde, Goss y Brown (1940) informaron acerca la recuperación en 10 años de las semillas de cuatro de los arces rojos en Stuttgart. El *BHR* «sureño» y uno de los arces rojos *SHR* del sur germinaron 28 y 21 por ciento, respectivamente.

Respuesta/reacción de las semillas de arroz rojo enterradas profundamente

La sobrevivencia de las semillas de arces rojos enterradas profundamente y por largos períodos en el suelo es reconocida como una característica crítica en su comportamiento como malezas en los arrozales y es atribuida a la profunda y persistente latencia. Sin embargo, hasta la década de 1980, había escasos conocimientos acerca de las respuestas fisiológicas y las reacciones de las semillas enterradas profundamente durante los cambios en el ambiente asociados con las estaciones y los ciclos de cultivo. El 1° de noviembre de 1981 Do Lago (1982) enterró semillas latentes de la variedad *Nato* y de los arces rojos *BLKH*, *SHA-* y *78/8* a 15 cm de profundidad en campos de secano (ocasionalmente inundados) y en campos perennemente inundados para un estudio de 30 meses sobre

FIGURA 12
Variación estacional de la latencia y la germinación en semillas de la variedad *Nato* y de tres arroces rojos enterradas profundamente en el suelo

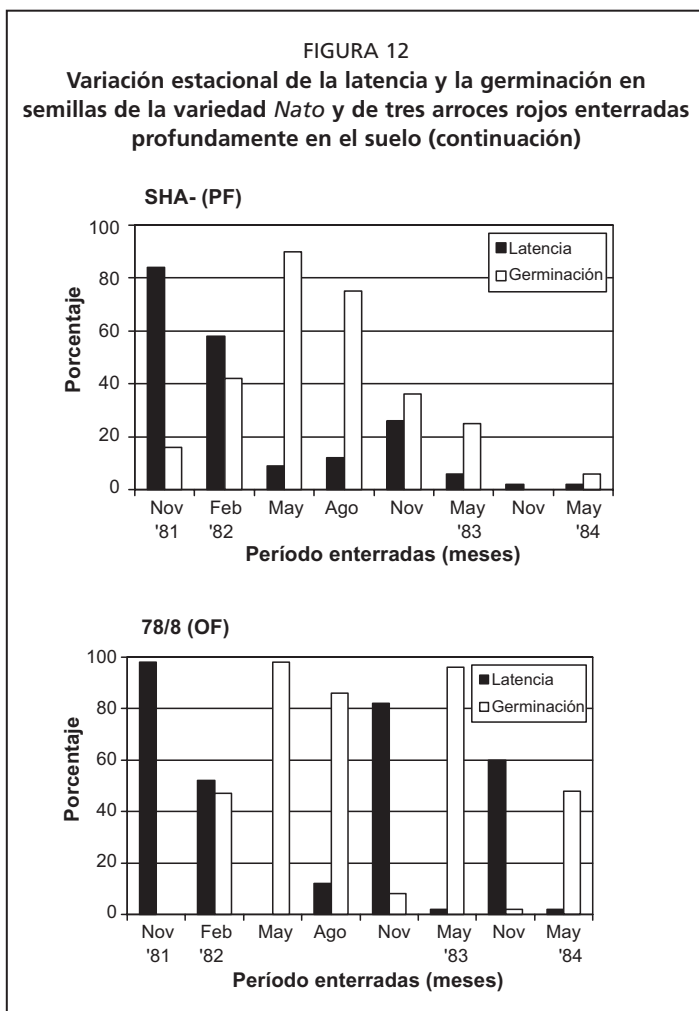


las respuestas/reacciones de las semillas enterradas. Se colocaron suficientes semillas como para retirar muestras para ser analizadas cada tres meses. Las semillas de la misma variedad y de los mismos arroces rojos fueron almacenadas «al aire» pero con una cubierta, encima de las semillas enterradas, como una forma de control. El Cuadro 26 presenta los resultados de los primeros seis meses de los estudios. Después de seis meses de haber estado enterradas profundamente en el suelo ninguna de las semillas de la variedad de arroz y de los tres tipos de arroz rojo presentaba latencia. Do Lago consideró esos resultados como sorprendentes ya que provocaban la pregunta de si la latencia era fundamental para la sobrevivencia de las semillas de arroz rojo en el banco de semillas tal como generalmente se creía.

Continuando con este estudio de semillas enterradas, Teekachunhatean, (1985) recuperó cada tres meses muestras de semillas enterradas en el primer año y cada seis meses en el siguiente período de 30 meses. La latencia de las semillas enterradas profundamente en noviembre fue liberada durante el invierno, en su mayoría en febrero para la variedad *Nato* y el arroz rojo *SHA-* de modo que el 90 por ciento de las semillas del arroz rojo germinaron y emergieron en mayo cuando se movieron a cerca de 3 cm de la superficie (Figua 12). La germinación de las semillas de *Nato* fue menor a 40 por ciento en mayo en el suelo de secano pero más de 90 por ciento en el suelo inundado. La germinación de las semillas enterradas profundamente de los arroces rojos empezó a decrecer y la latencia a incrementarse en agosto de modo que en noviembre casi todas las semillas en el tratamiento de secano estaban latentes. Durante los restantes 18 meses del estudio, las semillas enterradas profundamente de los arroces rojos que eran todavía

viales en el suelo de secano eran básicamente germinables en mayo y todas latentes en noviembre. La viabilidad de las semillas decreció en ambas condiciones de campo pero más rápidamente en el suelo inundado de modo que menos del 10 por ciento eran viables a los 30 meses. La periodicidad en la germinación y la latencia en las semillas de arroz rojo enterradas correspondieron a cambios climáticos estacionales de modo que favorecieron la sobrevivencia y la reproducción. Las semillas estaban en una condición latente al llegar las bajas temperaturas al final del otoño y en el invierno y muchas de ellas permanecieron latentes hasta que esta fue completamente liberada al desaparecer el peligro del frío en la siguiente primavera cuando hubo condiciones favorables para la germinación, crecimiento y reproducción.

La reimposición o inducción de la latencia al final del verano y en el otoño previno la germinación en el siguiente invierno cuando las plántulas podrían morir por el frío del invierno. Las semillas de *Nato*, una de las variedades con mayor latencia, no presentó una periodicidad distinta respecto a la germinación y a la latencia. La latencia fue liberada en el primer invierno de modo que todas las semillas viables podían germinar ya en febrero; sin embargo, todas las semillas no recuperadas en mayo murieron y se deterioraron a finales del verano. En un estudio relacionado, las semillas latentes y no latentes de *Nato* y de los arroces rojos *BLKH* y *SHA*+



Nota: OF = inundación ocasional; PF = inundación permanente
Fuente: Teekachunhatean (1985)

CUADRO 26

Porcentaje de germinación (G) y latencia (L) de semillas después de seis meses (m) de almacenamiento al aire y enterradas a 15 cm de profundidad en el campo, bajo condiciones de secano e irrigadas

Variedad/ecotipo	Condición del campo													
	Almacenamiento al aire		Suelo/secano				Suelo/inundado							
			3 meses		6 meses		3 meses		6 meses					
Inicial*		G	L	G	L	G	L	G	L	G	L			
Variedad														
<i>Nato</i>	11	88	88	9	97	1	96	0	35**	0	95	3	95	0
Arroz rojo														
<i>BLKH</i>	8	90	98	1	88	6	73	15	85	7	68	30	98	0
<i>SHA-</i>	9	90	90	7	91	4	62	31	87	10	40	58	90	9
<i>78/8</i>	0	100	16	84	63	29	46	52	97	0	23	75	98	0

* Las semillas fueron enterradas 1° noviembre 1981; 3 m = 1° febrero 1982; 6 m = 1° mayo 1982.

**61% de las semillas germinaron pero no emergieron.

Fuente: Do Lago, 1982

CUADRO 27
Porcentajes de germinación y latencia de semillas latentes y no latentes después de períodos de estar sumergidas en 20 cm de agua bajo condiciones ambientales

Variedad/ecotipo	Respuesta (%)	Período sumergidas (20 cm) en agua (meses)				
		0 (Oct 83)	3 (Ene 84)	6 (Abr 84)	9 (Jul 84)	12 (Oct 84)
Semillas no latentes						
<i>Nato</i>	Latencia	0	0	0	0	0
	Germinación	100	0	0	0	0
<i>BLKH</i>	Latencia	0	0	0	0	0
	Germinación	100	0	0	0	0
<i>SHA+</i>	Latencia	0	0	0	0	0
	Germinación	100	0	0	0	0
Semillas latentes						
<i>Nato</i>	Latencia	78	0	0	0	0
	Germinación	21	30	18	0	0
<i>BLKH</i>	Latencia	96	17	16	1	66
	Germinación	4	71	68	84	12
<i>SHA+</i>	Latencia	96	60	39	0	86
	Germinación	2	32	45	92	2

Fuente: Teekachunhatean, 1985

fueron sumergidas en 20 cm de agua, en condiciones ambientales, en octubre 1983 y muestreadas para analizar cada tres meses durante un año. Las semillas latentes de *Nato* y de los dos arroces rojos murieron durante el primer período de tres meses, octubre-enero (Cuadro 27). La latencia fue completamente liberada en las semillas de *Nato* durante los primeros tres meses y todas las semillas estaban muertas en el muestreo a los nueve meses en julio. El 71 y 45 por ciento de la latencia de las semillas de *BLKH* y *SHA+*, respectivamente, fue liberado en el período de seis meses octubre-abril y completamente liberada en julio a los nueve meses, después de lo cual muchas de las semillas volvieron nuevamente a la condición de latentes en octubre, al final del período de 12 meses. De nuevo, las semillas latentes de la variedad *Nato* volvieron a germinar o murieron en abril tal como hicieron cuando estaban enterradas en el suelo. Petrini *et al.* (1993a, 1993b) también encontraron que la viabilidad de las semillas de arroz rojo latentes no fue mayormente afectada por las inundaciones o el suelo saturado, mientras que las semillas no latentes disminuyeron en viabilidad pero algo menos cuando estaban enterradas profundamente en el suelo. La última respuesta fue probablemente causada por la latencia inducida. Los modelos estacionales de la liberación e inducción de la latencia de la semillas demostrada en los estudios con semillas enterradas de arroz rojo fueron confirmados por García Quiroga (1987) en estudios posteriores en Mississippi, Estados Unidos de América, con algunos de los fenotipos de arroz rojo y en Brasil por Barros (1994) y Peske *et al.*, (1997). Estos ritmos estacionales para la germinación no fueron ni únicos ni sorprendentes. Vegis (1964) propuso un modelo general para el comportamiento de la germinación asociado con la liberación y la inducción estacional de la latencia enfocado en la restricción del rango de temperatura para la germinación a medida que la latencia es inducida y su mayor latencia es liberada.

Baskin y Baskin llevaron a cabo estudios sobre la ecología de la germinación de las especies anuales, incluyendo muchas malezas, a principios de la década de 1970 y en 1985 publicaron una revisión de sus trabajos y de trabajos de otros autores relacionados con el tema (Baskin y Baskin, 1985), Karssen (1982) y Karssen, Derkx y Post (1988) sostuvieron que los modelos estacionales de la liberación y la inducción de la latencia tienen un alto valor de sobrevivencia para las plantas y que, en las especies anuales, la latencia está relacionada con la estación que precede las condiciones de tiempo favorables para la germinación, el crecimiento y la reproducción y que es inducida en la estación que precede la iniciación de condiciones negativas para esos procesos.

Para las especies anuales estivales tales como los arroces rojos, la latencia es liberada al fin del otoño, en invierno y a principios de la primavera e inducida a fines del verano y principios del otoño. En el caso de las especies anuales invernales, la latencia es liberada a medida que la temperatura disminuye a final del verano y a principios del otoño y es inducida de mediados a fines del verano cuando las temperaturas aumentan. Los resultados de los estudios sobre el comportamiento de las semillas de arroz rojo enterradas concuerdan plenamente con los distintos modelos de cambios estacionales en el comportamiento de la germinación.

Teekachunhatean (1985) llevó a cabo varios estudios adicionales en semillas de arroz rojo para identificar las señales ambientales y las condiciones que controlan la transición de la germinabilidad a la latencia y viceversa. Las señales de la temperatura para la liberación de la latencia fueron investigadas imbibiendo semillas latentes (con menos de cinco por ciento de germinación) del arroz rojo *SHA+* durante 48 horas en toallas de germinación húmedas a 15 °C después de lo cual grupos apropiados de semillas fueron sellados en bolsas de polietileno y colocados en incubadoras oscuras a 5, 10, 20 y 30 °C en períodos de 25 días. Al final del primer período de 25 días las semillas fueron transferidas a diferentes temperaturas para un segundo período de 25 días y transferidas nuevamente por otro período de 25 días de modo que fueron expuestas a las cuatro temperaturas en diferentes secuencias. Las semillas fueron removidas al final de cada período de 25 días para determinar la germinación y la latencia. Los efectos de las temperaturas alternadas de las semillas embebidas a las diferentes temperaturas fueron generalmente los esperados pero hubo también algunos resultados sorprendentes y reveladores (Cuadro 28). La latencia fue liberada antes y en mayor medida por la exposición a la secuencia de temperaturas alternadas en las que 10 °C fue la temperatura inicial; la liberación fue más lenta en la exposición a la secuencia de temperaturas en la cual el primer tratamiento fue de 30 °C. Esos resultados fueron tan esperados como en el estudio de las semillas enterradas donde la latencia fue liberada cuando la temperatura del suelo disminuyó en invierno y fue inducida a medida que las temperaturas aumentaron en verano. Los resultados sorprendentes fueron: 5 °C no fueron tan efectivos como 10 °C para liberar la latencia y las secuencias de temperaturas con una baja temperatura seguida por una temperatura alta, entremezclada con dos temperaturas altas o precedida por una temperatura alta, por ejemplo, 5-30-30, 10-30-30, 30-5-30, 20-5-20, 20-10, 20-10-10 fueron más efectivas para liberar la latencia que 10 °C durante 50 días, por ejemplo, 10-10. Estos resultados reveladores parecen indicar que para la total liberación de la latencia las temperaturas menores de 10 °C tienen que estar combinadas con altas temperaturas, mientras que aquellas mayores de 10 °C tienen que ser combinadas con temperaturas bajas. Estas respuestas son muy probablemente adaptaciones para reducir la probabilidad de liberación de la latencia demasiado temprano en el invierno y durante períodos de temperaturas altas al final de la primavera antes de una eventual última helada fatal.

Las investigaciones de Teekachunhatean sobre la temperatura y otros factores ambientales involucrados en la reimposición o inducción de la latencia en semillas enterradas tomaron en consideración las observaciones hechas durante los estudios sobre los beneficios de la sobrevivencia del desgrane temprano de las semillas (Capítulo 4) indicando que el alto contenido de humedad (ca. 20 por ciento) de las semillas desgranadas era fundamental para el mantenimiento de la latencia. Teekachunhatean preparó muestras de semillas no latentes (germinación ≥ 98 por ciento) de arroz rojo *SHA+* con contenidos de humedad de 18,5, 22,5 y 26,5 por ciento a 15 °C, selló las semillas en bolsas de polietileno y las almacenó a 10, 20 y 30 °C por períodos de hasta cinco meses. La latencia fue inducida en las semillas inicialmente no latentes con 18,5 y 22,5 por ciento de humedad exponiéndolas por 2–3 y 3–4 meses a 30 °C, respectivamente, pero no en las semillas con 26,5 por ciento de humedad (Cuadro 29).

CUADRO 28
Efecto de períodos de temperaturas constantes y alternantes sobre la germinación y la latencia de semillas del ecotipo de arroz rojo *SHA+*

Período de prueba y duración de la exposición								
Período 1 (25 días)			Períodos 1 y 2 (25 días + 25 días)			Períodos 1, 2 y 3 (25 días + 25 días + 25 días)		
Temperatura (°C)	Germinación (%)	Latencia (%)	Temperatura (°C)	Germinación (%)	Latencia (%)	Temperatura (°C)	Germinación (%)	Latencia (%)
5	9	86	5-5	12	79	5-5-5	22	70
			5-10	70	24	5-10-10	68	24
			5-20	68	22	5-10-5	36	59
			5-30	70	22	5-20-20	62	31
10	42	54				5-20-5	73	19
						5-30-30	84	5
						5-30-5	66	23
			10-5	63	37	10-5-5	31	62
			10-10	59	37	10-5-10	70	22
			10-20	71	24	10-10-10	93	0
			10-30	72	23	10-20-20	70	23
						10-20-10	94	1
20	4	91				10-30-30	91	3
						10-30-10	76	11
			20-5	6	93	20-5-5	4	89
			20-10	93	3	20-5-20	85	10
			20-20	6	92	20-10-10	88	6
			20-30	4	92	20-10-20	73	23
						20-20-20	37	60
						20-30-30	15	79
30	1	96				20-30-20	13	77
						30-5-5	12	80
			30-5	6	92	30-5-30	92	1
			30-10	43	48	30-10-10	80	16
			30-20	37	58	30-10-30	70	11
			30-30	4	94	30-20-20	15	52
						30-20-30	20	38
						30-30-30	2	94

Fuente: Teekachunhatean, 1985

A 10 °C la latencia fue inducida en cerca de 10 por ciento de las semillas con contenido de humedad de 18, 5 y 22,5 por ciento en un período de 4 – 5 meses mientras que hasta 25 por ciento de las semillas con 26,5 por ciento de humedad entraron en latencia en dos meses. Las semillas a 18,5 y 22,5 por ciento de humedad almacenadas a 30 °C pasaron del estado de germinables al estado de latencia, comenzando a los dos meses, con la transición completada en 3 – 4 meses. Las semillas con el mayor contenido de humedad, 26,4 por ciento a 30 °C, no pasó al estado latente. Ninguna de las semillas a 40 °C desarrolló latencia, empezaron a declinar en viabilidad en 2 – 3 meses y a los cinco meses estaban todas muertas. Las semillas en las cuales fue inducida la latencia (90 por ciento) fueron colocadas en un ambiente húmedo hasta su total imbibición e incubadas a varias temperaturas durante 30 días para determinar el régimen de temperatura adecuado para la liberación de la latencia inducida (Cuadro 30).

Una temperatura de 10 °C durante 30 días revertió totalmente la latencia inducida a germinabilidad. Ninguna de las otras temperaturas constantes o alternantes fue tan efectiva, pero la casi total ineffectividad de las temperaturas alternantes a 30 °C para revertir la latencia inducida y la efectividad parcial de las temperaturas alternantes a 10-20, 10-40 y 20-40 justifican más estudios. Por ejemplo, García Quiroga (1987) repitió los estudios de inducción de latencia usando solo 18 por ciento de humedad en las semillas y determinó que la latencia también era inducida en períodos de 2-3 meses a 20 °C. Por lo tanto, esos resultados indican que la latencia puede ser inducida en semillas

CUADRO 29

Efecto de la temperatura de almacenamiento y contenido de humedad de la semilla sobre la inducción de la latencia en semillas del fenotipo de arroz rojo *SHA+*

Duración almacenamiento (meses)	Temperatura de almacenamiento					
	10 °C		30 °C		40 °C	
	Germinación	Latencia	Germinación	Latencia	Germinación	Latencia
18,5 % contenido de humedad de la semilla						
0	99	0	98	0	98	0
1	98	0	94	0	93	2
2	99	0	12	78	86	0
3	95	0	4	89	70	0
4	85	11	0	88	6	0
5	65	9	0	90	0	0
22,5 % contenido de humedad de la semilla						
0	98	0	99	0	97	0
1	99	0	97	0	95	0
2	96	0	73	15	93	0
3	96	0	50	47	78	0
4	61	13	8	90	0	0
5	67	7	5	48	0	0
26,4 % contenido de humedad de la semilla						
0	98	0	97	0	96	0
1	81	14	97	1	95	0
2	64	25	95	1	85	1
3	91	4	90	2	8	0
4	93	0	86	3	0	0
5	81	0	33	0	0	0

Fuente: Teekachunhatean (1985)

CUADRO 30

Efecto del régimen de temperatura para liberar la latencia inducida en semillas del fenotipo de arroz rojo *SHA+*

	Temperatura constante o alternante (°C)									
Germinación	10	20	30	40	10-20	10-30	10-40	20-0	20-40	
Porcentaje	91	12	0	3	24	3	36	0	24	

Fuente: Teekachunhatean (1985)

no latentes de los arroces rojos con un contenido de humedad de 18 a 22 por ciento exponiéndolas a temperaturas altas de 20-30 °C durante varios meses. Sin embargo, solo pueden ser consideradas como una sugerencia de lo que ocurre en el microambiente de semillas enterradas profundamente y en las semillas mismas. Son necesarios estudios adicionales para llegar a tener una comprensión más clara y completa de los cambios en el comportamiento de la germinación de las semillas profundamente enterradas de los arroces rojos. Los estudios de campo deberían incluir: un registro completo de las temperaturas del suelo a nivel de las semillas enterradas, recuperación mensual de las semillas para analizar en lugar de hacerlo en períodos trimestrales y determinación del contenido de humedad, de la germinación y de la latencia. Los estudios de laboratorio en la inducción de la latencia deberían comprender otras temperaturas tales como 5, 15, 25, 35 e incluso 40 °C y un mayor rango de contenido de humedad, por ejemplo, desde 16 por ciento hasta la total imbibición, cerca de 28-30 por ciento, en incrementos de dos por ciento.

MODELO ECOLÓGICO DE LA GERMINACIÓN DEL ARROZ ROJO

Existe abundante información sobre el comportamiento de la germinación del arroz rojo pero es aún insuficiente para la construcción de modo riguroso y completo de la

germinación del arroz rojo y su longevidad en el suelo. Como se discutió líneas arriba, es necesaria investigación críticamente enfocada de modo de obtener la información adicional necesaria para la construcción de un buen modelo del comportamiento de la germinación del arroz rojo *Oryza sativa* en zonas templadas de cultivo de arroz bajo riego. La investigación adicional sería necesaria para extender el modelo a los trópicos húmedos y a los subtrópicos donde no ocurren o son raras temperaturas por debajo de 20 °C y en zonas más cálidas con estaciones secas y húmedas bien definidas (en la estación seca la germinación de las semillas desgranadas sería probablemente prevenida por la desecación y no por la latencia). Serían necesarios además otros trabajos para determinar si otras especies de arroces maleza, por ejemplo, *Oryza latifolia*, *O. barthii*, *O. glaberrima*, *O. longistaminata* y *O. rufipogon* podrían ser incluidas en el mismo modelo de los tipos de *O. sativa* o deberían ser modelados por separado. Es necesaria más información para el desarrollo de un buen modelo del comportamiento de la germinación de los arroces rojos del grupo *O. sativa* en zonas templadas; algunos de los más probables elementos para construir los modelos han sido identificados, caracterizados y documentados como sigue:

- La falta de uniformidad de la germinación y la emergencia de las semillas de arroz rojo sobre o en el suelo proporciona múltiples oportunidades para que algunas plántulas escapen a la destrucción causada por las adversidades ambientales y a las medidas de control químico o mecánico y así crecer, desarrollarse y madurar las semillas, o sea, reproducirse. El vigor generalmente superior, la eficiencia fisiológica y la altura y tipo de los arroces rojos comparados con las variedades cultivadas asegura que una parte de las plántulas que escapan a la destrucción sean altamente competitivas y produzcan una relativa abundancia de semillas.
- La abundancia de la formación de tallos durante un largo período y el amplio ángulo de los tallos de los arroces rojos contribuye a su vigor y competitividad. Más aún, también se expande el lapso de formación de la panoja, la maduración y el desgrane de las semillas, todo lo cual, como en el caso de la relativa desuniformidad de la germinación y de la emergencia, proporciona múltiples oportunidades para colocar las semillas desgranadas en el tiempo y en el espacio adecuados para la sobrevivencia hasta la próxima estación.
- El fácil y temprano desgrane de las semillas del arroz rojo, uno de los caracteres fundamentales para su éxito como maleza, tiene importantes funciones. Por un lado incrementa considerablemente la zona de dispersión de las semillas en comparación con su posible comportamiento si fueran resistentes al desgrane como las variedades cultivadas. Además, asegura que al menos algunas de las semillas colocadas sobre o en el suelo continúan la infestación en lugar de ser cosechadas con el grano. Esto da lugar a una dispersión de semillas con un contenido de humedad relativamente alto que favorece el mantenimiento de la latencia en las estaciones templadas o frías. La resistencia al desgrane podría dar lugar a la recolección de las semillas en la cosecha o a una importante disminución de la latencia ya que las semillas se secaron durante «el almacenamiento en la planta».
- La intensidad y la persistencia de la latencia aseguran que los ecotipos sobrevivan al invierno como semillas que es la fase más resistente de todo el ciclo de la planta. La liberación de la «mayor parte» de la latencia, o sea, la reducción de su intensidad por una prolongada exposición a temperaturas templadas/frías de cerca 10 °C da lugar a la germinación y emergencia a lo largo de un período extenso cuando las condiciones ambientales se vuelven favorables durante la primavera. Una latencia inducida o secundaria que se desarrolla en semillas enterradas profundamente o sumergidas en el agua a medida que la temperatura del suelo y del agua aumentan a final del verano a alrededor de 30-35 °C, previenen la germinación de las semillas que se encuentran en una profundidad favorable o cuando se retira el agua de la

inundación durante los períodos más cálidos del otoño y del invierno. El ciclo anual de la germinabilidad y la latencia siguiendo el ritmo de las estaciones es la razón más probable para la longevidad de las semillas enterradas de arroz rojo.

OTRAS DISCUSIONES SOBRE LOS GRUPOS HÍBRIDOS DE LOS CRUZAMIENTOS ARROZ CULTIVADO/ARROZ ROJO

En el Capítulo 3 se informó sobre la observación de que los grupos híbridos de los cruzamientos de los arroces rojos con los arroces cultivados segregan para muchos caracteres y características y podrían generar centenares de arroces maleza fenotípicamente distintos y difíciles de manejar, algunos con pericarpio rojo y otros con pericarpio blanco pero que, sin embargo, esto no ha ocurrido. Esto plantea algunas preguntas:

- ¿qué ocurre con los grupos híbridos?
- los grupos híbridos ¿mueren o se vuelven a mezclar con las poblaciones de arroz rojo en las que se originaron?
- ¿porqué los complejos *SHR* y *BHR* mantuvieron sus posiciones dominantes en los Estados Unidos de América a pesar de las constantes presiones de los grupos híbridos?

Jodon (1959) observó que dado que el arroz rojo se cruza y poliniza «fácilmente con el arroz común», debería esperarse que la hibridización diera lugar a innumerables tipos de arroces rojos, lo que sin embargo no ha ocurrido. El autor notó que había unos pocos tipos de arroz rojo, tal como ocurre en la actualidad, y que se asemejaban entre ellos más de lo que se asemejaban los arroces cultivados entre si.

Los arroces rojos *SHR* son aún los arroces rojos dominantes y se asemejan entre ellos más que las variedades cultivadas entre si, especialmente cuando entran en la etapa reproductiva. Sin embargo, hay una semejanza obvia entre algunos ecotipos y las variedades en lo que se refiere a altura de planta, color de la hoja y de la panoja y madurez. Los grupos *BHR* continúan siendo un grupo distinto, más diferenciado que los *SHR* y se asemejan entre ellos mucho más de lo que se asemejan las variedades cultivadas o los *SHR*. Gealy y Estorninos (2004a) informaron que los híbridos de *BHR* con variedades se distinguen fácilmente de aquellos de *SHR* con variedades en razón de la mayor separación genética que existe entre esos grupos principales de arroz rojo.

El significado ecológico, las interacciones y las relaciones de los caracteres fundamentales de los arroces rojos discutidos en este Capítulo proporcionan una base para especulaciones informales acerca del proceso de los grupos híbridos arroz rojo × arroz cultivado. Estorninos, Gealy y Burgos (2004) determinaron las tasas de cruzamientos recíprocos de dos variedades, *Starbonnet* y *Kaybonnet*, con *BHR* y *SHR* apareados de tal modo que la floración era casi sincrónica. La tasa de cruzamiento entre *Kaybonnet* y *BHR* fue de 0,10 por ciento, con el *BHR* como polinizador. El cruzamiento entre *Starbonnet* y *SHR* fue de 0,23 por ciento, con el *SHR* como polinizador y de 0,14 por ciento con *Starbonnet* como polinizador. Los autores atribuyeron tentativamente esas diferencias entre los cruzamientos recíprocos a la altura de las plantas, ya que las plantas altas de arroz rojo son capaces de funcionar mejor como polinizadoras que las variedades más cortas. Sin considerar esa razón, los cruzamientos entre arroz rojo y variedades de arroz cultivado como plantas femeninas presentan inmediatamente serias deficiencias. En primer lugar, el carácter de no desgranador del material materno cultivado llevaría la mayoría de las semillas híbridas entre los granos cosechados para el consumo y no para propagación en el suelo. Constantin (1960) informó que de más de 1 000 panojas de arroces maleza que había recolectado en el suroeste de Louisiana todas tenían pericarpios rojos y evidencia de fuerte desgrane y notó que los arroces cultivados serían probablemente el donante de polen en las poblaciones híbridas. En



J.C. DELOUCHE, 1992

Lámina 16

Las dos filas superiores: una muestra de la diversidad de los RR en características de altura de planta, follaje y panoja comparados con variedades cultivadas. A) izquierda a derecha: Nato, Lemont, SHR semienano, Starbonnet similar a RR y SHA- SHR. B) izquierda a derecha: Nato, Newbonnet, Starbonnet, Lemont, semienano RR hoja púrpura y los RR SHA- y BLKH. C) izquierda a derecha: Nato, Starbonnet, SHA-, Lemont, semienano RR hoja púrpura, RR hoja púrpura, y semienano RR hoja verde. D) izquierda a derecha: SHA-, BLKH, BrHR, SHA+, RR grano largo hoja suave, tipo SH pericarpio blanco. Línea inferior: parcelas usadas para las investigaciones de RR en la Mississippi State University, 1978-1992.

segundo lugar, cualquier semilla híbrida de los cruzamientos con la variedad como material materno perdería probablemente viabilidad o podría morir por el frío como ocurre con la mayoría de las semillas que desgranar de las variedades cultivadas. Hay evidencia que la latencia en el arroz y en otras especies de las *Poaceae* está condicionada por las propiedades del complejo del pericarpio, la testa y las cáscaras, muchos de los cuales son tejidos maternos (Jana, Acharya y Naylor, 1979; Jana, Upadhyaya y Acharya, 1988). Por otro lado, las semillas híbridas con la variedad como polinizador podrían desgranar y caer al suelo, sobrevivir al invierno, emerger en la primavera, infestar el cultivo y producir semillas que en la generación siguiente podrían producir grupos híbridos.

El crecimiento tardío y la esterilidad son caracteres bastante comunes en las poblaciones segregantes de los cruzamientos de arroz rojo y arroz cultivado (Jodon, 1959; Do Lago, 1982; Burgos *et al.*, 2006b; Gealy, 2005). Las plantas muy tardías y estériles en el grupo híbrido serían eliminadas. La latencia es un carácter inherente de modo que las semillas que terminan la intensidad de latencia respecto a las variedades cultivadas no serían exitosas para sobrevivir períodos adversos y la mayoría sería eliminada. Del mismo modo, la mayoría de los segregantes heredando el carácter de no desgrane serían eliminados. Algunos segregantes no poseerían los caracteres para competir con los arroces rojos ya establecidos o aún con las variedades cultivadas y serían eliminados. Podría haber otras razones por las cuales nuevos ecotipos distintos exitosos de arroz rojo aparentemente emergen muy raramente de los grupos híbridos. Sin embargo, en la actualidad esas razones continúan siendo desconocidas.

Varias preguntas adicionales surgieron muchas veces durante los estudios sobre arroz rojo en la *Mississippi State University* en la década de 1980. Un conjunto de preguntas estaba relacionado con la variedad *Nato* usada como referencia o control en muchos de los experimentos ya que esta exhibía una latencia persistente y más intensa que la mayoría de los tipos comunes de arroz rojo incluidos en los experimentos. Las preguntas se enfocaban en porque *Nato* no era considerada una maleza nociva espontánea en los campos de producción de semillas certificadas de arroz. Desde el momento que no era desgranadora su capacidad para difundirse y persistir habría sido limitada pero cualquier semilla que hubiera caído en la superficie del suelo debería sobrevivir al invierno y persistir en el banco de semillas del suelo. Sin embargo, muchas de ellas no persistieron. Otro problema estaba relacionado con la latencia de *Nato* que no parece ser muy persistente en el almacenaje al aire, más persistente que muchos de los arroces rojos comunes pero no en o sobre el suelo. Otras preguntas estaban relacionadas con la aparente ausencia de ecotipos de cáscara negra o de cáscara color pajizo con pericarpio blanco. Estos emergen de los grupos híbridos como es evidente en las láminas 4, 12, 13, 14 y 16. Un tipo exitoso de arroz maleza de cáscara negra o cáscara color pajizo de pericarpio blanco podría presentar algunos problemas legales porque el arroz rojo es definido en muchas leyes de semillas como una semilla de arroz con un cariósido pigmentado de rojo.

Capítulo 7

Estrategias para el control de los arrozces maleza

Considerando las complejidades y los aspectos multidimensionales de la diversidad, la fenología y la ecología de los arrozces maleza -incluyendo los arrozces rojos- es de esperar que las medidas de control sean también complejas, difíciles, multidimensionales y que requieran una disciplina excepcional en el manejo del cultivo, paciencia y, tal vez más importante, perseverancia. Las estrategias de control están bien establecidas pero los caminos y los procedimientos usados para su implementación, o sea las tácticas, varían de lugar a lugar y requieren revisiones frecuentes para:

- tomar en consideración la aparición de nuevos y/o diferentes ecotipos de arroz maleza;
- adaptar los cambios de las variedades cultivadas, los sistemas de cultivo, las prácticas culturales, la disponibilidad de agua y los estándares de comercialización para el grano de arroz;
- aprovechar las nuevas y/o diferentes rotaciones de cultivos, los avances en los conocimientos de la química de los herbicidas y su aplicación y la biotecnología.

Muchas de las tácticas empleadas para controlar los arrozces maleza están cambiando y evolucionando continuamente, relacionadas con el tiempo y dependientes del nivel del productor agrícola y de la disponibilidad de recursos. Por lo tanto, el primer enfoque de este capítulo está dirigido a amplias estrategias para el control del arroz maleza y a las tácticas más ampliamente adaptadas y usadas, con atención a los más nuevos y, en algunos casos, controversos enfoques biotecnológicos.

Las principales estrategias para controlar los arrozces maleza pueden ser agrupadas en varias grandes categorías:

- prevención de infestaciones o reinfestaciones;
- agotamiento del banco de semillas del suelo por medio de prácticas de poscosecha o prácticas culturales de resiembra;
- supresión de la germinación y/o la emergencia por medio de prácticas de siembra y manejo del agua;
- destrucción de las plantas de arroz maleza en el arrozal;
- alteración del ambiente de los arrozales por medio de la rotación de cultivos y/o el barbecho;
- métodos biotecnológicos.

Si bien los herbicidas químicos no se mencionan específicamente, constituyen un elemento importante para todas las estrategias, excepto para la prevención.

RECONOCIMIENTO DE LOS ARROCES MALEZA

El primer requisito en cualquier estrategia aplicada para controlar los arrozces maleza es el reconocimiento de los ecotipos locales y/o introducidos. Esta es una tarea compleja porque muchos de ellos pertenecen a la mismas especies de los principales arrozces cultivados, o sea, *Oryza sativa*, y comparten muchas de las características del arroz cultivado si bien Vaughan *et al.* (2001) presentan una interpretación diferente. Es especialmente difícil distinguir las plántulas y las plantas jóvenes de los arrozces

maleza de las plantas de las variedades de arroz cultivado. Valverde (2005) sostiene que las líneas silvestres de arroz con caracteres de maleza pueden evolucionar a partir de los arroces cultivados o de otras especies de *Oryza*, por ejemplo, *O. latifolia* que son difíciles de detectar porque simulan los tipos cultivados y porque sus híbridos pueden no ser detectados hasta que se establece un nuevo y agresivo ecotipo. Si bien la mayoría de los arroces maleza, especialmente los tipos de arroz rojo tienen hojas hispídas o pubescentes en contraste con las hojas glabras de las variedades cultivadas, esta distinción requiere una inspección cuidadosa que es difícil en las plántulas o en las plantas jóvenes. A medida que evoluciona y sobre todo cuando entra en la etapa reproductiva, el arroz maleza, incluyendo el arroz rojo, se reconoce más fácilmente en virtud de sus características y apariencia «salvaje» que contrastan notoriamente con la apariencia más uniforme «seleccionada» que caracteriza a las variedades cultivadas.

En el área arrocería de los estados del sur de los Estados Unidos de América, las plantas de arroz rojo son por lo general más altas, de color verde más claro, tienen hojas pubescentes y ligeramente caedizas, un mayor número de tallos insertados a un ángulo mayor y panojas más laxas y abiertas que las variedades cultivadas (Quereau, 1920; Constantin, 1960; Do Lago, 1982; Noldin, 1995; Stiers, 2002; Shrivain, 2004). Los *SHR* son por lo general más bajos que los *BHR* y tienen una arquitectura más abierta, hojas más caedizas y panojas totalmente exertas, menor número de tallos y producen espiguillas místicas mientras que los *BHR* presentan casi siempre aristas medias a largas (Craigmiles, 1978; Huey y Baldwin, 1978; Sonnier, 1978; Do Lago, 1982; Noldin, 1985). La diferenciación de ambos tipos de arroces rojos de las variedades cultivadas es relativamente simple en la madurez ya que las panojas abiertas de los arroces rojos exhiben una conspicua evidencia de desgrane que contrasta abiertamente con las panojas compactas no desgranadoras de las variedades modernas. La afirmación de Sonnier (1978) de que a pesar de las «variaciones y las formas híbridas que ocurren en el arroz rojo, todos están incluidos en dos grupos principales» basada en el color de la cáscara (color pajizo o negro) no es enteramente correcta. Los arroces rojos dominantes son de color pajizo, los tipos negros están un lejano segundo lugar pero hay también tipos de cáscara dorada o bronceada y variantes en el grupo negro, a saber, negro oscuro, negro intermedio, negro pálido y negro grisáceo (Constantin, 1960; Do Lago, 1982; Noldin, 1985). Los arroces rojos son en su mayoría tipos de grano medio con unos pocos tipos de grano corto y otros de grano largo y el pericarpio tiene siempre alguna tonalidad de rojo. En Viet Nam, algunos de los arroces maleza, incluyendo el arroz rojo, pertenecen a *Oryza sativa*, pero otros pertenecen a otras especies. Algunas encuestas recientes indican que los agricultores reconocen los arroces maleza en el momento de la formación de la panoja por su menor altura, las espiguillas místicas, la cáscara de color oscuro, el desgrane temprano y abundante y las semillas más pequeñas -en comparación con las variedades cultivadas- y porque comúnmente tienen pericarpio rojo (Chin *et al.*, 1999).

Ferrero y Vidotto (1999) notaron que en Italia los arroces rojos son difíciles de reconocer de las variedades cultivadas en las etapas de plántula y de planta joven pero pueden ser identificados fácilmente después de la formación de los tallos en razón de varias características morfológicas que los diferencian de las variedades cultivadas. Las plantas de arroz maleza por lo general son más altas, los tallos son más numerosos, largos y flexibles, las hojas son pubescentes y varias partes de las plantas son a menudo pigmentadas, particularmente el pericarpio.

En América del Sur y en América Central la mayoría de los arroces malezas son ecotipos de *Oryza sativa* de pericarpio rojo. La especie endémica *O. latifolia* es también un problema en América Central y algunos de los países del Caribe (Lentini y Espinoza, 2005). En Costa Rica *O. latifolia* llega hasta dos metros de alto, mucho más que las variedades cultivadas de los arroces cultivados y del arroz rojo *O. sativa*; tiene hojas más anchas y hábito erecto de crecimiento como las variedades cultivadas

pero las hojas no son laxas y caedizas y los tallos tampoco son caedizos; a diferencia de los arrozces rojos, tienen pericarpio blanco y aristas prominentes como los arrozces rojos (Espitia, 1999). Sin embargo, como ha observado Valverde (2005) *O. latifolia*, conocido como arrozón, ha desarrollado algunas líneas que simulan estrechamente las variedades cultivadas en altura y período de madurez. En Nicaragua los arrozces rojos también son más altos que las variedades y generalmente florecen antes que las mismas (Fletes, 1999). García de la Osa y Rivero (1999) citan una encuesta en Cuba en la que se encontraron 39 biotipos de arroz rojo, 16 de ellos con cáscara de color pajizo, 10 de cáscara dorada y 13 de cáscara negra. Cuando fue sembrada la población de los arrozces rojos encuestada y recolectada, el 27 por ciento exhibió algún grado de segregación. En un resumen del problema del arroz maleza en América Latina, Fischer (1999) describió los arrozces rojos con la aleurona del pericarpio pigmentada y, generalmente, más altos, con más hojas, más tallos y más competitivos que el arroz cultivado.

Los arrozces maleza que se encuentran en el África subsahariana son muy diferentes de los que se encuentran en América, sur de Europa, África del Norte y algunas zonas de Asia. Los principales arrozces maleza son las especies anuales *Oryza barthii* y *O. punctata* y el arroz perenne *O. longistaminata* (Johnson *et al.*, 1999). Estas especies son muy vigorosas y competitivas y desgranar abundantemente y muy temprano. *O. longistaminata* se reproduce por rizomas y semillas. En Senegal, algunos biotipos del arroz cultivado en África *O. glaberrima* tienen pericarpio rojo y un hábito de crecimiento de tipo maleza (Diallo, 1999).

Como se ha indicado líneas arriba, el reconocimiento por parte de los agricultores, de los extensionistas, de los inspectores de certificación de semillas y de los analistas de semillas de los arrozces maleza comunes, incluyendo el arroz rojo, es el primer requisito para implementar cualquier estrategia de control y/o táctica en una región. Los agricultores, los técnicos, los inspectores y otros especialistas en arroz deben ser capaces de reconocer los arrozces maleza comunes en su área. Además, deben vigilar y buscar en forma permanente diferentes ecotipos introducidos desde otras áreas y, especialmente, formas segregantes de la escasa hibridación del arroz cultivado con los arrozces maleza y los nuevos ecotipos seleccionados naturalmente de los grupos híbridos. La Lámina 16 presenta una pequeña muestra de la diversidad de los arrozces rojos en altura de planta, características de forma y panoja, en comparación con varios tipos de arroz cultivado (también Láminas 4 y 12).

PREVENCIÓN DE LA INFESTACIÓN

Importancia de la pureza de las semillas para siembra

Los arrozces maleza se difunden de un área infestada a un área limpia primeramente como contaminantes de las semillas utilizadas para la siembra. Los animales, el equipo de trabajo, las máquinas y los vehículos también pueden contribuir a la difusión de los arrozces maleza. El papel fundamental de las semillas contaminadas en la difusión de los arrozces rojos fue reconocido hace más de 100 años y este reconocimiento continúa en la actualidad:

- «...la producción de semillas de arroz destinadas a la siembra merece especial atención. Si se compran semillas se debería pedir una garantía de que están libres de arroz rojo» (Dodson, 1900);
- «...hay dos cosas que se deberían hacer para mantener los campos libres de arroz rojo: primero la semilla sembrada debe estar libre de arroz rojo ... (y) ... segundo, se debe evitar que el arroz rojo produzca semillas en el campo en el caso de una siembra accidental» (Knapp, 1899);
- «...para que haya arroz rojo en un campo, su semilla debe ser sembrada. El arroz blanco no se vuelve rojo como algunos agricultores tienden a pensar. El principal

medio de propagación (del arroz rojo) es la siembra de semillas de arroz rojo con blanco» (Quereau, 1920);

- «...deben ser tomadas ... todas las precauciones necesarias para evitar la introducción (del arroz rojo) y otras malezas en tierras limpias por medio de las semillas» (Jones y Jenkins, 1938);
- «...creo que nuestro problema con el arroz rojo no son los patos y los gansos que se mueven de un campo a otro. *La razón es que lo sembramos y lo cultivamos.*» (Cox, 1978);
- «...la primera etapa para controlar el arroz rojo es prevenir las infestaciones. Esto puede ser logrado sembrando semillas libres de arroz rojo» (Huey y Baldwin, 1978);
- «...la primera medida para controlar el arroz rojo es usar buena semilla» (Jorge y Barquin, 1980);
- «...los métodos preventivos (de control) son plantar semillas de arroz libres de arroz rojo. Para ello es importante producir semillas de arroz completamente limpias y sin semillas de arroz maleza/arroz rojo. En algunos países hay tolerancias que admiten algunas semillas de arroz rojo por kilo de semillas de arroz cultivado. Esta práctica ha demostrado ser negativa a largo plazo» (Labrada, 1989).

Las citas anteriores reiteran los mismos conceptos. Sin embargo, algunas leyes nacionales y estatales todavía permiten la presencia de algunas semillas de arroz maleza en las semillas certificadas de arroz; por ejemplo, la Unión Europea (Vidotto y Ferrero, 2005). Además, algunos agricultores todavía siembran las semillas del propio cultivo, las intercambian con un vecino o las compran aun cuando saben que están contaminadas o probablemente contaminadas con arroz rojo. Esto indica que las sugerencias para sembrar semilla limpia no han sido repetidas suficiente y claramente a los productores de arroz.

El simposio llevado a cabo en Texas en 1978 fue una respuesta a la escalada del problema del arroz rojo en el estados sureños de los Estados Unidos de América. El problema surgió en gran parte como resultado de la lucha para conseguir semillas a fin de aprovechar las ventajas de la reducción de los estrictos controles gubernamentales sobre el área de siembra del arroz y la liberación de nuevas variedades superiores. El abastecimiento de semillas limpias tanto de las viejas como de las nuevas variedades fue insuficiente para sembrar el área en expansión de modo que los agricultores usaron para la siembra semillas de cualquier origen, incluyendo grano destinado a los molinos (Huey y Baldwin, 1978; Do Lago, 1982). Las consecuencias de esta lucha indiscriminada por las semillas fueron desde importantes hasta enormes. En los principales estados arroceros las infestaciones de arroz rojo se incrementaron y se difundieron a áreas anteriormente limpias; el arroz rojo fue introducido en estados que habían entrado recientemente en la producción de arroz y que servían como fuente de semillas libres de arroz rojo. El Taller Global sobre Control de Arroz Rojo (FAO, 1999) reconoció la rápida «globalización» del problema de los arroces maleza y del arroz rojo con «el cambio del trasplante del arroz a la siembra directa ... (y) ... el cultivo de variedades débiles semienanas de tipo *indica*» (Ferrero y Vidotto, 1999), el cambio a «variedades de ciclo medio que favorecen la multiplicación de muestras» (García de la Osa y Rivero, 1999), «... el cambio gradual del sistema tradicional a una agricultura intensiva y objetivos de producción más exigentes que requieren nuevas tecnologías (nuevas variedades, riego, mecanización)» (Diallo, 1999) e insuficiente atención a la pureza de las semillas y/o un abastecimiento inadecuado de semillas tal como fue mencionado por todos los participantes en el Taller Global. De las 21 recomendaciones hechas por el Taller Global cinco de ellas estaban relacionadas con la producción y abastecimiento de semillas libres de arroces maleza, incluyendo el arroz rojo.

Certificación de semillas

La producción y el mantenimiento de cantidades adecuadas de semillas de arroz libres de arroz rojo requiere un sistema de multiplicación de semillas legalmente sancionado y organizado que opere según protocolos y procedimientos bien probados a fin de asegurar la integridad y la pureza genética de las semillas producidas. La certificación de semillas es un sistema internacionalmente reconocido y aceptado para producir y abastecer semillas puras de alta calidad. Tradicionalmente, la certificación de semillas está organizada por una agencia oficial del gobierno o por una agencia legalmente reconocida para ejecutar actividades de interés nacional. El objetivo original de la certificación de semillas fue el de mantener la integridad genética, o sea, la pureza varietal de las variedades. Sin embargo, con el pasar del tiempo, comenzó a abarcar otros atributos de calidad de semillas tales como la pureza física, semillas de otros cultivos y semillas de malezas y enfermedades transmitidas por las semillas. La certificación de semillas es responsabilidad del gobierno nacional o de niveles más bajos de gobierno (por ejemplo, estados o provincias). Sin embargo, durante muchos años en muchos países ha operado bajo la protección de un acuerdo con los protocolos y estándares de organizaciones o asociaciones internacionales. Las principales organizaciones/asociaciones son: la Organización para Cooperación Económica y el Desarrollo (OECD), París, Francia, (unidad de certificación de variedades) y la Asociación de Agencias Oficiales de Certificación de Semillas (AOSCA), Moline, Estados Unidos de América. Estas dos organizaciones establecen estándares mínimos para la pureza genética y para otros atributos de las semillas tales como las enfermedades que transmiten y las semillas contaminantes de malezas.

La organización, las funciones, los estándares y los procedimientos operacionales de los esquemas de certificación de semillas son bien conocidos y están disponibles al público. Por lo tanto, en esta publicación no es necesario presentar una discusión detallada. Sin embargo, pueden ser útiles algunas discusiones y observaciones sobre aspectos de actividades clave de la producción de semillas puras. Estos aspectos incluyen inspecciones de campo, análisis de semillas y limpieza de las existencias de semillas, que son aspectos especialmente relevantes para prevenir la contaminación con arroz maleza de cualquier clase de semillas (certificadas, no certificadas, conservadas por el agricultor y otras).

Inspecciones de campo y remoción de las plantas fuera de tipo y variaciones

Una efectiva inspección de los arrozales requiere: (i) quien hace las inspecciones (p. ej., el agricultor, el extensionista o el inspector de certificación) debe tener suficiente experiencia sobre las características de las variedades sembradas en el área, con las plantas fuera de tipo y con las variaciones incluyendo los arrozos maleza y los arrozos rojos y, (ii) que las inspecciones sean llevadas a cabo y ejecutadas en forma objetiva, cuidadosa y seria. La inspección de los arrozales inundados es difícil y agotadora pero no existe un sustituto al procedimiento de trabajar en esas condiciones. Excepto en áreas muy pequeñas los arrozales no pueden ser inspeccionados caminando sobre los caballones o diques o con binoculares desde un vehículo. Las inspecciones de campo son más simples en siembras de arroz en línea que en las siembras a voleo. Sonnier (1978), uno de los especialistas con mayor experiencia en arroz rojo de los Estados Unidos de América, aconseja el siguiente procedimiento para las inspecciones de arroz rojo: «... el inspector se detiene en un lugar y observa a su alrededor; cuando ve una planta alta puede estar seguro que hay dos o tres más en las inmediaciones, escondidas en el arrozal. Las tiene que encontrar ... Créanme, la situación del arroz rojo no permanece estática... mejora o empeora». En lo que se refiere a la remoción de las plantas de arroz

rojo de los arrozales en el momento de las inspecciones o después de estas, es sin duda muy efectiva pero también muy costosa si es hecha correctamente. Sonnier indicó que en un arrozal sembrado al voleo puede ser hecho un daño considerable por el equipo encargado de la remoción del arroz maleza, pero en caso de una infestación ligera y capaz de tolerar la remoción manual del arroz rojo, el agricultor debe hacerlo sin considerar el daño al cultivo o, de lo contrario, entregar la producción al molino para su procesamiento como grano.

Los participantes del equipo encargado de la remoción también deben estar familiarizados con los arroces maleza y el arroz rojo y con otras malezas y variaciones que también deben ser removidas. Más aún, en la medida de lo posible, la remoción debe ser hecha antes que los arroces maleza comiencen a desgranar. La remoción después del desgrane puede prevenir la contaminación de las semillas cosechadas pero el suelo y el banco de semillas del suelo son repoblados con arroz rojo. Los operadores deben ser instruidos sobre la forma de eliminar las plantas de los arroces malezas de modo de prevenir la difusión de las semillas por desgrane. Cox (1978), un experto de semillas de Arkansas, relató un incidente que contiene una lección fundamental para un equipo de operadores. Durante una visita a un productor de semillas de arroz por contrato, el agricultor salió del arrozal con un manojo de plantas de arroz rojo que había removido. Molesto, Cox indicó al agricultor que no solo estaba malgastando su tiempo sino que había dispersado por el desgrane más de la mitad de las semillas a medida que caminaba dentro del arrozal. Cox recomendó: «...Si ubica una planta de arroz rojo en el campo, mire en todas direcciones porque siempre hay más de una. Levántela con cuidado, coloque la panoja dentro de una bolsa y córtela y solo entonces arranque las raíces y póngalas en otra bolsa. Esta es la única forma de deshacerse del arroz rojo».

Inspección y análisis de las semillas

El laboratorio de análisis de semillas es el último lugar y el análisis de semillas es la última oportunidad para detectar la contaminación de arroz maleza y arroz rojo en las semillas para siembra. Las semillas de algunos ecotipos de arroz maleza son fácilmente reconocidas pero la cáscara debe ser removida para observar el pericarpio para una verificación adicional respecto a si el arroz rojo es del tipo prohibido o severamente restringido. Sin embargo, las semillas de otros ecotipos de arroz maleza simulan en tal grado las semillas de variedades cultivadas que su identificación es muy dificultosa y no ofrece una seguridad total. Por lo tanto, los laboratorios necesitan una pequeña descascaradora similar a la usada en los laboratorios de fitomejoramiento o en los molinos arroceros a fin de descascarar una cierta cantidad de semillas para la identificación de las semillas de pericarpio rojo (Lámina 17). La cantidad de semillas a ser descascarada está generalmente especificada en las normas de certificación, en la ley de semillas o en los protocolos de laboratorio. Sin embargo, este procedimiento está sujeto a error ya que los pericarpios de algunas semillas, especialmente de aquellas recogidas antes de la madurez, no son rojas sino de un color similar a las semillas inmaduras de arroz, o sea, ligeramente grises, blanco tiza o de algún otro color que en algunos casos pueda levantar sospechas, pero no siempre. Do Lago (1982) cosechó semillas de cuatro tipos de arroz rojo a 14, 16 y 18 días después de la anthesis y determinó el número de días necesarios para que las semillas desarrollaran un color rojo visualmente detectable, el que variaba con las condiciones del momento de la cosecha, del fenotipo y del almacenamiento. Generalmente, cuanto más inmaduras están las semillas en el momento de la cosecha, es necesario mayor tiempo para que desarrollen el color rojo; por ejemplo, son necesarios 36 – 59 días para las semillas cosechadas a los 18 días y almacenadas en condiciones ambientales y más de 100 días para las semillas de tres de los cuatro fenotipos cosechados a los 14 días. Esas semillas sospechosas deberían ser analizadas individualmente en tubos de ensayo

o en pequeños platos o discos de vidrio o cerámica con varias gotas de solución de hidróxido de potasio (KOH) al dos por ciento (Rosta, 1975; Louisiana State Seed Testing Laboratory, 1980). Las semillas de arroz rojo tomarán un fuerte color rojo en un lapso de cinco a diez minutos (hasta 30 minutos para semillas viejas) mientras que solo un color ligero o amarillo dorado se desarrollará en los arrozos cultivados o sus segregantes o en otros arrozos maleza con pericarpio blanco. Estos procedimientos se encuentran en la Lámina 18.

Purificación de semillas contaminadas en las existencias

Las existencias de semillas elite tales como las semillas de categoría básica o fundación pueden contaminarse con semillas de arrozos malezas que simulan estrechamente a la variedad, de modo tal que todas las etapas sucesivas de multiplicación y los campos usados para multiplicación resultan contaminados. En los casos de una variedad nueva y valiosa, es necesario limpiar las existencias de semillas básicas a fin de evitar

críticas y/o satisfacer reclamos contra las existencias de semillas elite. En un caso, la limpieza fue hecha seleccionando en un campo cuatro áreas uniformes de 0,1 hectárea cada una y aplicando un estricto criterio de remoción de todas las plantas sospechosas mucho antes de la madurez. Las panojas fueron cosechadas a mano y posteriormente se descartaron las panojas sospechosas. Las panojas fueron trilladas en una pequeña trilladora que había sido previamente limpiada y desempolvada con una aspiradora e inspeccionada cuidadosamente. Dos muestras de 0,5 kg de las semillas limpias de cada parcela fueron descascaradas, se aspiró para remover las cáscaras y se controlaron bajo lupa para buscar pericarpios rojos o de color sospechoso. Las semillas sospechosas fueron sometidas a tratamiento con KOH para determinar el arroz rojo. Las semillas de las parcelas que no tenían evidencia de arroz maleza y arroz rojo fueron combinadas en un grupo, tratadas con fungicida y sembradas en un área que estaba a más de 100 km del arrozal más cercano y que nunca había sido sembrada con arroz. Las semillas se sembraron en surcos a baja densidad de modo de maximizar su multiplicación. Se realizaron numerosas inspecciones en el cultivo; las plantas retrasadas y aún las ligeramente fuera de tipo fueron eliminadas. Las semillas fueron cosechadas con máquinas limpias que nunca habían sido usadas para cosechar arroz, secadas y limpiadas. Las pruebas en varias muestras de un kilo no revelaron ninguna semilla de arroz maleza o arroz rojo. El lote de semillas fue certificado como libre de semillas de arroz maleza y multiplicado tan rápidamente como fue posible. Estos procedimientos laboriosos y que insumen bastante tiempo demoraron una amplia distribución de semillas de

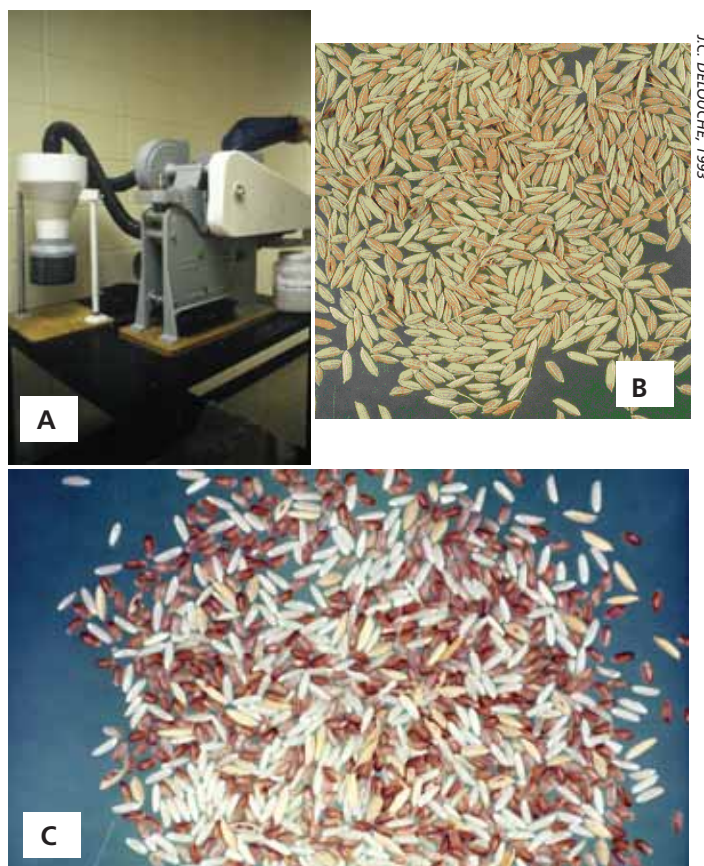
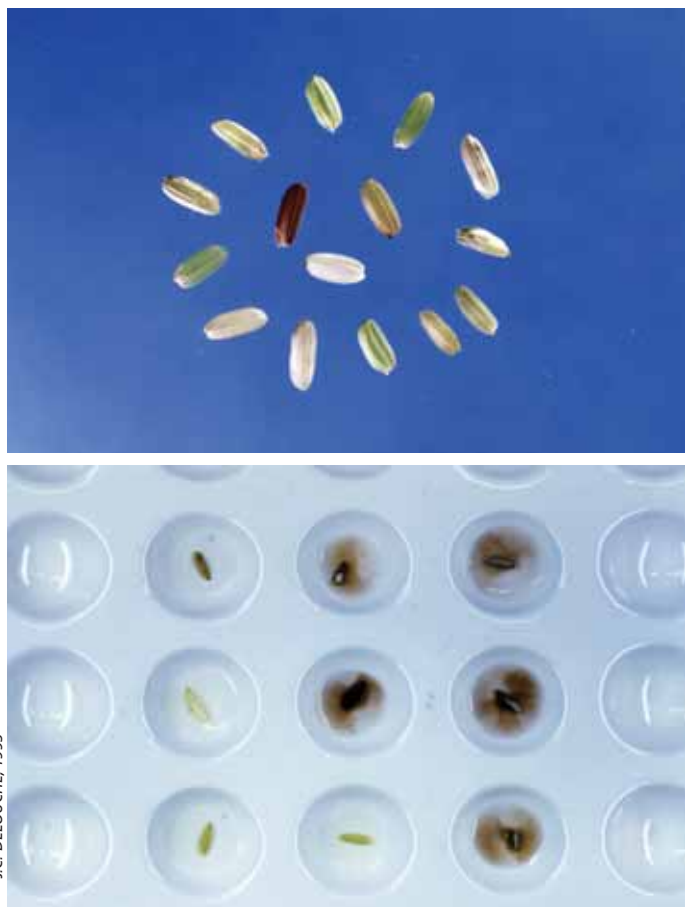


Lámina 17

A) pequeña descascaradora de arroz usada en los laboratorios de semillas para examinar las muestras e investigar la presencia de arroz rojo. B) muestra de semillas con cáscara. C) muestra de semillas sin cáscara.



J.C. DELOUCHE, 1993

Lámina 18

Arriba: cariósides inmaduros (semillas) sospechados de ser arroz rojo pero sin ninguna pigmentación discernible en el pericarpio (semillas de pericarpio rojo y blanco se muestran en el centro para su comparación). Abajo: la prueba de KOH para la identificación positiva de cariósides de arroz rojo.

la codiciada variedad después de varios años pero volvieron a dar credibilidad a las semillas básicas y, más importante, previnieron futuras quejas y reclamos por daños.

Limpieza de lotes de semilla contaminados

La mayoría de los arroces rojos producen granos medios que son más anchos y algo más gruesos que los granos largos y finos de las variedades de grano largo. Estas diferencias en dimensiones físicas de las semillas han sido aprovechadas por los productores de arroz para remover las semillas del arroz rojo de los lotes de semilla contaminados limpiando los lotes de semillas con separadores especiales. Estos separadores por ancho de la semilla remueven una gran parte de las semillas de arroz rojo en los lotes de arroz de grano largo pero nunca remueven todo el arroz rojo. Pruebas hechas en *Mississippi State University* indicaron que 98 – 99 por ciento de las semillas de un grano típico medio *SHR* podían ser removidas de los lotes de semillas de grano largo de la variedad *Starbonnet* con una pérdida en el procesamiento

de cerca de 23 por ciento de semillas, pero la separación no fue efectiva para lotes de semillas de variedades de grano medio (Veras, 1984; Delouche, 1988). La limpieza de los lotes de semillas contaminados por medios mecánicos o por separación óptica no deberían ser la primera opción para los productores de semillas certificadas en razón de la alta probabilidad que algunas semillas de arroz rojo permanecerán con las semillas de la variedad cultivada. Sin embargo, la opción de limpieza de las semillas ha sido usada efectivamente para reducir la cantidad de semillas de arroz rojo en los lotes de semilla para la siembra si la semilla certificada no está disponible o por otras razones. En efecto, la remoción de las semillas de arroz rojo en la operación de procesamiento de semillas forma parte de la táctica de la estrategia del agotamiento: alguna de las semillas de arroz rojo que hubieran sido sembradas han sido eliminadas de la potencial población de arroz rojo. Sin embargo, Vidotto y Ferrero (2005) enfatizaron que unos pocos contaminantes de arroz maleza en las semillas para la siembra tienen una influencia negligible en la dinámica de la población del arroz maleza cuando son sembradas en tierras infestadas, pero pueden conducir a severas infestaciones en unos pocos años si se siembran en campos limpios.

La limpieza mecánica de los lotes de semillas no es posible en los casos en que los arroces rojos son del tipo de grano largo o la variedad sembrada es de grano medio.

Otras fuentes de infestación

Las semillas contaminadas no son la única fuente y forma de difusión de las semillas del arroz maleza dentro de una finca arrocera y de una finca a otra. Otras fuentes comunes de infestaciones con arrozces maleza son:

- la maquinaria, especialmente aquella usada en la cosecha, incluyendo carros, tractores y otros vehículos (Quereau, 1920; Huey y Baldwin, 1978; Smith, 1992);
- el barro adherido a las ruedas y neumáticos;
- los animales;
- la nivelación y el movimiento del suelo;
- la labranza (De Souza, 1989; García de la Osa y Rivero, 1999);
- el flujo del agua de riego (Manning, 1998).

Opciones para el pequeño agricultor

La compra de semillas certificadas de un vendedor confiable es la mejor forma de evitar infestaciones o reinfestaciones en los arrozales. Sin embargo, en algunos países, no es posible el abastecimiento de semillas limpias o los pequeños agricultores desean continuar con variedades que no están incluidas en los sistemas de producción de semillas o no cuentan con los recursos para adquirir los insumos necesarios como las semillas. En tales casos, existen dos opciones disponibles para los agricultores:

- eliminar en el arrozal todas las plantas de arroz rojo y conservar la semilla de la mejor área del mismo;
- obtener semillas de la variedad deseada de un vecino que tenga un campo excepcionalmente limpio, después de hacer una atenta observación e inspección.

AGOTAMIENTO DE LAS SEMILLAS DE ARROZ MALEZA DEL BANCO DE SEMILLAS DEL SUELO

La estrategia del agotamiento del banco de semillas del suelo involucra decisiones de manejo respecto a los sistemas de cultivo y emplea varias prácticas y tratamientos culturales, mecánicos y químicos. Las decisiones de manejo están relacionadas con la secuencia de la intensidad de cultivo, o sea, monocultura de arroz, doble cultivo, alternancia o rotación de cultivos, varios años de barbecho. En esta sección se enfatizan las prácticas y los tratamientos y su manejo durante el intervalo entre dos cultivos de arroz. Este intervalo puede variar entre pocos meses hasta varios años de barbecho en el caso de infestaciones severas. La rotación de cultivos es considerada en otra sección. Vidotto y Ferrero han desarrollado y probado un modelo de la dinámica de la población de las semillas de arrozces maleza y de sus infestaciones como una ayuda para seleccionar y manejar medidas de control. El modelo se enfoca en la dinámica del banco de semillas del suelo respecto a los aportes al banco y medidas para agotar el abastecimiento de semillas. Algunas de las medidas más importantes del modelo para el agotamiento de las semillas en el banco se incluyen a continuación.

La primera decisión después de la cosecha debería ser evitar la labranza profunda y limitarse a trabajos superficiales. La razón de esta operación es evitar enterrar las semillas de arroz maleza en el banco de semillas del suelo donde tienen una larga vida (Goss y Brown, 1939, 1940; Dishman, 1978; Do Lago, 1982; Teekachunhatean, 1985; Fischer, 1999). La primera etapa debería ser la destrucción de los rastrojos para prevenir el rebrote del arroz -blanco o rojo- si hubiera una oportunidad para su reproducción antes de la llegada del frío o de la estación seca (Sonnier, 1978). Después el campo debería ser manejado en forma de causar el mayor agotamiento posible de las semillas de arroz maleza sobre o dentro del suelo a la profundidad de emergencia.

Falsa cama de semillas

Una opción generalmente aceptada es la falsa cama de semillas (Baker, 1974). En esencia, la falsa cama de semillas (frecuentemente llamada en Europa, falsa siembra) es una que no ha recibido labranza preparatoria antes de la siembra (Heatherly, 1999). En el caso de la soya y de cultivos similares podría o no haber una o más operaciones de labranza hasta 30 días antes de la siembra. Sin embargo, en el caso del arroz, se hace muy poco antes de la siembra excepto el pasaje de un rodillo para enterrar la paja después de la cosecha y mantener el campo húmedo o con una corriente de agua una vez o más de modo de estimular la germinación y/o la descomposición de las semillas (Huey y Baldwin, 1978). El hecho de dejar el campo casi indisturbado permite la depredación de las semillas por las aves y los roedores del campo. Algunos agricultores en la zona arrocería de Louisiana favorecen la detención de las migraciones de patos salvajes y gansos, manteniendo una razonable inundación de la tierra o gracias a las lluvias, a fin de que se alimenten de las semillas caídas de arroz cultivado y de arroz rojo (Fontenot, 1973). Smith y Sullivan (1980) llevaron a cabo ensayos en Arkansas para determinar la efectividad de la alimentación invernal de los patos y gansos para el agotamiento de la población de semillas de arroz rojo en campos infestados y encontraron que estos consumen grandes cantidades de semillas de arroz rojo; recomendaron que los agricultores atrajeran estos animales manteniendo inundados los campos infestados, después de la cosecha hasta fines del invierno.

La falsa cama de semilla pierde todo tipo de vegetación verde, incluyendo las plántulas y plantas de arroz maleza antes de la siembra aplicando un herbicida sistémico no selectivo tal como glifosato, un herbicida de contacto y/o de corto poder residual o con una labranza muy liviana pero cuidadosa (Sonnier 1978; Smith, 1992; Ferrero *et al.*, 1999; Fischer, 1999; Martínez, 1999; FAO, 2003). Después de esto las semillas son sembradas en líneas o al voleo en una cama de semillas seca, húmeda o inundada, dependiendo del tipo de manejo de agua utilizado (Sonnier, 1978).

Labranza mínima o labranza cero

La labranza mínima puede ser aplicada en el sistema de falsa cama de semillas. No parece tener mayores diferencias con ese sistema excepto que en aquel no hay preparación mecánica por al menos 30 días antes de la siembra, o sea, la cama de semillas no tiene «una preparación fresca». El sistema de labranza cero significa que no hay ninguna labranza durante el período posterior a la cosecha y anterior a la siembra –la vegetación muere a causa de los herbicidas y las semillas son sembradas en líneas o al voleo en el rastreo. En algunas áreas, la labranza mínima se aplica a los campos de arroz varias veces durante el período posterior a la cosecha y en el período de presembrado de modo de destruir las tandas de plántulas de arroz maleza después de las lluvias o promovidas por el riego (Sonnier, 1978; Martínez, 1999; Barreda *et al.*, 1999; Ferrero *et al.*, 1999). La labranza puede ser hecha inmediatamente antes de la siembra. Sin embargo, esto no es recomendable porque algunas semillas de arroz maleza germinan y emergen junto con el arroz cultivado. La labranza cero muy comúnmente se combina con algún grado de siembra en el agua, ya sea en líneas o al voleo, en tierras inundadas o sembrando en la misma forma siguiendo con unos días de inundación.

Barbecho

El barbecho es más bien una labranza profunda durante el período vacío entre dos cultivos para traer a la superficie semillas enterradas de malezas y del cultivo (en el caso del cambio de variedades a la profundidad de emergencia), estimular la germinación de las semillas de malezas y destruir todas las plantas que emergen durante el período de

barbecho. El barbecho es uno de los métodos más antiguos usados para el control de las malezas. Los agricultores se ven obligados a aplicar este método en virtud de que la infestación con malezas hace que la producción sea antieconómica o imposible. Sonnier (1978) hizo gran parte de la investigación sobre el barbecho en los Estados Unidos de América y estableció, con algunas reservas, que es un método efectivo. Encontró que el barbecho solo entre los períodos de los cultivos no tenía efecto en el grado de infestación de arroz rojo y de hecho incrementó el problema al enterrar las semillas de arroz rojo, o sea sembrándolas, tal como es discutido por Dishman (1978). El barbecho tuvo que ser continuado por un período de dos o tres años de modo de agotar en forma significativa el banco de semillas del suelo y reducir la población de arroz rojo en el siguiente cultivo de arroz después del barbecho. El mantenimiento de los campos sin uso por largos períodos frecuentemente no es una solución viable excepto cuando no existen otras alternativas. La solución más económica y preferida actualmente es el barbecho después del cultivo del arroz durante todo el invierno y entonces rotar la producción a otros cultivos que ofrecen oportunidades para la destrucción de las plantas de arroz rojo que han emergido, por medio de herbicidas selectivos y labranza mientras se obtienen ingresos del cultivo alternativo. Técnicamente, la rotación con otro cultivo no es considerado barbecho pero cumple algunas funciones similares, especialmente, el agotamiento del banco de semillas del suelo. Las rotaciones para el control de los arrozces maleza se discuten más adelante.

Quema del rastrojo

Sonnier (1978) señaló que la quema del rastrojo y la paja del arroz fueron en una época una práctica muy común en Louisiana ya que los agricultores creían que destruía el arroz rojo. Sin embargo, esta práctica fue abandonada a causa del problema de la contaminación atmosférica con humo y el reconocimiento que la valiosa materia orgánica era destruida, pero sobre todo porque no era muy efectiva excepto en los casos en que la paja era muy abundante. También citó la «invención» de un quemador diseñado para dirigir una llama intensa sobre la superficie del suelo. Este invento fue prontamente abandonado debido a que el mismo equipo se quemaba y al alto consumo de combustible.

Otros enfoques

Se han investigado otros métodos para favorecer el agotamiento de las semillas de arroz maleza y de arroz rojo del banco de semillas del suelo. Eastin (1978) discutió los esfuerzos hechos para encontrar alguna forma de liberar la latencia e inducir la germinación de las semillas de arroz rojo de modo que pudieran ser destruidas por medios químicos o mecánicos durante el intervalo entre dos cultivos de arroz. Numerosos compuestos químicos fueron evaluados en experimentos de laboratorio, incluyendo giberelina, ethephon, ácido indol-3-acético, quinetina y peróxido de hidrógeno, pero ninguno de ellos fue realmente efectivo. Basado en anteriores estudios en la Mississippi State University (Delouche y Nguyen, 1964; Larinde, 1979; Do Lago, 1982; Teekachunhatean, 1985) se sembraron semillas muy latentes (germinación ≤ 5 por ciento) de la variedad *Nato* y de tres tipos de arroz rojo a una profundidad de 2,5 cm, se humedecieron con iguales cantidades de agua y soluciones de etileno clorhidrina e hipoclorito de sodio y se contaron las plántulas emergentes después de 14 días. El tratamiento con agua no tuvo efecto sobre la emergencia pero emergieron de 35 a 86 por ciento de las semillas humedecidas con 0,25 por ciento de etileno clorhidrina y 0,50 por ciento de hipoclorito de sodio, siendo este último tratamiento el que más estimuló la emergencia. García Quiroga (1987) continuó los estudios de humedecimiento y encontró que el etileno clorhidrina era generalmente más efectivo que el hipoclorito

de sodio para estimular la emergencia de un ecotipo *SHR* y de otro *BHR* pero que la efectividad de ambos tratamientos variaba ampliamente entre parcelas y tiempo de tratamiento. Tales tratamientos deberían ser cuidadosamente seleccionados en sus efectos sobre la contaminación ambiental residual.

SUPRESIÓN DE LA GERMINACIÓN DEL ARROZ MALEZA (MANEJO DEL AGUA Y COMPUESTOS QUÍMICOS)

La supresión de la germinación y la emergencia de los arroces maleza, incluyendo los arroces rojos y otras malezas por medio de la anoxia en los suelos húmedos e inundados ha sido aplicada durante milenios en el cultivo de arroz por trasplante. Sin embargo, el manejo del agua y las prácticas de siembra para producir la anoxia en el arroz de siembra directa e irrigado se han desarrollado sólo durante el siglo pasado. Smith (1972) ejecutó estudios de invernadero respecto al efecto de sumergir en agua las semillas sobre la germinación y la emergencia de los arroces rojos. En estos estudios, la cobertura del suelo con 1,25 – 5 cm de agua redujo en 92 por ciento la emergencia de las semillas de arroz rojo enterradas a 1 – 2,5 cm de profundidad en el suelo; en las semillas enterradas a 5 -10 cm se redujo en 100 por ciento. Otros investigadores obtuvieron resultados similares (Sonnier, 1978; Diarra, Smith y Talbert, 1985c). La aplicación más exitosa de la siembra en el agua para el control del arroz rojo y otros arroces maleza ocurrió en California, Estados Unidos de América; como consecuencia esta área se convirtió en un área de producción de semilla libre de arroz rojo por medio del uso de semillas certificadas de arroz libre de arroz rojo y la práctica de siembra en el agua (Fischer, 1999). California presentaba los requerimientos necesarios para la siembra en el agua, por ejemplo, campos nivelados, un abastecimiento confiable de agua y un clima desértico a semidesértico con pocas tormentas y fuertes lluvias en el momento de la siembra. La estrategia de la supresión de la germinación mantiene y extiende los beneficios, tanto a corto como a largo plazo, del agotamiento del banco de semillas de arroz rojo en el suelo. Esta sigue (o debe ser precedida) por prácticas como la falsa siembra, la labranza mínima, las inundaciones periódicas o la nivelación o pasaje de rodillos para estimular la germinación antes de la siembra del arroz, de los arroces maleza y otras malezas y la destrucción mecánica de toda la vegetación antes de la siembra.

Siembra en el agua o inundada

Existen varios tipos de siembra en el agua a fin de satisfacer las diferencias en la uniformidad del suelo, su nivelación y el clima. La mayoría requieren el uso de semillas pregerminadas, o sea sumergidas en agua hasta su total imbibición y retenidas un cierto tiempo para permitir el inicio de la germinación. Algunos agricultores prefieren dejar la cama de semillas con terrones, rugosa, a fin de limitar el movimiento de las semillas en la película de agua (Hill, 1978), otros la afinan y pasan rodillos, mientras que otros amasan el suelo (García de la Osa y Rivero, 1999; Domínguez, 1999). Según Sonnier (1978), los agricultores tienen tres opciones después de la siembra en el agua:

- mantener un flujo constante desde la siembra hasta el drenaje antes de la cosecha; esta es la mejor opción para la supresión de los arroces maleza pero presenta algunos riesgos: obtener una población satisfactoria de plántulas puede ser un problema en suelos con alto contenido de materia orgánica que mantienen el agua oscura y fuertes lluvias y vientos fuertes pueden causar el desplazamiento de las semillas y el arrancado de las plántulas;
- el drenaje de los campos después de la siembra y la reinundación solo cuando las plántulas están bien establecidas para soportar una inundación completa; la obtención de una buena población de plántulas no es un problema pero es

probable que esta población incluya una buena cantidad de plántulas de arrozos maleza;

- el drenaje de los campos unos pocos días después de la inundación y reinundarlos gradualmente a medida que enraizan las plántulas de arroz; esta es una opción intermedia entre las dos opciones anteriores conocida como «inundación de precisión». Si bien el agua es drenada, el suelo se mantiene húmedo de modo que la germinación y la emergencia del arroz maleza son suficientemente suprimidas para una «buena» tasa de control; se favorece el establecimiento de la población y las plántulas enraizan rápidamente resistiendo al desplazamiento y al arrancado.

Sonnier también indicó que la opción de la inundación continua proporcionó el mejor control del arroz rojo pero también advirtió a los agricultores acerca de los riesgos de tener una población pobre pasible de ser desplazada por vientos o lluvias intensos. Indicó que si bien emergen menos semillas de arroz rojo en las condiciones inundadas, las plantas son por lo general muy robustas y producen una mayor cantidad de semillas en comparación con las plantas más numerosas que producen plantas más pequeñas y relativamente pocas semillas en los sistemas de drenaje prolongado. Sonnier y otros especialistas (Hill, 1978; Huey, 1978) consideraron que por lo general el sistema de inundación de precisión es el más adecuado para los estados del sur de los Estados Unidos de América y en áreas arroceras similares.

Supresión con compuestos químicos

En el cultivo de arroz sembrado en el agua se han usado varios herbicidas a fin de causar una supresión adicional de la germinación de los arrozos maleza y de otras malezas acuáticas. El herbicida más usado es el molinate incorporado antes de la siembra o en el agua después de la siembra (Parker y Dean, 1976; Baker y Sonnier, 1982, 1983; Smith, 1981, 1992; Abud, 1986; Fischer, 1999). La aplicación de 1,8-anhídrido naftálico, un «herbicida antídoto» en el tratamiento de las semillas ha sido usado para fortalecer la tolerancia del arroz al molinate y otros herbicidas en base a tiocarbamatos (Smith, 1972; Henry y Baker, 1972). Sin embargo, la siembra en el agua y el uso de herbicidas como el molinate están cambiando la ecología del sistema de siembra directa de tal manera que están surgiendo nuevos problemas. Una creciente población de malezas se está adaptando y adquiriendo resistencia al sistema de siembra en el agua. Goforth (2004) informó que el sistema de siembra en el agua está perdiendo su efectividad y que en algunos casos los agricultores están «reconsiderando el sistema de siembra en surcos» en terrenos secos. Goforth cita a Fischer: «La siembra en el agua, con el correr del tiempo, ha seleccionado un conjunto específico de malezas que son particularmente adaptadas a este sistema anaeróbico (siembra en el agua)...y...estas malezas han desarrollado resistencia a numerosos herbicidas...biotipos resistentes de estas malezas son distribuidos en las áreas arroceras de California». Fischer también notó que nuevos herbicidas químicos no son probablemente la solución dado el alto costo de su desarrollo y el complejo proceso de registro y, más aún, que el herbicida molinate será radiado en California dentro de los próximos cinco años debido a restricciones normativas y pérdida de efectividad. Después de advertir a los agricultores sobre los riesgos potenciales del sistema de siembra en seco en lo que respecta a la aparición de nuevos problemas de malezas, Fischer concluyó: «Si bien el arroz rojo aún no se ha convertido en un problema en California en razón del amplio uso del sistema de siembra en el agua y del uso de semilla certificada, esta maleza puede encontrar condiciones favorables en un sistema continuo de siembra en seco».

Varios herbicidas «antigerminantes» han sido usados para el control de arrozos maleza en rotaciones con soja, sorgo y girasol. Sin embargo, en el cultivo del arroz se ha limitado su uso a tipos de herbicidas de muy corta vida residual. En las prácticas de

cultivo de arroz utilizadas en Europa, los herbicidas «pretilachlor» y «dimethenamid», solos o combinados, aplicados en presiembra al menos 25 días antes de la siembra del arroz han permitido un control razonable de los arroces maleza (Ferrero y Vidotto, 1999).

Cambio al sistema de transplante

El sistema de transplante de arroz es el método tradicional para suprimir la germinación y la emergencia de las malezas en los arrozales. Es siempre una opción en el caso en que los métodos de control usados en los sistemas de siembra directa fracasan para proporcionar un control económicamente viable en la producción de arroz. Esta opción es la última antes de abandonar el cultivo del arroz y está limitada a operaciones en pequeña escala manejadas a nivel familiar. De cualquier manera, ha sido adoptada en algunas regiones del África subsahariana (Johnson *et al.*, 1999), Asia (Chin *et al.*, 1999) y en el continente americano (Martínez, 1999).

DESTRUCCIÓN O REMOCIÓN DE LAS PLANTAS DE ARROZ MALEZA EN LOS ARROZALES

Las semillas de arroz maleza que germinan y emergen junto con el cultivo de arroz crecerán, se desarrollarán y producirán semillas para infestar el cultivo siguiente excepto si son removidas, muertas o se previene su reproducción. Sin embargo, las opciones disponibles para muchos arroceros para controlar los arroces maleza en el arrozal son limitadas, laboriosas y costosas. Han sido limitadas porque la mayoría de los arroces maleza son líneas de *Oryza sativa* o están estrechamente emparentadas lo cual precluye el control selectivo por medio de herbicidas como se usa en el control de otras malezas en el arroz y en otros cultivos. También tienen limitaciones generadas por la siembra al voleo y las inundaciones que impiden la aplicación periódica de métodos culturales tradicionales usados para el control de malezas en otros cultivos. Son laboriosas porque la única práctica disponible para muchos agricultores es su eliminación manual o el tratamiento con herbicidas de plantas individuales. Son costosos porque la remoción manual es cara, incluso cuando se dispone de mano de obra familiar. Sin embargo, los últimos desarrollos de una «estrategia biotecnológica» para el control de malezas en varios cultivos (incluyendo los arroces maleza en el cultivo del arroz) tienen el potencial para eliminar esencialmente esos apremios y limitaciones de los agricultores que pueden acceder y permitirse esas tecnologías. La estrategia biotecnológica se discute más adelante.

Eliminación manual de las malezas en el arrozal

La eliminación manual de las plantas espontáneas de los arroces maleza, incluyendo el arroz rojo, es una opción viable para los pequeños agricultores y productores de semillas certificadas con infestaciones relativamente escasas. La eliminación de esas plantas en los campos de producción de semillas certificadas han sido discutidas anteriormente. Las precauciones y los procedimientos descritos y discutidos son similares e igualmente aplicables a los pequeños agricultores que usan mano de obra familiar. Los puntos principales son que la eliminación de las plantas de arroz maleza debe ser hecha tan pronto como esas plantas pueden ser identificadas o, por lo menos, antes del desgrane y que las panojas deben ser cortadas y embolsadas antes de arrancar el resto de la planta para su remoción del campo.

Osborn y Faye (1991) y Chin *et al.*, (1999) informaron que en Senegal y Viet Nam, respectivamente, los pequeños agricultores aplican la práctica relativamente simple y eficaz de sembrar el arroz en surcos en lugar de hacerlo al voleo o en otros sistemas

indefinidos de siembra. Esto facilita una remoción temprana de las malezas entre los surcos del arrozal antes de la inundación o durante los períodos de drenaje, a mano o con pequeñas azadas, lo cual implica además una reducción substancial de la cantidad de semilla necesaria.

Prácticas de control mecánico y químico

Ferrero y Vidotto (1999) describen una barra de corte de una cosechadora adecuada con rodillos rotatorios en sentido inverso que se coloca en el frente del tractor y es usada para cortar y triturar las panojas de arrozces malezas que son más altas que el cultivo de arroz. Se hacen dos pases en el cultivo, el primero al inicio de la floración y el segundo 15 días más tarde. Una alternativa al corte y trituración es pasar una cuerda o mecha esponjosa embebida con un herbicida como el glifosato y frotarla sobre la parte superior de las malezas más altas (Stroud y Kemper, 1989). En Brasil, la hidrazida maleica, un regulador del crecimiento, ha sido aceptado para la supresión del arroz maleza evitando la formación de las semillas (Noldin y Cobucci, 1999; Saldain y Deambrosi, 2000). El uso de la hidrazida maleica, según trabajos anteriores de Dunant (1996), requiere que el arroz maleza sea al menos de 10 a 15 días más tardío que el cultivo del arroz. La pulverización del producto químico sobre el arroz maleza antes o en el momento de la formación de la panoja aumentó la esterilidad y redujo la viabilidad. Agostinetto *et al.*, (2002) informaron una supresión similar de las semillas de arroz maleza por medio de aplicaciones de los herbicidas glifosato, glufosinato y paraquat así como de hidrazida maleica en arrozales sembrados con variedades netamente más precoces que los arrozces maleza. Los mejores resultados fueron obtenidos cuando la floración de los arrozces maleza había llegado a las espiguillas basales en la panoja.

ALTERNANCIA DE ARROZ CON OTROS CULTIVOS U OTROS USOS DE LA TIERRA PARA CAMBIAR EL AMBIENTE

Rotación con otros cultivos en línea

Las desventajas de la monocultura y las ventajas de la rotación de cultivos respecto a las condiciones y conservación del suelo, control de plagas y enfermedades y control de malezas se conocen y practican desde hace mucho tiempo. Baldwin (1978) indicó como el empeoramiento de la situación del arroz rojo en Arkansas condujo a la decisión en 1969-1970 de enfocar la investigación sobre la rotación de cultivos a fin de llegar a su control. Los investigadores y extensionistas del estado reconocieron que el descubrimiento de herbicidas selectivos para el control del arroz rojo era casi improbable y que las prácticas culturales servían solo para retardar el incremento de las infestaciones de arroz rojo, por lo que eran necesarios sistemas más efectivos de control que el simple barbecho de varios años a fin de mantener en forma económicamente viable la producción de arroz. La soja era el segundo cultivo en importancia en las grandes llanuras arroceras de Arkansas y comenzó a ser rotada con arroz por algunos agricultores. Por lo tanto, las investigaciones enfocaron su atención en las rotaciones con soja y, para añadir otras opciones, con sorgo. Prontamente se pudo determinar que una rotación arroz/soja no podría controlar satisfactoriamente el arroz rojo, excepto en el caso de campos ligeramente infestados. Por lo tanto, una rotación de dos años consecutivos sin arroz en un período de tres años se consideró el mínimo necesario.

La rotación del arroz con soja, sorgo granífero, girasol, maíz y otras leguminosas de grano tenía varias ventajas importantes. La siembra y los sistemas culturales proporcionan condiciones ideales para la germinación del arroz rojo y la oportunidad para agotar seriamente el banco de semillas de arroz rojo del suelo, usando un conjunto completo de herbicidas de presembrado incorporados, herbicidas de posemergencia y herbicidas foliares para el control de las malezas en los cultivos alternativos.

Recientemente, la introducción de variedades resistentes a los herbicidas de algunos de los cultivos de la rotación permiten el uso de herbicidas de amplio espectro. Los equipos y otras facilidades, por ejemplo, las tolvas de almacenamiento y los secadores usados para el arroz, también pueden ser usados para otros granos con modificaciones mínimas. El éxito de la rotación para el control de los arroces maleza, incluyendo el arroz rojo, depende de cuan bien son controladas las malezas en el cultivo alternativo en general y a la atención que se presta específicamente a la prevención de la producción de semillas por parte de las plantas de arroz rojo que emergen tardíamente o que rebrotan de plantas cortadas. La rotación de arroz con soja, sorgo u otro cultivo adecuado es actualmente la práctica más exitosa para el control de los arroces maleza, especialmente en el caso de infestaciones severas (Fischer, 1999; FAO, 2003). Más aún, la rotación se está convirtiendo en un componente fundamental de los programas de control de malezas en el arroz en la nueva era del arroz resistente a los herbicidas, como un elemento táctico esencial en las estrategias para reducir o prevenir el desarrollo de arroces maleza resistente a los herbicidas.

Las principales limitaciones en el sistema de control de las rotaciones son la disponibilidad de un cultivo adecuado, el drenaje de los campos de arroz (un mal drenaje previene el uso de muchos cultivos sembrados en línea) y la necesidad de arroz para su consumo en la finca como es el caso de la agricultura de subsistencia.

Rotaciones con cultivos para abono verde y pasturas

En algunos países la producción de arroz se alterna con cultivos para abono verde como *Crotalaria* sp. en Colombia (Carroza, 1999) y *Sesbania* sp. en Cuba (García de la Osa y Rivero, 1999). Más aún, durante mucho tiempo se ha rotado con pasturas y ganado o producción de heno. Sonnier (1978) indicó que las rotaciones prevalentes en Louisiana -antes de que la soja se convirtiera en un cultivo importante en esa área- incluían las pasturas mejoradas o naturales. El mismo autor discute algunas percepciones de los agricultores y los hallazgos de su estación experimental sobre las ventajas y limitaciones de las rotaciones. Las plantas de arroz rojo rápidamente aparecen como formas espontáneas en la fase de la rotación que incluye las pasturas y algunas alcanzan su madurez a pesar de la presión del pastoreo. Muchos agricultores entienden que uno o dos cortes agregados a la presión del pastoreo destruyeron la mayoría de las plantas de arroz rojo emergidas y también previnieron la producción de semillas. Sin embargo, en las pasturas, las plantas de arroz rojo cortadas a 5 cm de altura volvieron a crecer hasta 30 cm en 21 días y las panojas estaban emergiendo de las vainas. Las plantas de arroz rojo cortadas a 10 cm volvieron a crecer a 35 cm de altura en 21 días formando panojas que estaban bien desarrolladas a los 28 días y las semillas estaban casi a punto de desgranar. Dado el rápido rebrote y formación de la panoja de los arroces rojos en las pasturas, Sonnier recomendó que las pasturas fueran pastoreadas y cortadas a una altura de 7,5 cm o menos, por lo menos dos veces durante la estación cálida adecuada al arroz, a intervalos de 28 días o menores.

De Souza (1989) describió una rotación entre arroz y pasturas mejoradas en el sur del Brasil que fue exitosa para controlar el arroz rojo y produjo un ingreso adicional. Después de la cosecha del arroz, se establecieron pasturas anuales de *Lolium multiflorum*, fueron pastoreadas durante el invierno y eliminadas con un herbicida no selectivo antes de la siembra del arroz. Al inicio de la década de 1980, en Uruguay se estableció un modelo de sistema de rotación de dos años de arroz y tres o cuatro años de pasturas y ganado. Este sistema condujo al control del arroz rojo y permitió el desarrollo del programa de exportación de arroz de superior calidad del Uruguay (Capítulo 8).

ESTRATEGIAS BIOTECNOLÓGICAS – VARIETADES RESISTENTES A LOS HERBICIDAS

Mucho antes de la liberación de la primera variedad de arroz resistente a los herbicidas en el año 2002 se habían hecho esfuerzos para identificar un sistema *herbicida/variedad resistente al herbicida* que permitiera un control fácil, simple y más efectivo de los arrozos maleza, incluyendo el arroz rojo, en los cultivos de arroz. Se identificaron algunas líneas y variedades que eran mejores competidores y algunas exhibieron tolerancia a los herbicidas (Baker y Bourgeois, 1978; Wirjahardja y Parker, 1978; Wirjahardja y Susilo, 1979; Richard y Baker, 1979). Sin embargo, la búsqueda de fuentes de resistencia a los herbicidas no fue exitosa. La situación cambió con el rápido progreso en el desarrollo de cultivos como la soja, el algodón, el maíz y otros, resistentes a los herbicidas y a los insectos. Las investigaciones de varias universidades y de compañías biotecnológicas comenzaron o aceleraron los trabajos de desarrollo de variedades de arroz resistentes a los herbicidas que pudieran permitir el control de los arrozos maleza y a un creciente número de especies de malezas del arroz resistentes a los herbicidas con un solo herbicida poderoso, no selectivo y respetuoso del ambiente –tal como era el objetivo en la búsqueda de variedades resistentes de otras especies. A mediados de la década de 1980 se había ya obtenido un considerable avance en el desarrollo de líneas de arroz resistentes o tolerantes a los herbicidas IMI, principalmente por una selección masiva en cultivos de tejidos (Croughan *et al.*, 1984; Croughan, Pizzolatto y Trump, 1986; Croughan, 1994). Más adelante, la resistencia al glufosinato fue transferida a líneas de arroz por medio de la ingeniería genética (Linscombe *et al.*, 1994; Rathore, Rao y Hodges, 1994).

Al margen de consideraciones técnicas, había dos razones principales que justificaban el retraso de la estrategia de resistencia a los herbicidas para el control de las malezas en el arroz, en contraste con los progresos hechos en soja, maíz y algodón. En primer lugar, el arroz es un cultivo secundario en la mayoría de los países que cuentan con investigación agrícola y con una industria agroquímica avanzadas y en los que, en general, se usa la siembra directa del arroz. En segundo lugar, hubo y hay considerable aprensión que el gen (o los genes) de resistencia pudieran inserirse en los arrozos maleza, incluyendo el arroz rojo, que se cruzan con el arroz cultivado, produciendo así poblaciones de arroz maleza resistentes a los herbicidas. Sin embargo, a fines de la década de 1990, fueron desarrolladas variedades de arroz resistentes a herbicidas de amplio espectro como el glufosinato, IMI, glifosato y probablemente otros. En el año 2001-2002 las variedades resistentes a IMI (conocidas como arroz IMI) fueron introducidas en el área arrocera del sur de los Estados Unidos de América bajo el nombre comercial de *Clearfield*. Las variedades *Clearfield* no fueron modificadas genéticamente por la inserción de genes extraños sino que son mutantes seleccionados y desarrollados como variedades siguiendo los métodos clásicos de fitomejoramiento. Las semillas de las variedades *Clearfield* son comercializadas en un paquete con el herbicida Newpath® (imazethaphyr). En el año 2005 las variedades *Clearfield* cubrían cerca del 27 por ciento del área cultivada con arroz de grano en Arkansas, el estado líder de producción de arroz en los Estados Unidos de América (Horizon Ag, LLC, 2005). Los agricultores, en general, han obtenido resultados satisfactorios con las variedades *Clearfield* tanto en el control de malezas como en la producción, especialmente después de algunos años del proceso de aprendizaje y de la liberación de las variedades mejoradas *Clearfield* (Bennet, 2005). El área sembrada con variedades de arroz resistentes a los herbicidas en los Estados Unidos de América y en otros países probablemente continuará a incrementarse así como también las variedades de otros cultivos resistentes a los herbicidas.

En el año 2005, la revista sobre comercio de arroz *Rice Farming* bajo el título «*Red Flag Warning*» (Boyd, 2005) señaló el primer caso de un cruzamiento de un cultivo comercial de arroz *Clearfield* con arroz rojo en los cultivos del año 2004 en Arkansas. El campo en el que fue identificado el híbrido había sido sembrado durante dos años consecutivos la variedad *Clearfield* en «violación» del *Clearfield Stewardship Agreement*. Este acuerdo indica claramente, entre otras cosas, que: «un cultivo de arroz *Clearfield* no debería ser seguido por otro cultivo de arroz *Clearfield* o por un cultivo con una variedad convencional de arroz; el cultivo en rotación, por ejemplo soja, debería ser tratado con herbicidas que tienen diferentes formas de acción del Newpath®; y que los escapes de arroz rojo en los arrozales y en campos adyacentes deberían ser cuidadosamente removidos a mano y eliminados del área». Si bien el descubrimiento de un arroz rojo resistente a los herbicidas fue un llamado de atención, no fue sorprendente. Olofsdotter, Valverde y Madsen (1999) habían presentado una revisión y análisis cuidadosos sobre el arroz resistente a los herbicidas en el Taller Global sobre Control de Arroz Rojo (FAO, 1999), mientras que un año más tarde, en el Tercer Congreso de Ciencias de las Malezas, Valverde (2000) había señalado que en todo el mundo ya se habían encontrado 19 especies de arroz maleza en el arroz que habían desarrollado resistencia a los herbicidas y recomendó que las variedades de arroz resistentes a herbicidas fueran usadas racionalmente y manejadas en forma segura en programas de manejo integrado de malezas (Gealy, 2005; Valverde, 2005). Más aún, investigadores de varias universidades y del USDA, especialmente en Arkansas, encontraron que había fecundación cruzada entre arroz *Clearfield* (IMI) y arroz rojo de cáscara color pajizo con una floración casi sincrónica (Moore *et al.*, 2001; Estorninos *et al.*, 2001); la tasa de cruzamiento fue estimada en 0,012 por ciento, así como también entre variedades de arroz resistentes al glufosinato y varios ecotipos de arroz rojo (Wheeler y TeBeest, 2001). Los representantes de las compañías, los extensionistas y diversos consultores han desarrollado y están desarrollando métodos que permitan una rápida y segura identificación de los híbridos entre arroz y arroz rojo, especialmente de los híbridos entre arroz resistente a los herbicidas y arroz rojo, para ser usados en un estricto seguimiento de estos casos (Rajguru *et al.*, 2001; Gealy y Estorninos, 2004a, 2004b; Gealy, Mitten y Rutger, 2003; Estorninos, Gealy y Burgos, 2004). Los problemas de los cruzamientos de arroz rojo con arroz cultivado, incluyendo las variedades resistentes a los herbicidas, han sido discutidos en detalle en el Capítulo 3 y revisados cuidadosamente por Gealy (2005).

Estos casos recientes sobre el arroz resistente a los herbicidas señalan la importancia de respetar los acuerdos y otras instrucciones que se han convertido en una parte esencial, incluso legal, de las compras de variedades con derechos de propiedad, tanto transgénicas como no transgénicas. Los términos de los acuerdos y las instrucciones han sido determinados por el propietario de la tecnología, investigadores públicos, extensionistas y agricultores progresistas. Estos parámetros son diseñados y tienen la intención de proteger los derechos del propietario y, muy importante, proteger y apoyar la integridad de la tecnología para su uso por los agricultores que la desean usar. En cualquier cultivo existen riesgos respecto al uso de variedades resistentes a los herbicidas o a los insectos. Los problemas relacionados con las variedades de arroz resistentes a herbicidas han sido revisados por Olofsdotter, Valverde y Madsen (1999) y, más recientemente, por Gealy (2005). Sin embargo, entre los investigadores, los especialistas y los agricultores usuarios existe la convicción de que los riesgos pueden ser manejados de tal modo de proteger la tecnología y preservar los beneficios más importantes para los productores, el abastecimiento de alimentos y el ambiente. Sin embargo, se reconoce generalmente que el costo, la complejidad y los derechos de propiedad asociados a la mayoría de los productos biotecnológicos tales como los arroces resistentes a los herbicidas limitarán el acceso, por lo menos en las etapas

iniciales, de las poderosas tecnologías a las operaciones comerciales mecanizadas de producción de arroz en gran escala y efectivamente excluirán a la mayor parte de los pequeños agricultores de bajos insumos y de escasos recursos.

REQUISITOS PARA PROGRAMAS EFECTIVOS DE CONTROL DEL ARROZ MALEZA

El desarrollo de un sistema para producir semillas de arroz de buena calidad libres de arroz maleza y la disponibilidad de insumos de semillas limpias son las primeras etapas esenciales para la ejecución de programas de control de los arrozos maleza, incluyendo el arroz rojo. Sin embargo, esos mejoramientos serán limitados excepto cuando todos los participantes en la industria arrocera estén persuadidos que es posible realizar ese control, que es necesario, que las medidas de control deben ser integradas y totales y que los beneficios exceden el costo. Obtener la atención de los interesados, especialmente de los productores, es difícil o imposible en las áreas en que el arroz es un cultivo de subsistencia y/o solamente un cultivo de oportunidad comercial, los rendimientos de los cultivos son solo ligeramente afectados y no existe una penalización comercial de los granos de los arrozos maleza, especialmente de los arrozos de pericarpio rojo. Poco puede ser hecho en esos casos. Sin embargo, tales áreas están disminuyendo ya que los mercados urbanos, e incluso los rurales, en países en desarrollo como Senegal, están siendo cada vez más selectivos respecto a la calidad, como indica Diallo (1999).

La aceptación por parte de la mayoría de los interesados de que el problema del arroz maleza es importante y que es necesario tomar acción, no contribuye en forma decisiva a mejorar la situación. Es necesario una campaña concebida en términos imaginativos, total, llevada a cabo con energía y en forma continuada, que involucre a todos los interesados. Esta campaña debe estar basada en medidas prácticas y factibles y tener objetivos alcanzables. Los requisitos críticos para una campaña exitosa son el compromiso, la coordinación y su amplitud. El Capítulo 8 presenta algunos ejemplos de programas y campañas exitosas de control de arroz maleza.

Capítulo 8

Ejemplos de campañas de control de arroz maleza

En este Capítulo se presentan ejemplos de campañas de control de arroz maleza en varios países de tres regiones geográficas, a saber:

- América del Sur: Uruguay
- América Central y el Caribe: Colombia, Costa Rica, Cuba, Nicaragua, Panamá y Venezuela
- América del Norte: Estados Unidos de América

AMÉRICA DEL SUR – COMBATE Y CONTROL DEL ARROZ ROJO EN URUGUAY

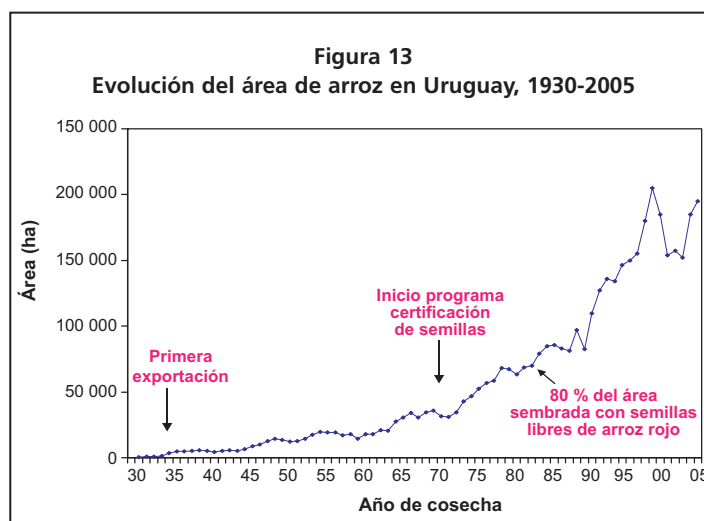
En este estudio de caso se analizan y discuten los principales factores que permitieron que Uruguay llegara al control del arroz rojo y mantenga actualmente ese nivel con un impacto mínimo sobre los rendimientos y la calidad del grano.

Antecedentes

El arroz se comenzó a sembrar en Uruguay alrededor del año 1920 en la zona norte del país. En la década de 1930 comenzó la producción en grandes fincas en la zona este en la cuenca de la Laguna Merín donde el cultivo ha tenido su mayor desarrollo hasta la actualidad. Estas actividades de producción de arroz fueron iniciadas por agricultores y empresas nacionales en base a conocimientos, tecnología y variedades introducidas principalmente de Brasil e Italia. Hoy día Uruguay tiene cerca de 200 000 hectáreas cultivadas con arroz bajo sistemas mecanizados altamente tecnificados (Figura 13).

Si bien no está debidamente documentado, se asume que el arroz rojo fue introducido como contaminante de las semillas de arroz importadas por los primeros productores de arroz. En 1972, a fin de desarrollar un programa de certificación de semillas de arroz, se llevó a cabo una encuesta sobre las variedades usadas por los agricultores y se recolectaron y analizaron muestras de semillas (Jorge, 1972).

En 1972 se sembraron alrededor de 26 800 hectáreas de arroz, 70 por ciento de las cuales con variedades de arroz de grano largo y el resto con variedades de grano medio o corto. En ese momento no existía un programa de semillas organizado y solamente el 70 por ciento de la semilla disponible había sido sometida a algún tipo de procesamiento o limpieza. El resto era semilla conservada por los agricultores.



Fuente: Zorrilla, 1998

Las muestras de semillas recolectadas revelaron que 38 por ciento de los lotes de semillas que se sembraban estaban contaminados con arroz rojo. De esos lotes contaminados, 90 por ciento eran sembrados por pequeños agricultores y 10 por ciento por grandes productores que estaban iniciando en esos momentos el desarrollo de un programa de semillas. Los lotes de semillas de las variedades de grano medio y corto tenían los más altos grados de contaminación de arroz rojo (cerca de 400 semillas de arroz rojo por kilo de semilla de arroz). Los resultados de la encuesta llevada a cabo en 1972 indicaron que el arroz rojo estaba presente en casi todas las áreas de cultivo del arroz, lo que fue corroborado posteriormente por agrónomos especializados.

Elementos básicos para combatir y controlar el arroz rojo

Desarrollo de un sector exportador de arroz

Desde 1935 en Uruguay el balance de la producción de arroz es positivo, con un importante volumen de grano disponible para la exportación. Durante muchos años esas exportaciones fueron ocasionales y complementarias al abastecimiento interno de arroz. Sin embargo, a mediados de la década de 1960 se introdujeron algunos cambios en el sector arrocero que dieron lugar a una campaña exitosa para combatir el arroz rojo.

En 1965, algunos grandes productores de arroz involucrados en la exportación introdujeron desde los Estados Unidos de América la variedad *Bluebelle*. Esta variedad se adaptó a las condiciones locales y tuvo una participación fundamental en el incremento de las exportaciones de arroz. En las décadas de 1970 y 1980 más del 80 por ciento de la producción nacional de arroz era de esta variedad permitiendo que los productores uruguayos de arroz entraran en los mercados internacionales con un producto de calidad superior. El sector arrocero se convirtió así en un protagonista importante de las exportaciones del país: más del 90 de la producción es exportada colocando al Uruguay en el séptimo lugar entre los exportadores mundiales de arroz.

La necesidad de sobrevivir y desarrollarse en un mercado mundial del arroz distorsionado por subsidios y numerosas barreras comerciales requirió una serie de transformaciones del sector arrocero a fin de obtener y mantener una posición competitiva. Se puso énfasis en los desarrollos tecnológicos para llegar a altos rendimientos, mayor eficiencia en el uso de los recursos y mayor calidad y uniformidad del producto final.

En este programa emergente de producción de arroz se reconoció rápidamente que la falta de pureza varietal y de la contaminación con arroz rojo afectaban no solo los rendimientos de la producción de arroz sino también la calidad del producto final. Por lo tanto, el desarrollo de un sistema de abastecimiento de semillas para asegurar la pureza varietal y la calidad de las semillas libres de contaminantes fue considerado de primera prioridad. Este abastecimiento de semillas y el enfoque sobre la calidad de las semillas para apoyar el desarrollo de la industria arrocera son fundamentales para comprender y apreciar los éxitos obtenidos en el combate y el control del arroz rojo.

El sistema nacional de semillas como un elemento básico

La Estación Experimental del Este fue creada en 1970 por el Ministerio de Ganadería y Agricultura con el objetivo de generar y adaptar tecnología para la producción de arroz. Entre sus prioridades estaban el desarrollo de un programa nacional de fitomejoramiento de arroz, la iniciación de un esquema de certificación de semillas de arroz y el manejo y el mejoramiento del suelo y el cultivo.

El programa de producción de semilla certificada de arroz tuvo un papel de liderazgo en el combate del arroz rojo. Desde el principio recibió un fuerte apoyo del

sector privado y en pocos años casi toda el área arrocerera del país fue sembrada con semillas de arroz libres de arroz rojo.

En el Uruguay se reconocen varias categorías de semillas: fundación, registrada y certificada, con control genealógico en todas sus etapas por parte del Instituto Nacional de Semillas (INASE) el cual entrega las etiquetas de las bolsas de semilla. Además se reconoce una categoría comercial de semillas que no requieren control genealógico pero deben satisfacer todas las otras normas similares a las de las semillas certificadas. Esta categoría es garantizada por el productor de semillas y es controlada en el mercado por el INASE.

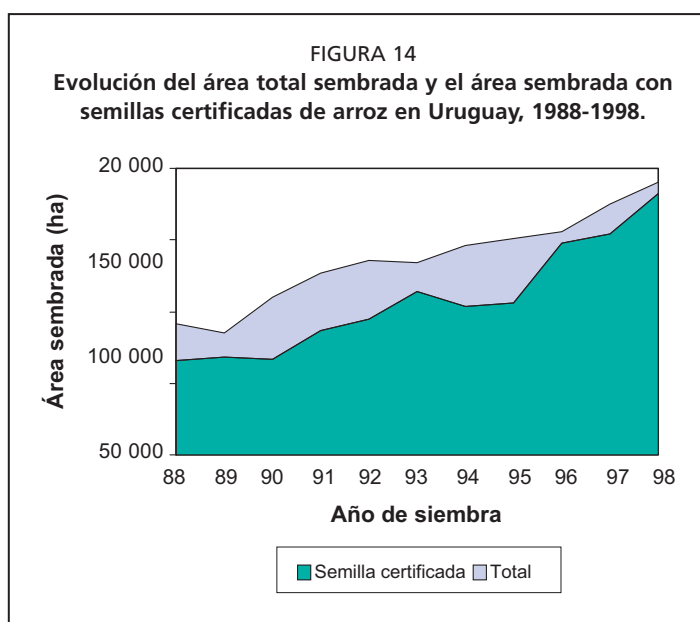
En 1984 el área sembrada fue de 80 400 hectáreas, 48 por ciento de las cuales fueron cubiertas con semillas certificadas y el resto con semillas comerciales producidas bajo estrictas normas de control de calidad (Zorrilla y Acevedo, 1985). Los análisis de semillas mostraron que todos los lotes de semillas estaban libres de contaminación de arroz rojo.

Durante las primeras etapas de la puesta en marcha del esquema de producción de semillas con los productores nacionales de arroz (Figura 13) hubo oportunidad de producir semillas en campos que nunca habían sido sembrados con arroz. Este fue un aporte fundamental para el sistema de producción de semilla de arroz e hizo posible la producción de grandes volúmenes de semillas de arroz libres de arroz rojo. Desde entonces ha continuado el aumento de uso de semillas certificadas y actualmente más del 85 por ciento del área nacional se siembra todos los años con semillas certificadas (Figura 14). El progreso hecho para establecer un sistema de abastecimiento de semillas de calidad y el bajo uso de semillas conservadas por los agricultores ha sido en gran parte posible gracias al fuerte apoyo de la industria arrocerera y su estrecha relación y cooperación con los productores de arroz.

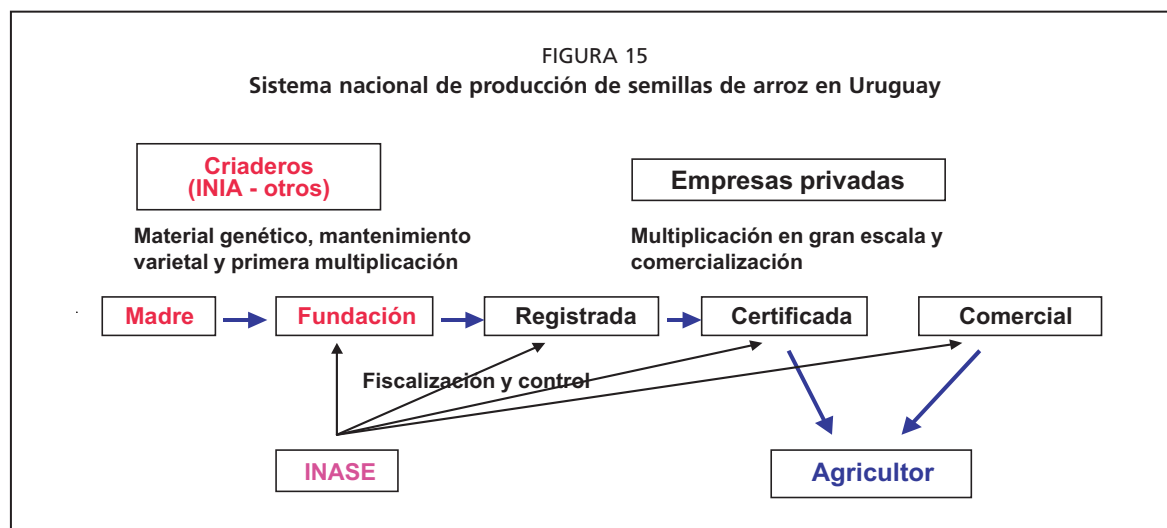
El grupo de procesadores de arroz desarrolló una industria altamente tecnificada con el objetivo de producir arroz de muy alta calidad y libre de arroz rojo. La producción de semillas fue y es considerada una actividad esencial y no lucrativa de la industria arrocerera. Por esta razón, el costo medio de la semilla de arroz libre de arroz rojo es apenas 1,7 veces mayor que el costo del grano de arroz, un hecho que desestimula el uso de semillas conservadas por el agricultor.

El sistema de contratos entre los productores de arroz y la industria arrocerera apoya la expansión del uso de semillas certificadas ya que es un requerimiento específico en los contratos de compra de grano. Los productores de arroz de la Asociación Nacional de Productores de Arroz han apoyado este sistema ya que están convencidos que esta estrategia es beneficiosa para toda la cadena agroindustrial.

Las instituciones gubernamentales también han apoyado el desarrollo del sector de la producción de arroz. La Estación Experimental del Este del Instituto Nacional



Fuente: G: Sanguinetti, comunicación personal



CUADRO 31
Normas del laboratorio de análisis de semillas para el arroz rojo en Uruguay

Año	Tolerancia de semillas de arroz rojo en dos kilos de semilla de arroz			
	Fundación	Registrada	Certificada	Comercial
Antes de 1989	0	0	1	4
1989	0	0	0	4
1990	0	0	0	2
1993	0	0	0	0

Fuente: Zorrilla, 1998

de Investigación Agropecuaria (INIA), Treinta y Tres, ha generado y mantenido nuevas variedades y producido semillas de categoría fundación de las nuevas variedades y el INASE es la institución responsable por el funcionamiento de todo el sistema de producción de semillas (Figura 15).

Entre los elementos que fueron ajustados durante el proceso de mejoramiento y desarrollo de la producción de semillas de arroz libres de arroz rojo se introdujeron algunos cambios importantes en las normas de certificación de semillas. En 1989 se incluyó la tolerancia cero para la categoría certificada. En 1993, esa norma fue extendida a todas las categorías de semillas (Tabla 31).

El establecimiento de la producción en gran escala de semillas de arroz libres de arroz rojo antes de la rápida expansión de la producción de arroz en el país y el reconocimiento por parte de los agricultores de la importancia de comprar todos los años semillas de arroz de alta calidad fueron puntos críticos para la ejecución de un programa efectivo y eficiente de control de arroz rojo.

Rotación de arroz con ganadería

El factor limitante para aumentar el área de producción de arroz en Uruguay no ha sido la disponibilidad de tierras sino la disponibilidad de agua para regar y de las inversiones necesarias. Por estas razones, desde un principio, el sector arrocero desarrolló un sistema de rotación de dos o tres años de arroz seguido por varios años de barbecho y pasturas para ganadería. Desde el inicio de las actividades nacionales de investigación en 1970, el mejoramiento de este sistema de rotación ha sido una importante prioridad.

En la década de 1980, la Estación Experimental del Este, INIA, Treinta y Tres, promovió y obtuvo la adopción masiva del sistema de rotación arroz-pasturas-ganadería con dos años de cultivo de arroz seguido inmediatamente después de la cosecha por la siembra aérea de pasturas. Las pasturas fueron usadas durante cuatro años para

engordar ganado hasta que volvieron nuevamente a ser cultivadas con arroz (Bonilla y Grierson, 1982). Más recientemente, considerando las necesidades de los productores, el INIA ha desarrollado un sistema de rotación más extensivo que incluye dos años de arroz y tres años de pasturas. El arroz es sembrado directamente y la carga animal incluye ovinos y bovinos (Bonilla y Zorrilla, 2000). Esta estrategia de integración del arroz con la producción ganadera tiene varias ventajas, a saber:

- mayor sostenibilidad de la producción de arroz al tener menores costos y mayores rendimientos;
- diversificación de la producción ganadera;
- manejo sostenible de los recursos naturales;
- menor impacto sobre el ambiente.

La investigación actual busca el mejoramiento del sistema de rotaciones. Si bien el control del arroz rojo no fue la razón primordial para adoptar el sistema de rotaciones, fue evidente que la rotación arroz-ganadería fue una medida efectiva para combatir y controlar el arroz rojo. Una de las características principales que contribuye al potencial del arroz rojo como maleza es la longevidad de sus semillas en el suelo. En ensayos a largo plazo instalados en el INIA-Treinta y Tres, se encontraron semillas viables de arroz rojo después de 11 años de haber estado enterradas en el suelo (Zorrilla, comunicación personal, 2004). La interrupción del cultivo del arroz durante varios años obtenida por la rotación con pasturas y ganado evita la multiplicación de la maleza y reduce el banco de semillas de arroz rojo en el suelo. De esta manera, el sistema de baja intensidad de producción de arroz ha sido un importante elemento en la efectividad de las medidas usadas para combatir el arroz rojo.

Difusión y conocimientos – medidas complementarias

Las organizaciones vinculadas al sistema de producción de arroz consideraron la necesidad de implementar medidas complementarias para acceder a las semillas de arroz libres de arroz rojo a fin de presentar una estrategia de control eficiente y coherente. La dinámica de la población del arroz rojo requiere un estado de alerta permanente y activo para su combate y control, haciendo que los productores arroceros estén informados del problema del arroz rojo y de la importancia de mantener un buen mercado exportador.

En las décadas de 1980 y 1990 fueron llevadas a cabo por todas las instituciones campañas educativas y de extensión entre todos los participantes en la cadena agroindustrial del arroz: INIA, INASE, la Asociación de Cultivadores de Arroz (ACA) y la Gremial de Molinos Arroceros (GMA). Estas campañas incluyeron:

- publicaciones específicas;
 - artículos en cotidianos y revistas;
- visitas de campo y talleres de trabajo para productores, técnicos y personal de campo de las empresas arroceras.

Los mensajes más importantes diseminados en las campañas fueron:

- mejor conocimiento de las diferentes formas de arroz rojo y la importancia de la necesidad de un combate y vigilancia permanentes;
- prevenir la entrada del arroz rojo en el campo como la mejor estrategia;
- semillas de arroz libre de arroz rojo como la primera medida fundamental;
- evitar otros medios de contaminación, especialmente por medio de la maquinaria, herramientas y cosechadoras;
- implementar medidas específicas de control para las infestaciones primarias: control manual, aplicaciones localizadas de herbicidas y otras medidas adecuadas disponibles;
- reducir la intensidad del cultivo del arroz incluyendo rotaciones con pasturas.

CUADRO 32
Estudio de los análisis del arroz recibidos por los principales molinos arroceros de Uruguay

	1986	1991	1992
Total de análisis supervisados	21 124	18 524	20 320
Análisis con arroz rojo	228	262	295
Análisis con arroz rojo (%)	1,08	1,41	1,45
Producción nacional supervisada (%)	90	90	85

Fuente: Zorrilla, 1998.

Resultados de la estrategia integrada

La distribución muy difundida del arroz rojo en el área arroceros en la década de 1960 fue lentamente reducida. En las décadas de 1980 y 1990, el arroz rojo era una maleza esporádica en los campos con muchos años de cultivo continuado

de arroz pero por lo general estaba ausente en los campos nuevos. A inicios de la década de 1990 se hicieron estudios para evaluar la incidencia real en el producto final, o sea en el grano para el procesamiento industrial.

La mayoría de los productores de arroz del Uruguay producen bajo contrato con el sector industrial. El contrato especifica, entre otras cosas, un sistema de penalidad en el precio según la calidad del grano entregado y la carga de cada camión que se entrega al molino es muestreada y analizada. Con la colaboración de los molinos de arroz, durante varios años se recolectaron y analizaron las muestras de las cosechas de arroz (Zorrilla, 1998). El Cuadro 32 muestra que cerca del 90 por ciento de la producción de tres años fue supervisada y que el arroz rojo fue detectado en menos del 1,5 por ciento de las muestras.

Estos resultados confirmaron el éxito del programa y las campañas de control de arroz rojo y el impacto nulo o mínimo de la baja incidencia de las semillas de malezas en el producto final y en los costos industriales. Sin embargo, estos resultados no muestran directamente la incidencia de la maleza en el campo ya esta desgrana fuertemente antes de la cosecha del arroz y solo una pequeña fracción es cosechada. Los análisis de las muestras del arroz recibido en los molinos también identificaron el lugar de producción. Los resultados confirmaron que a pesar de la baja incidencia del arroz rojo en el grano, aquel estaba aún presente en todas las áreas de producción de arroz del país.

La situación actual

En la última parte de la década de 1990 y hasta el año 2000 hubo un significativo aumento del área de cultivo de arroz. Esto fue debido en parte a la consecuencia de la expansión de la frontera agrícola y de la intensificación de las rotaciones, con menos años dedicados a las pasturas entre los cultivos de arroz. Esto aumentó la presencia de arroz rojo en los campos, especialmente en las áreas tradicionales de cultivo. En el mismo período hubo un incremento significativo de nuevos productores de arroz procedentes de Brasil los que trajeron consigo el hábito de usar su propia semilla tal como es común en Rio Grande do Sul, en el sur de Brasil. La situación resultó en un incremento de las infestaciones de arroz rojo en los campos nuevos y en las áreas limpias. Las instituciones nacionales ahora están incrementando sus esfuerzos para evitar que se deteriore la anterior situación favorable. El INIA ha ahora cambiado sus estrategias de difusión a estrategias de prevención enfatizadas en el pasado para el apoyo de proyectos específicos sobre manejo y control de arroz rojo.

En la actualidad se llevan a cabo estudios sobre la variabilidad de los biotipos presentes en el país y su posible origen genético (Federici *et al.*, 2001). Existen ensayos en marcha y recomendaciones sobre los sistemas de preparación del suelo, tipos de siembra y estrategias para el uso de herbicidas que pudieran permitir una producción económicamente viable en suelos altamente infestados (Castillo, Gauna y Saldain, 2004) y aplicaciones de herbicidas al fin del ciclo de la maleza para evitar la formación de semillas (Saldain y Deambrosi, 2003).

Si bien el problema a nivel de campo continúa siendo considerado de poca importancia, en el procesamiento y en la calidad del producto final, existe la preocupación acerca la tendencia del incremento de las poblaciones de malezas. Las discusiones con los técnicos de los principales molinos arroceros del país indican que el porcentaje de arroz rojo en el arroz recibido por los molinos entre 1986 y 1992 fue inferior a dos por ciento (Cuadro 32) pero que estaba cerca de cinco por ciento en el 2004. De cualquier manera, esto no es aún considerado un problema serio.

La tecnología *Clearfield* de variedades mutantes (no transgénicas) que son resistentes a los herbicidas de la familia IMI (Croughan *et al.*, 1990) está llegando al país en el momento oportuno y podría convertirse en una herramienta muy eficiente y efectiva si se manejara correctamente. Para la temporada de siembra 2005, una variedad de origen estadounidense recientemente introducida estará disponible para los agricultores. En los próximos años el INIA espera liberar variedades nacionales obtenidas por el programa de fitomejoramiento en un convenio con BASF. Si el paquete tecnológico es aplicado correctamente para evitar el flujo de genes hacia el arroz rojo, puede convertirse en la herramienta ideal para consolidar el control de las malezas y especialmente del arroz rojo en Uruguay, justamente en el momento en que se ha detectado una tendencia al incremento de las infestaciones de arroz rojo.

Lecciones aprendidas

La experiencia recogida en 35 años de combate del arroz rojo en Uruguay permitió la identificación de los factores más importantes que contribuyeron al desarrollo de una estrategia nacional para el control del arroz rojo:

- una estrategia efectiva para combatir el arroz rojo requiere la participación y el compromiso de todos los interesados en la cadena del arroz: agricultores, molineros e instituciones públicas de investigación y semillas; este equipo de actores debe llegar a una distribución equilibrada de costos y beneficios por todo el trabajo hecho;
- es fundamental el acceso por parte de los agricultores a semillas de arroz libres de arroz rojo pero debe ser complementada con otras acciones para el combate total y control del arroz rojo;
- es necesario desarrollar y mantener programas de extensión y educación de modo de asegurar que los agricultores, molineros, técnicos y trabajadores de la industria del arroz tengan conocimiento de los problemas causados por el arroz rojo y este sea combatido con decisión siguiendo el concepto de que «el mejor control es no tener arroz rojo en el campo»; para ello el elemento básico es el desarrollo y extensión de un conjunto de medidas para combatir las infestaciones primarias que deben ser aplicadas por los agricultores en forma sistemática cuando el problema es aún relativamente fácil de resolver.

Los productores de arroz siempre necesitan estar atentos y prontos a aplicar inmediatamente los adelantos tecnológicos que la investigación nacional confirma como una forma efectiva de controlar el arroz rojo.

AMÉRICA CENTRAL Y EL CARIBE – MANEJO Y CONTROL DE ARROCES MALEZA Antecedentes

Reconociendo la importancia del problema del arroz maleza, especialmente en los países en que se utiliza la siembra directa, la FAO inició algunas actividades en esa región para tratar de reducir la infestación con arroz maleza en el cultivo del arroz. La primera actividad desarrollada fue la organización del Taller de Trabajo Global sobre Control de Arroz Rojo llevado a cabo en Varadero, Cuba (FAO, 1999) con la

participación de especialistas de 17 países. El Taller de Trabajo llegó a la conclusión que la alta incidencia de arroz maleza/arroz rojo en muchos de los países productores de arroz era resultado del uso de semillas contaminadas, del monocultivo continuado y de prácticas culturales inadecuadas durante el ciclo del cultivo. La necesidad de un enfoque de manejo integrado fue indicada como el primer paso a tomar para la reducción de las fuentes de arroz maleza.

En base a numerosas sugerencias y recomendaciones se ejecutó un proyecto subregional en cooperación con instituciones nacionales relevantes. Seis países afectados por arroces maleza participaron en el proyecto subregional, a saber: Colombia, Costa Rica, Cuba, Nicaragua, Panamá y Venezuela. Todas las actividades de campo fueron llevadas a cabo por medio de las Escuelas de Campo para Agricultores (ECA). En estas Escuelas los agricultores aprendieron acerca de:

- procedimientos de control;
- elementos de la ecología del arroz maleza;
- el banco de semillas del suelo;
- identificación de los principales biotipos de arroces maleza y su ciclo;
- importancia de la limpieza del equipo y la maquinaria procedentes de áreas infestadas.

Problemas del arroz maleza en los países participantes

En Colombia se cultivan 320 000 hectáreas de arroz y la principal limitación es la infestación de los arrozales con arroz maleza. Por lo general hay dos cultivos anuales y el monocultivo es una práctica normal. También es común el uso de semillas no certificadas de baja calidad, especialmente en las áreas en que predominan los agricultores de escasos recursos.

En Costa Rica el área arrocera es de cerca de 40 000 hectáreas distribuidas en cinco regiones del país: Chorotega, Brunca, Huétar Norte, Pacífico Central y Atlántica. El área infestada con arroz maleza es de cerca de 19 500 hectáreas. Las principales especies de arroz maleza son *Oryza sativa* y *O. latifolia*, conocida como arrozón. Su incidencia es mayor en los campos con dos cultivos de arroz anuales. En algunas áreas la presencia de arroz maleza puede reducir los rendimientos en hasta 65 por ciento; en estos casos por lo general se abandona el cultivo del arroz que es reemplazado por pasturas o caña de azúcar. Muchos agricultores no consideran debidamente el uso de semillas certificadas libres de semillas de arroz maleza e ignoran la importancia de agotar las semillas del banco de semillas del suelo.

En Cuba el arroz es el alimento básico de la población. La mayoría del arroz consumido es importado ya que la producción nacional cubre solamente el 30 por ciento de las necesidades del país. El área sembrada con arroz es de cerca de 200 000 hectáreas, 35 por ciento de la cual está severamente infestada por arroces maleza; en algunas de estas áreas las pérdidas del cultivo de arroz pueden llegar al 89 por ciento. La situación es agravada por un insuficiente abastecimiento de semillas certificadas de arroz y/o el uso de semillas de baja calidad contaminadas con semillas de arroces maleza.

Los arroces maleza también afectan la producción de arroz en Nicaragua. Están presentes en todas las áreas productoras de arroz del país con infestaciones de más de 80 panojas/m². Las principales especies de arroces maleza son *Oryza sativa* y *O. latifolia* con infestaciones de hasta 40 por ciento en los arrozales. Los agricultores no usan semillas certificadas y no hay métodos específicos para el control de las malezas. Por lo general, los agricultores aplican glifosato sobre las malezas antes de la siembra o simplemente eliminan las plantas a mano.

En Panamá se cultivan alrededor de 75 000 hectáreas de arroz, principalmente en las provincias de Chiriquí (54 por ciento), Coclé (14 por ciento), Panamá Chepo (11 por ciento) y Veraguas (9 por ciento). Los rendimientos del arroz no son altos debido al uso de semillas no certificadas con bajo poder germinativo y la alta incidencia de los arroces maleza. Además de reducir los rendimientos de los cultivos; los arroces maleza aumentan el consumo de herbicidas usados para su control así como los costos asociados con esas aplicaciones. En algunos casos las infestaciones muy fuertes de arroces maleza incrementan los costos de la producción obligando a los agricultores a abandonar el cultivo.

Venezuela tiene un área de producción de arroz de 140 000 hectáreas. Los principales estados productores de arroz son Portuguesa, Guárico, Cojedes y Barinas. En contraste con otros países, hay un alto nivel de mecanización y riego, con un rendimiento medio de 3,8 toneladas/ha. Los arroces malezas son una importante limitación para la producción de arroz ya que cerca del 88 por ciento del área está infestada con hasta 17-18 plantas/ m². Las principales especies de arroces maleza en Venezuela son *Oryza sativa*, *O. rufipogon* y *O. latifolia*. Las normas de certificación de semillas permiten hasta tres semillas de arroces maleza/kg de semilla de arroz y una planta de arroz maleza por hectárea en las áreas para producción de semillas certificadas (Gaceta Oficial, Venezuela, 1986). Estas tolerancias han favorecido la proliferación de los arroces maleza afectando los rendimientos y la calidad de la cosecha de arroz.

Algunos de los países reconocen la magnitud del problema y manifiestan preocupación por las pérdidas causadas por los arroces maleza, aplican algunos métodos de control mientras que en otros casos simplemente se coexiste o se ignora el problema del arroz maleza y se continúa con prácticas convencionales de cultivo.

Proyecto de la FAO sobre arroz maleza en América Latina

Varios países de América Latina afectados por los arroces maleza solicitaron asistencia técnica a la FAO a fin de reducir esas infestaciones. El principal objetivo del proyecto fue fortalecer la capacidad nacional sobre los métodos para la prevención y el control de los arroces maleza por medio de un proceso integral de capacitación para el cuerpo técnico y los agricultores. El proyecto incluyó actividades para educar grupos piloto de agricultores sobre los problemas causados por los arroces maleza y sobre los mejores métodos para su control. Con este objetivo se formaron Escuelas de Campo para Agricultores en las que estos aprendieron haciendo y observando los resultados de las prácticas aplicadas. Este enfoque participativo reunió a los agricultores cada dos semanas de modo de observar y discutir los resultados de sus actividades en el campo. En general, los agricultores evaluaron el número total de malezas, el estado sanitario y la densidad de las plantas de arroz y otros puntos relacionados con el cultivo en las parcelas que compartieron. Los técnicos que actuaron como facilitadores agregaron explicaciones de interés para los agricultores.

En primer lugar, los agricultores aprendieron respecto a las fuentes de infestación del arroz maleza, la importancia de usar semillas certificadas y la forma de reducir el banco de semillas de arroz maleza en el suelo. En casi todos los países los agricultores recolectaron biotipos de los arroces maleza y les dieron nombres a cada uno de ellos; en algunos casos estudiaron la germinación de las semillas de esos biotipos. Otra actividad llevada a cabo fue la estimación de las semillas viables en el banco de semillas usando la terminología propuesta por Forcella, Webster y Cardina (2003). Tomando en consideración las observaciones y discusiones concernientes las fuentes de infestación con arroz maleza, los agricultores diseñaron procedimientos para su control y prevenir así la competencia temprana con el cultivo. El uso de semillas limpias fue

adoptado como una de las principales estrategias junto con el control presiembra de las infestaciones de arroz maleza.

En algunas áreas la preparación de la tierra comenzó en suelos secos y fue seguida por riego para promover la germinación de las semillas de las malezas, el fangueo, el drenaje de los campos para permitir la emergencia de nuevos flujos de semillas, la aplicación de glifosato, la inundación y la siembra del arroz en una lámina fina de agua. En otras áreas la preparación de la tierra comenzó con el fangueo, seguido por el drenaje del campo, la aplicación de glifosato, la inundación y la siembra como en el primer caso. En algunos lugares el control de los flujos de las malezas fue hecho en forma mecánica inmediatamente después del drenaje. La promoción de una emergencia temprana y el control de los arroces maleza incrementó ligeramente el costo de producción pero los rendimientos aumentaron hasta un 25 por ciento y la calidad del grano fue sensiblemente mejorada. En Nicaragua, los agricultores usaron este tipo de sistema de producción en la parcela modelo para la producción de semillas.

En una región de Venezuela, después de la cosecha de un área infestada, los residuos de los cultivos fueron quemados de modo de favorecer la germinación de la semillas del arroz maleza que permaneció sobre el suelo. La humedad del suelo se mantuvo durante 85 días y las poblaciones de arroz maleza llegaron a 130 plantas/m². En ese momento se inició la preparación del suelo: fue inundado, drenado y dejado reposar durante 15 días para promover un nuevo flujo de malezas. La misma operación se repitió para el nuevo flujo de malezas, después fue inundado durante ocho días y se aplicó el herbicida ozadiargyl a razón de 1,15 lt/ha. Finalmente, el suelo fue drenado y dos días más tarde fue sembrado con semillas pregerminadas de arroz. Las plantas de arroz maleza que escaparon a estas medidas fueron controladas directamente por aplicación de glifosato o fueron removidas a mano.

También se practicaron y discutieron con los agricultores otras estrategias de control. Una de ellas fue la posibilidad de rotaciones cortas con cultivos de cobertura, por ejemplo, 40-45 días, de modo de reducir las infestaciones de arroz maleza. Con este propósito, en Cuba se usa la leguminosa *Sesbania rostrata*. También pueden ser consideradas otras especies con hábito de crecimiento rápido. Esta práctica también permite que el suelo recobre su fertilidad.

La eliminación manual y la aplicación de glifosato poco antes de la cosecha es otro método útil para prevenir la germinación de los arroces maleza en el suelo. Las inflorescencias de las plantas de arroz maleza que han sobrevivido simplemente son humedecidas con glifosato antes de la cosecha del cultivo.

En Venezuela los agricultores fueron capacitados en procedimientos para limpiar la maquinaria proveniente de campos infestados con arroz maleza.

En general, el proceso de capacitación de los agricultores fue satisfactorio cuando se trabajó en grupos de agricultores de bajos ingresos quienes indicaron la necesidad de ese enfoque participativo para todos los aspectos relacionados con la producción de arroz. El enfoque participativo también cambió la forma de pensar de los técnicos facilitadores. Ambos grupos remarcaron que este enfoque era mejor que los métodos tradicionales de transferencia de tecnología. Sin embargo, las Escuelas de Campo para Agricultores no fueron un medio adecuado para los agricultores de más recursos con grandes áreas de producción de arroz. Como estos grandes agricultores tienen personal técnico en sus fincas, la capacitación de capacitadores, o sea la capacitación que se ofrece a los facilitadores, es también aplicable a ese personal técnico en combinación con algunos días de campo para los agricultores.

La capacitación y los resultados de los métodos propuestos y practicados por los agricultores en sus parcelas demostraron la importancia de usar semilla de arroz

limpia y de buena calidad. En algunos países los agricultores evaluaron el número de semillas de arceses maleza presentes en las semillas comercializadas como *certificadas* y habiendo aprendido la importancia que tiene incluso una semilla de arroz maleza en las semillas sembradas, concluyeron que es mejor exigir semillas totalmente limpias e incluso pagar más de modo de obtener una calidad superior de semillas.

Los agricultores también reconocieron la importancia de un control temprano del arroz maleza. La presiembra, la siembra falsa y la eliminación de los primeros flujos de arroz maleza con glifosato o por medios mecánicos demostraron que evitar la competencia temprana del arroz maleza con el cultivo del arroz aumenta los rendimientos y produce una cosecha de mejor calidad. Sin embargo, los agricultores no reconocieron tan favorablemente la evaluación del banco de semillas del suelo pero se convencieron de la necesidad de controlar las plantas de arroz maleza que escapan a las primeras operaciones de control, ya sea con aplicación de herbicidas sobre las plantas o removiéndolas manualmente a fin de no enriquecer más aún el banco de semillas del suelo.

AMÉRICA DEL NORTE

A continuación se presentan los resúmenes de dos casos significativos registrados en Arkansas y California, en Estados Unidos de América. Indudablemente, California representa el caso más exitoso de un programa de control de arroz rojo mientras que el caso de Arkansas ilustra como puede surgir una campaña innovativa una vez que el arroz maleza comienza a tener un serio impacto sobre los ingresos de la finca.

California – semilla limpia y siembra en el agua

California produce arroz desde hace muchos años. La mayor parte de su producción está destinada a la exportación a países asiáticos como Japón que tienen estrictas normas comerciales. No existen registros sobre el arroz rojo en California antes del año 1920 pero en 1932 Bellue (1932) observó que el arroz rojo estaba presente en cerca 28 por ciento de las muestras de semillas analizadas y concluyó que probablemente haya sido introducida al estado en el correr de la década de 1920. En 1950, Randall (Randall, 1950) indicó que el arroz rojo era la segunda maleza en orden de importancia, después de *Echinochloa crus-galli*. Sin embargo, al inicio de la década de 1960, los arceses rojos estaban casi completamente controlados gracias a una buena función de los servicios de extensión y por campañas apoyadas por el sector industrial sobre la producción y uso de semilla limpia y del sistema de siembra en el agua combinado con herbicidas apropiados.

Arkansas - «eliminar el rojo»

El estado de Arkansas es el mayor productor de arroz de los Estados Unidos de América. Se produce en escala comercial, tecnológicamente avanzada y totalmente mecanizada. El arroz rojo ha estado presente en los arrozales de Arkansas desde 1908 y alcanzó proporciones alarmantes a fines de la década de 1970 cuando se encontraron dificultades en la comercialización del grano a causa de la excesiva contaminación con arroz rojo. El área se había expandido tan rápidamente que a mediados de la década de 1970, como resultado de buenos precios y una cierta distensión de los controles, el abastecimiento de semillas certificadas fue insuficiente y los agricultores recurrieron a fuentes menos confiables de semillas. Las dificultades en la comercialización y los fuertes descuentos que sufría el grano llamaron la atención de los arceros, de los molineros y de la industria agroquímica, de los investigadores de las estaciones experimentales y

de los extensionistas. En ese entonces se comenzó a enfatizar la producción y el uso de semillas certificadas, la rotación con otros cultivos y el uso de herbicidas efectivos. Este énfasis desarrolló la creatividad y una campaña bien organizada por los servicios de extensión y sus clientes y cooperadores bajo el eslogan de «eliminar el rojo» (en inglés, *Get the red out*). Se llevaron a cabo reuniones con agricultores arroceros y con los molineros; se hicieron demostraciones en los 42 condados productores de arroz y numerosos carteles coloridos llevaban el mensaje de *Get the red out*. Ese programa y los desarrollos tecnológicos contribuyeron a controlar el arroz rojo, si bien continúa siendo un problema que requiere constante atención.

Capítulo 9

Conclusiones

Los arrozces maleza, incluyendo el arroz rojo, han sido durante mucho tiempo importantes malezas en la producción de arroz de siembra directa. Sin embargo, en los últimos 25 años en esas áreas ha aumentado su importancia y se ha difundido a nivel global con la adopción de ese sistema de siembra en algunas de las áreas en que tradicionalmente se sembraba por transplante. Actualmente las infestaciones por arrozces maleza son consideradas por los participantes en la agroindustria del arroz como uno de los problemas más complejos, difíciles de manejar y económicamente perjudicial, desde la etapa de la producción hasta la comercialización. Esas infestaciones aumentan la necesidad de mano de obra y los costos de producción a la vez que reducen el rendimiento y la calidad comercial del grano.

Botánicamente, los arrozces rojos en América, Europa y norte de África son en su mayoría biotipos de *Oryza sativa*. En África occidental y en África subsahariana, los arrozces maleza son *Oryza barthii*, *O. longstaminata*, *O. punctata* y biotipos de maleza de *O. glaberrima* y *O. sativa*. En Asia, la región en que se originó *O. sativa*, las fuentes de arrozces maleza son *O. rufipogon* y otras *Oryza* spp.

Agronómicamente, los arrozces maleza, incluyendo el arroz rojo, son poblaciones de arroz maleza de *Oryza sativa* y/u otros *Oryza* spp. que son fenotípica y genéticamente diversos, intercambiables, muy vigorosos y competitivos, sumamente difíciles de controlar y capaces de difundirse rápidamente. En muchas áreas, la diversidad de las poblaciones y su intercambiabilidad son el resultado de introducciones de otras áreas y del cruzamiento natural de los biotipos de malezas con las variedades cultivadas. Los arrozces maleza han sido y aún son difundidos de las áreas infestadas a las áreas no infestadas, sobre todo como contaminantes por medio de las semillas para la siembra.

Los arrozces maleza, incluyendo el arroz rojo, son exitosos en su comportamiento como maleza porque tienen la mayoría de los caracteres y características que contribuyen al éxito de las malezas y además otras características exclusivas. Los caracteres que comparten con otras malezas importantes son:

- una excelente adaptación a la mayoría de los sistemas de cultivo del arroz;
- un ciclo de vida estrechamente sincronizado con el cultivo del arroz;
- una abundante producción de semillas que se dispersan amplia y fácilmente y,
- un fuerte desgrane y una prolongada e intensa latencia que contribuyen a mantener la viabilidad de las semillas enterradas en el banco de semillas del suelo en condiciones climáticas adversas.

Las características exclusivas que contribuyen a su éxito como malezas incluyen:

- similitud morfológica y fenológica de las plantas y las semillas con las del cultivo, lo cual hace difícil su reconocimiento y separación;
- su estrecha relación genética con el arroz cultivado, lo cual precluye el uso de la mayoría de los herbicidas selectivos.

De todas esas características, hay cuatro que son fundamentales para su éxito:

- la diversidad e intercambiabilidad de las poblaciones producidas por cruzamientos naturales del arroz maleza con el arroz cultivado;
- el desgrane temprano e intenso;
- la fuerte y prolongada latencia;

➤ el mayor vigor y competitividad en comparación con las variedades cultivadas.

El cruzamiento natural de los arroces maleza y los arroces cultivados proporciona una variabilidad que puede ser y ha sido seleccionada naturalmente para producir ecotipos adaptados a cambios en los sistemas de cultivos y las variedades. El desgrane temprano y abundante asegura que la mayoría de las semillas del arroz maleza son esparcidas y dispersadas sobre la superficie del campo y no son recogidas con el grano para consumo o comercialización. La latencia intensa y prolongada mantiene la viabilidad de las semillas durante las condiciones climáticas adversas que ocurren entre la cosecha y la próxima estación de siembra y permite el establecimiento de un banco de semillas en el suelo que puede persistir por muchos años. El mayor vigor y competitividad de los arroces maleza asegura la producción de semillas dentro del cultivo del arroz. Los caracteres únicos y generales de los arroces maleza los convierten en malezas multidimensionales que producen problemas también multidimensionales en los sistemas de siembra directa.

Un control satisfactorio de los arroces maleza requiere un enfoque que integre completamente decisiones cabales de manejo, prácticas y métodos de control. Los programas integrados exitosos involucran la implementación de combinaciones de tácticas de cinco estrategias de control a largo plazo, bien probadas, y la razonable explotación del valor de las nuevas tecnologías.

Las infestaciones de arroces maleza, incluyendo el arroz rojo, se previenen o se limitan en su diseminación por medio del uso de semillas de calidad que no estén contaminadas con semillas de arroz maleza, o sea semillas libres de arroz maleza.

Las prácticas culturales tales como la falsa cama de semillas y los sistemas de labranza mínima o labranza cero se emplean para agotar la población de las semillas de los arroces maleza en el suelo por predación de insectos o aves, estimulación de la germinación y destrucción mecánica o química de las plántulas antes de la siembra del próximo cultivo. En los casos en que sea posible, el barbecho por dos o más años es una forma efectiva de agotar el depósito de semillas en el banco de semillas del suelo.

La inundación y el agua son manejadas en forma de suprimir la germinación y emergencia de los arroces malezas por anoxia en suelos húmedos o inundados. Los principales sistemas son sembrar bajo una película de agua mantenida hasta la cosecha y el método de «inundación puntual» de siembra bajo una película de agua seguida por el drenaje durante pocos días de modo de permitir el establecimiento de las plántulas e inundar nuevamente hasta el momento de la cosecha. El herbicida molinate es usado efectivamente en los sistemas de siembra en agua para suprimir y controlar otras gramíneas malezas así como también el arroz maleza.

Los métodos y prácticas para el control de las plantas de arroz maleza en el cultivo del arroz son limitadas. El método más común es su remoción manual. Sin embargo, la aplicación de herbicidas no selectivos directamente sobre las plantas altas o las maciegas de arroz maleza y el corte o aplastado mecánico de las panojas de arroz maleza que salen por sobre el cultivo del arroz, se aplica efectivamente en algunas regiones.

La rotación del arroz con otros cultivos es uno de los métodos más efectivos y económicos para mantener un control satisfactorio de los arroces maleza. Las prácticas culturales usadas para los cultivos alternativos estimulan la germinación de los arroces maleza que pueden así ser controlados por medio de la aplicación de varios herbicidas selectivos. Las rotaciones más efectivas comprenden un año de arroz seguido por dos o tres años de cultivos alternativos, que pueden incluir soja, sorgo, cultivos para abono verde, girasol o pasturas con ganadería.

Han sido desarrolladas variedades de arroz resistentes a herbicidas permitiendo así el uso de herbicidas no selectivos o de amplio espectro para controlar el arroz maleza

y de otras malezas presentes en los arrozales. La estrategia biotecnológica ha sido usada exitosamente en soja, maíz, algodón y otras especies durante algunos años sin problemas técnicos, si bien ha habido serias controversias. Sin embargo, el caso del arroz la situación es diferente en razón de los cruzamientos de las variedades cultivadas con los arroces maleza, lo cual podría transferir los genes de resistencia a los herbicidas a las malezas. Las compañías y los investigadores involucrados en el desarrollo de variedades resistentes a los herbicidas son concientes de estos riesgos potenciales y han establecido protocolos para el uso de la tecnología que deberían minimizar o eliminar los riesgos. Estos protocolos consideran la adopción de sistemas integrados de control que usan muchas de las medidas de control probadas como la rotación del arroz con otros cultivos, la rotación de los herbicidas y la destrucción de las malezas que han escapado al control por su remoción manual, mecánica o química.

En conclusión, en los últimos 25 años, se ha producido gran cantidad de información sobre la diversidad, la incidencia de los cruzamientos, la fenología y la ecología de los arroces maleza, especialmente de las formas de arroz rojo de *Oryza sativa*. El potencial del desarrollo biotecnológico está proporcionando incentivos y recursos poderosos a corto y mediano plazo para entender completamente la ecofisiología de los arroces rojos de *Oryza sativa* y tal vez de otros arroces malezas.

Referencias

- Adair, R. C. y N E. Jodon.** 1973. Distribution and origin of (rice) species, botany and genetics. p. 6-21. En: *Rice in the United States: Varieties and Production*. U. S. Dept. of Agriculture, Agricultural Handbook 289. Estados Unidos de América.
- Abud, J. K.** 1986. Efeito de herbicidas no controle do arroz vermelho (*Oryza sativa* L.), *Echinochloa crusgalli* L. Beauv. e *C. difformis* L. em arroz irrigado. *Lavoura Arrozreira* 39:8-10. Brasil.
- Agostinetto, D., N. G. Fleck, V. G. Menezes y E. L. N. Costa.** 2002. Supressão da produção de sementes de arroz-vermelho pela aplicação de herbicidas em arroz irrigado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Vol 37, No. 1. Brasil.
- Agrawal, P. K.** 1981. Genotypic variation in seed dormancy in paddy and simple methods to break it. *Seed Research (India)*, 9:20-27. India.
- Allston, R. F. W.** 1846. The rice plant. *DeBow's Review*, I:320-356.
- Aragón, H.** 1969. Arroz rojo, amenaza de las variedades comerciales en Sinaloa, México. Centro de Investigaciones Agrícolas de Sinaloa. Circular No. 11, 1971. 19 pp. México.
- Austin, A.** 1893. Rice- its cultivation, production and distribution in the U.S. and foreign countries. USDA. Misc. Pub. Report No. 6. Estados Unidos de América.
- Australian Government.** 2004. The biology and ecology of rice (*Oryza sativa* L.) in Australia. Office of Gene Transfer Regulator, Department of Health and Aging. 26 pp. Australia.
- Baker, J. B.** 1974. Rice weed control studies. 66th Ann. Prog. Rept. Louisiana Rice Exp. Sta., Crowley, LA. Pp.101-102. Estados Unidos de América.
- Baker, J. B. y J. Bourgeois.** 1978. Red rice herbicide screening tests. P 26. En: E. F. Eastin (ed.), *Red rice: research and control*. Texas Agric. Exp. Sta. Bull. B-1270. Estados Unidos de América.
- Baker, J. B. y E. A. Sonnier.** 1982. Water management and molinate usage for red rice control in water seeded rice. Proc. 19th Rice Tech. Work. Group Mtg., Hot Springs, AK, 19:77-78. Estados Unidos de América.
- Baker, J. B. y E. A. Sonnier.** 1983. Red rice and its control. Pp. 327-333. En: Proceedings, IRRI Conference on Weed Control in Rice, Los Baños, Filipinas.
- Baker, J. B., E. A. Sonnier y J. W. Shrelfer.** 1986. Integration of molinate use with water management for red rice (*Oryza sativa*) control in water seeded rice (*Oryza sativa*). *Weed Sci.* 34:919-922. Estados Unidos de América.
- Baldwin, F. L.** 1978. Red rice control in alternate crops. Pp. 16-18. En: E. F. Eastin (ed.), *Red Rice: research and control*. Texas Agric. Exp. Sta. Bull, B-1270. Estados Unidos de América.
- Barrenda, D.G., J. Sendra, R. Carreres, A. del Busto y E. Biendicho.** 1999. Red rice in Spain. Pp. 51-54. En: FAO, 1999. Roma.
- Barros, A. C. S. A.** 1994. Sobrevivência de sementes of arroz vermelho depositadas em solo e água. Doutor em Agronomia Tese. Universidade Federal de Pelotas, RS, Brasil.

- Baskin, J. M. y C. C. Baskin.** 1985. The annual dormancy cycle in buried weed seeds: a continuum. *Bioscience* 35:492-498. Estados Unidos de América.
- Beachell, H. M., C. R. Adair, N. E. Jodon, L. L. Davis y J. W. Jones.** 1938. Extent of natural crossing in rice. *Jour. Amer. Soc. Agron.* 30:743-753. Estados Unidos de América.
- Bellue, M. K.** 1932. Weeds of California seed rice. *Calif. Dept. Agric. Monthly Bull.* 21:290-296. Estados Unidos de América.
- Bennett, D.** 2005. Producer knows good and bad of *Clearfield* rice. *Delta Farm Press* 62(35):10. Estados Unidos de América.
- Bonilla, O. y J. Grierson.** 1982. Un sistema de producción de carne en rotación con arroz. *Miscelánea No.48.* CIAAB – MGA, Estación Experimental del Este. Uruguay.
- Bonilla, O. y G. Zorrilla.** 2000. Descripción del Proyecto de la Unidad de Producción Arroz –Ganadería (UPAG). En: Unidad de Producción Arroz – Ganadería – Resultados 1999 – 2000. Serie Actividades de Difusión No, 231, pp 2 – 8. INIA Treinta y Tres. Uruguay.
- Boyd, V.** 2005. Red flag warning. *Rice Farming* 39(3): 26-27. Estados Unidos de América.
- Braverman, M. P. y S. D. Linscombe.** 1994. Field evaluation of transgenic glufosinate resistant rice. *Proc. Sou. Weed Sci. Soc.* 47:22-23. Estados Unidos de América.
- Bres-Patry, C., M. Lorieux, G. Clement, M. Bangratz y A. Ghesquiere.** 2001. Heredity and genetic mapping of domestication-related traits in a temperate *japonica* weedy rice. *Theor. and Appl. Gen.* 102:118-126. Estados Unidos de América.
- Brown, F. B.** 1957. Natural cross-pollination of rice in Malaya. *Malayan Agric. J.* 40:264-268. Malasia.
- Buenaventura, M. R.** 1956. Dormancy periods of promising rice varieties. *Philippine Agric.* 39:558-570. Filipinas.
- Burnside, O. C.** 1965. Seed and phenological studies with shattercane. *Nebraska Agric. Exp. Sta. Bull.* 220. 37 pp. Estados Unidos de América.
- Burgos, N. R. y M. M. Anders.** 2005. (Investigación en marcha). University of Arkansas. Estados Unidos de América.
- Burgos, N. R., V. K. Shivrain, D. R. Gealy y H. R. Black.** 2004. Planting date matters in *Clearfield* rice outcrossing. *Proc. Ark. Crop Protect. Assoc. Res. Conf.* 8:7. Estados Unidos de América.
- Burgos, N. R., R. J. Norman, D. R. Gealy y H. R. Black.** 2006a. Competitive N uptake between rice and weedy rice. *J. Field Crops Res.* (En prensa). Estados Unidos de América.
- Burgos, N. R., V. K. Shivrain, K. A. K. Moldenhauer, L. E. Estorninos y C. M. Thomas.** 2006b. Fitness of crosses between *Clearfield* rice and strawhull red rice. *Proc. 31st Rice Tech. Work Group Mtg., Woodlands, Texas.* (En prensa). Estados Unidos de América.
- Carroza, G. R.** 1999. El arroz rojo en Colombia. Pp. 15-18. En: FAO, 1999. Roma.
- Castillo, J., D. Gauna y N. Saldain.** 2004. Selectividad del Ronstar en INIA *Tacuari* y *El Paso 144* y su efecto en el control del arroz rojo. En: Arroz, Resultados Experimentales 2003 – 2004. Serie Actividades de Difusión No. 373. INIA Treinta y Tres, Uruguay.
- Chambliss, C. E.** 1921. Prairie rice culture in the United States. *USDA Farmer's Bull.* 1092. Estados Unidos de América.
- Chandraratna, M. F., L. H. Fernondo y C. Wattedgedera.** 1953. Seed dormancy in rice. *Trop. Agric.* 108:261-264.

- Chang, T. T.** 2003. Origin, domestication and diversification. Chapter 1.1. pp. 3-25. En: W. C. Smith y R. H. Dilday, (eds.), *Rice: Origin, History, Technology, and Production*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, Estados Unidos de América.
- Chatterjee, D.** 1947. Botany of the wild and cultivated rice. *Nature* 160: 234-237.
- Chin, V. C., C. V. Hach, N. C. Thanh y N. T. Tai.** 1999. Weedy rice situation in Vietnam. Pp.67-74. En: FAO, 1999. Roma.
- Cohn, M. A.** 1980. Seed dormancy in red rice. Proc. 18th Rice Tech. Work Group Mtg., Davis, CA. Estados Unidos de América.
- Cohn, M. A.** 2002. Seed dormancy in red rice. A balance of logic and luck. *Weed Science* 50: 261-266. Estados Unidos de América.
- Cohn, M. A. y L. A. Hughes.** 1981. Seed dormancy in red rice (*Oryza sativa*). I. Effect of temperature on after-ripening. *Weed Sci.* 29: 402-404. Estados Unidos de América.
- Cohn, M. A. y D. L. Butera.** 1982. Seed dormancy in rice. II. Response to cytokinins. *Weed Sci.* 30:200-205. Estados Unidos de América.
- Cohn, M. A., D. L. Butera y J. A. Hughes.** 1983. Seed dormancy in red rice. III. Response to nitrite, nitrate, and ammonium ions. *Plant Physiol.* 73:381-384. Estados Unidos de América.
- Constantin, M. J.** 1960. Characteristics of red rice in Louisiana. Ph. D. Dissertation. Louisiana State University, Baton Rouge, LA. Estados Unidos de América.
- Cox, C. H.** 1978 Red rice problems – a seedsman’s viewpoint. Pp. 8-10. En: E. F Eastin (ed.), *Red rice: research and control*. Texas Agric. Exp. Sta. Bull. B-1270. Estados Unidos de América.
- Craigmiles, J.P.** 1978. Introduction. Pp. 5-6. En: E. F. Eastin (ed.), *Red Rice: research and control*. Texas Agric. Exp. Sta. Bull. B-1270. Estados Unidos de América.
- Crawley, M. J.** 1990. Plant population dynamics. *Phil. Trans. Roy. Soc. London, Series B*, 314:125-140. Londres.
- Croughan, T. P.** 1994. Herbicide resistant rice. 25th Rice Tech. Work. Group Mtg. 25:44. Estados Unidos de América.
- Croughan, T. P., M. M. Pizzolatto y D. B. Trump.** 1986. Tissue culture production of commercial rice varieties resistant to herbicides effective on red rice. *Ann. Rept., Rice Exp. Sta., Louisiana Agric. Exp. Sta.*78:35. Estados Unidos de América.
- Croughan, T. P., J. B. Baker, R. T. Dunand y M. M. Pizzolatto.** 1984. Production of commercial rice varieties resistant to herbicides effective over red rice. *Ann. Prog. Rept., Rice Exp. Sta., Louisiana Agric. Exp. Station*, 76:67-68. Estados Unidos de América.
- Criughan, T. P., M. M. Meche, R. P. Regan, X. H. Eang, D. B. Trumps, S. A. Harrison, S. D. Linscombe, J. M. Jaynes y S. S. Quisenberry.** 1990. Rice and wheat improvement through biotechnology. Pp. 97-98. En: 82nd Ann. Prog. Res. Rept., Rice Exp. Sta., Louisiana Agric. Exp. Station, Louisiana State University. Baton Rouge, Estados Unidos de América.
- De Datta, S. K.** 1981. *Principles and Practices of Rice Production*. John Wiley and Sons, Inc., New York, Estados Unidos de América.
- Delgado, A. D.** 1989. Arroz rojo. FEDEARROZ, Revista Arroz , 27:20-24. Bogotá.
- Delouche, J. C.** 1970. Seed program development in the Democratic Republic of the Congo. Report to AID/W and USAID/Congo (Kinshasa). Seed Technology Laboratory, Mississippi State University, Mississippi, MS, Estados Unidos de América.

- Delouche, J. C.** 1988. Weeds as rice seed contaminants. Pp. 179-188. En: Rice Seed Health. Proc. Int. Workshop on Rice Seed Health. IRRI, Mar.,1987. IRRI and UNDP.
- Delouche, J. C. y G. M. Dougherty.** 1973. Seed program review in Haiti. Report to USAID/Haiti. Seed Technology Laboratory, Mississippi. State University, Mississippi, MS, Estados Unidos de América.
- Delouche, J. C. y N.T. Nguyen.** 1964. Methods for overcoming seed dormancy in rice. Proc. Assoc. Off. Seed Anal. 54: 41-49. Estados Unidos de América.
- Deore, B. P. y S. Solomon.** 1983. Photoperiodism and its relation to dormancy in rice. Seed Abstr. 6:231. Estados Unidos de América.
- De Souza, P. R.**1989. Arroz vermelho: uma grande problema. Lavoura Arrozeira, 42:30-31. Brasil.
- De Wet, J. M. J. y J. R. Harlan.** 1975. Weed and domesticates: evolution to a man-made habitat. Econ. Bot. 29:99-107. Estados Unidos de América.
- Diallo, S.** 1999. Problème posé par le riz rouge en riziculture au Sénégal. p. 45-49. En: FAO, 1999. Roma.
- Diamond, J.** 1999. *Guns, Germs and Steel*. W. W. Norton and Co., New York, NY, Estados Unidos de América.
- Diarra, A., R., J. Smith, Jr. y R. E. Talbert.** 1985a. Growth and morphological characteristics of red rice (*Oryza sativa*) biotypes. Weed Sci. 33:310-314. Estados Unidos de América.
- Diarra, A., R., J. Smith, Jr. y R. E. Talbert.** 1985b. Interference of red rice (*Oryza sativa*) with rice (*O. sativa*). Weed Sci. 33:644-649. Estados Unidos de América.
- Diarra, A., R., J. Smith, Jr. y R. E. Talbert.** 1985c. Red rice (*Oryza sativa*) control in drill seeded rice (*Oryza sativa*). Weed Sci. 33:703-707. Estados Unidos de América.
- Diarra, A. R, R. E. Talbert y R. J. Smith, Jr.** 1984. Red rice interference with drill-seeded rice (*Oryza sativa*). Proc. Sou. Weed Sci. Soc. 37:809. Estados Unidos de América.
- Dishman, W. D.** 1978. Red rice problems – a producer's viewpoint. P. 9. En: E. F. Eastin (ed.), *Red Rice: research and control*. Texas Agric. Exp. Sta. Bull. B-1270. Estados Unidos de América.
- Dodson, W. R.**1898. Red rice. Louisiana Agric. Exp. Sta. Bull. No. 50: 208-226. Estados Unidos de América.
- Dodson, W. R.** 1900. Rice weeds in Louisiana. Louisiana. Agric. Exp. Sta. Bull. No. 61, Part II. Estados Unidos de América.
- Do Lago, A. A.** 1982. Characterization of red rice (*Oryza sativa* L.) phenotypes in Mississippi. Ph. D. Disertación. Mississippi State University, Mississippi. MS, Estados Unidos de América.
- Do Lago, A. A. y J. C. Delouche.**1982. Red rice phenotypes in Mississippi. Proc.19th Rice Tech. Work.Group Mtg. Hot Springs, AK. 19:76. Estados Unidos de América.
- Dominguez, A. O.** 1999. Situación del arroz rojo en Venezuela. Pp. 59-65. En: FAO, 1999. Roma.
- Dore, J.** 1955. Dormancy and viability of padi seed. Malayan Agric. J. 38:163-173. Malasia.
- Dunand, R. T.** 1996. Maleic hydrazide for red rice suppression – direct effect on rice. 26th Rice Tech. Work. Group Mtg. 26:193-194.

- Eastin, E. F.** (ed.) 1978a. *Red Rice: research and control*. Proc. of Symposium, December 13, 1978. Beaumont, TX. Texas Agric. Exp. Sta. Bull. B-1270. Estados Unidos de América.
- Eastin, E. F.** 1978b. Additional red rice research in Texas. Pp, 30-34. En: E. F. Eastin (ed.), *Red Rice: research and control*. Texas Agric. Exp. Sta. Bull. B-1270. Estados Unidos de América.
- Eastin, E. F.** 1979. Selected bibliography of red rice and other wild rices (*Oryza spp.*). Texas Agric. Exp. Sta. Pub. MP-1424. College Station, TX. 59 pp. Estados Unidos de América.
- Ellis, R.H., T. D. Hong y E. H. Roberts.** 1983. Procedures for the safe removal of dormancy in rice seeds. *Seed Sci. & Technol.* 11: 77-112. Estados Unidos de América.
- Espitia, H. A. C.** 1999. Manejo de arroz contaminados en las áreas productoras de arroz comercial de Costa Rica. Pp. 19-24. En: FAO, 1999. Roma.
- Estorninos, L. E., D. R. Gealy y N. Burgos.** 2004. Determining reciprocal outcrossing rates between non-herbicide rice and red rice using SSR markers. *Weed Sci. Soc. of America Mtg.* 44:65-66. Estados Unidos de América.
- Estorninos, L. E., D. R. Gealy y R. E. Talbert.** 2002b. Growth response of rice (*Oryza sativa* L.) in replacement series study. *Weed Technol.* 16:401-406. Estados Unidos de América.
- Estorninos, L. E., D. R. Gealy, R. E. Talbert y E. E. Gbur.** 2005a. Rice and red rice (*Oryza sativa*) interference. 1. Response of red rice to sowing rates of tropical *japonica* and *indica* rice cultivars. *Weed Sci.* 53:676-682. Estados Unidos de América.
- Estorninos, L. E., D. R. Gealy, D. O. TeBeest y N. R. Burgos.** 2003b. Reciprocal outcrossing rates between non-herbicide resistant rice and red rice. En: R. J. Norman and J. F. Meullenet (eds.) BR Wells Rice Research Series 2002, University of Arkansas Agric. Exp. Sta. Res. Series 504:41-46. Estados Unidos de América. <http://www.uark.edu/depts/agripub/publications>
- Estorninos, L. E., D. R. Gealy, L. Baldwin, F. B. Baldwin y N. Burgos.** 2003a. Estimates of outcrossing rates between IMI rice lines and red rice based on SSR fingerprinting and phenotypic characteristics. En: R. J. Norman and J. F. Meullenet (eds.), BR Wells Rice Research Series 2002, University of Arkansas Agric. Exp. Sta. Res. Series 504. Pp. 33-40.** Estados Unidos de América.
- Estorninos, L. E., D. R. Gealy, R. E. Talbert, M. R. McClelland y E. E. Gbur.** 2005b. Rice and red rice interference. II. Rice response to population densities of three red rice (*Oryza sativa*) ecotypes. *Weed Sci.* 53: 683-689. Estados Unidos de América.
- Estorninos, L. E., D. R. Gealy, T. Dillon, F. Baldwin, N. Burgos y T. H. Tai.** 2001. Determination of hybridization between rice and red rice using microsatellite markers. En: R. J. Norman and J. F. Meullenet (eds.), BR Wells Rice Research Series 2001, Univ. of Arkansas Agric. Exp. Sta. Res. Series 495:82-87. ** Estados Unidos de América.
- Estorninos, L. E., D. R. Gealy, T. Dillon, F. Baldwin, N. Burgos y T. H. Tai.** 2002a. Determination of hybridization between rice and red rice using microsatellite markers. En: R. J. Norman and J. F. Meullenet (eds.), BR Wells Rice Research Series 2001. University of Arkansas, Agr. Exp. Sta. Series 495:82-87.** Estados Unidos de América.
- FAO.** 1999. *Global Workshop on Red Rice Control*. Report of Workshop, 30 August – 3 September, 1999, Varadero, Cuba. Plant Production and Protection Division. Roma. <http://www.fao.org/ag/AGP/AGPP/IPM/Weeds/download/arrorj.pdf>

- FAO. 2005. Relación Final TCP/RLA/2913. Roma. 20 pp.
- Federici, M.T., D. Vaughan, N. Tomooka, A. Kaga, X. Wang, K. Doi, M. Francis, G. Zorrilla y N. Saldain. 2001. Analysis of Uruguayan weedy rice genetic diversity using AFLP molecular markers. *Electronic Journal of Biotechnology* [online]. 15 December 2001, vol. 4, no. 3. Disponible en: <http://www.ejbiotechnology.info/content/vol4/issue3/index.html>.
- Ferrero, A. (sin fecha). Weedy rice, biological features and control. FAO Corporate Document Repository. <http://www.fao.org/DOCREP/1006/Y5031E/y5031e09.htm>
- Ferrero, A. & Vidotto, F. 1999. Red rice control in rice pre-and post-planting. In FAO. *Global workshop on red rice control*. Report of Workshop, 30 August – 3 September 1999, Varadero, Cuba. Plant Production and Protection Division. Rome. 155 pp. (disponible en <http://www.fao.org>).
- Ferrero, A y F. Vidotto. 2000. Red rice-rice competition in flooded conditions. III Int. Weed Sci. Congress. Abstracts, No. 515, p. 248. Estados Unidos de América.
- Ferrero, A., F. Vidotto, P. Balsari y G. Airoidi. 1999. Mechanical and chemical methods for control of red rice (*Oryza sativa* var. *sylvatica*) in rice (*Oryza sativa*) preplanting. *Crop Protection* 18:245-251. Estados Unidos de América.
- Fischer, A. J. 1999. Problems and opportunities for managing red rice in Latin America, Pp.77-85. En: FAO, 1999. Roma.
- Fischer, A. J. y A. Ramirez. 1993. Red rice (*Oryza sativa*): competition studies for management decisions. *Int. J. Pest. Mgt.* 39:133-138. Estados Unidos de América.
- Fischer, A., D. P. Cheetham, E. A. Laca, K. S. McKenzie y D. R. Gealy. 2004. Outcrossing study between transgenic herbicide-resistant rice and non-transgenic rice in California. Turin International Rice Conference. Torino, Italia.
- Fletes, M. S. 1999. Evaluación de la maleza arroz rojo (*Oryza sativa*) en las principales zonas arroceras de Nicaragua. Pp.41-44. En: FAO, 1999. Roma.
- Fontenot, H. A. 1973. Wild ducks fight red rice. *Rice Journal* 76(3):4. Estados Unidos de América.
- Forcella F., T. Webster y J. Cardina. 2003. Protocols for weed seed bank determination in agro-ecosystems. Pp 3-18. En: R. Labrada (ed.), *Weed Management for Developing Countries*, Addendum I. FAO Plant Production and Protection Paper No. 120. Roma.
- Gaceta Oficial - Venezuela. 1986. Número 37. 425. Caracas. 6 pp.
- Galli, J. 1991. Commentary, Integrated red rice management by R. J. Smith, Pp. 159-162. En: F. Cuevas-Pérez (ed.), *Rice in Latin America: Improvement, Management and Marketing*. CIAT e IRRI. Cali, Colombia.
- Galli, J., A. L. Terres y P. V. Him. 1982. Red and cultivated rice relationships on seed production. II. Cycle, fertility and co-evolution aspects of F₁ hybrids. *Technol. Sementes* 5:1,2, 4-9. Brasil.
- García de la Osa, J. G. y L. E. Rivero. 1999. El arroz rojo. Estudios y perspectivas de su manejo en la producción arroceras cubana. Pp. 25-31. En: FAO, 1999. Roma.
- García-Quiroga, E. 1987. Release and induction of dormancy in seeds of red rice (*Oryza sativa* L.) in the field and laboratory. Ph. D. Dissertation. Mississippi State University, Mississippi, MS, USA. 95 pp. Estados Unidos de América.
- Gaudet, C. L. y P. A. Keddy. 1988. A comparative approach to predicting competitive ability from plant traits. *Nature* 334:242-243. Estados Unidos de América.

- Gealy, D. R. 2005. Gene movement between rice (*Oryza sativa*) and weedy rice (*Oryza sativa*): a temperate rice perspective. p. 323-354. En: J. Gressel (ed.), *Crop Fertility and Volunteerism*. CRC Press, Boca Ratón, FL, Estados Unidos de América.
- Gealy, D. R. y L. Estorninos. 2004a. Confirmation of red rice hybrids from crosses with rice in grower fields using SSR analysis. *Weed Sci. Soc. America Mtg.* 44:65. Estados Unidos de América.
- Gealy, D. R. y L. Estorninos. 2004b. Hybridization between red rice and rice in the U. S.: implications for gene flow and fertility. 4th Int. Weed Sci. Congress. Abstracts, p. 76. Estados Unidos de América.
- Gealy, D. R., R. H. Dilday y F. N. Lee. 2000. Differential response of U. S. *Oryza sativa* (red rice) accessions to environment, herbicides and disease. III Int. Weed Sci. Congress. Abstracts, No.514, p. 248. Estados Unidos de América.
- Gealy, D. R., D. H. Mitten y J.N. Rutger. 2003. Gene flow between red and herbicide-resistant rice: implications for weed management. *Weed Technol.* 17:627-645. Estados Unidos de América.
- Gealy, D. R., T. H. Tai y S. H. Sneller. 2002. Identification of red rice, rice and hybrid populations using microsatellite markers. *Weed Sci.* 50:333-339. Estados Unidos de América.
- Gealy, D. R., W. Yan y J. N. Rutger. 2006. Red rice (*Oryza sativa*) plant types affect growth, coloration and flowering characteristics of first and second generation crosses with rice. *Weed Tech.* 20. (En prensa). Estados Unidos de América.
- Ghosh, B. N. 1962. Agro-meteorological studies on rice. I. Influence of climatic conditions on dormancy and viability of paddy seeds. *Indian J. Agr. Sci.* 32:235-241. India.
- Goforth, A. 2004. What goes around, comes around. *Rice Farming* 38(5): 20-21. Estados Unidos de América.
- Goss, W. L. y E. Brown. 1939. Buried red rice seeds. *J. Amer. Soc. Agron.* 31:633-637. Estados Unidos de América.
- Goss, W. L. y E. Brown. 1940. Buried red rice seeds. *J. Amer. Soc. Agron.* 32:934. Estados Unidos de América.
- Graham, R. J. D. 1913. Preliminary note on the classification of rice in the Central Provinces. *Mem. Dept. Agric. India. Bot. Series*, 6(7). India.
- Grist, D. H. 1955. *Rice*. 2nd edition. Longmans and Green Co., Londres.
- Gu, X. Y., Z. X. Chen y M. E. Foley. 2003. Inheritance of seed dormancy in weedy rice. *Crop Sci.* 43: 835-843. Estados Unidos de América.
- Hayashi, J. y M. Himeno. 1974. Studies on the dormancy and germination of rice seed. III. Relations between germination of immature seed and seed dormancy, and growth inhibitors in rice. *Jap. J. Trop. Agric.* 17:245-249. Japón.
- Heatherly, L.G. 1999. The stale seed-bed planting system. Pp. 93-118. En: L G. Heatherly y H. F. Hodges (eds.), *Soybean Production in the Mid-South*. CRC Press, Washington, D. C.
- Helpert, C. H. 1981. Dormancy, germination and emergence of red rice (*Oryza sativa*). Ph. D. Dissertation. Texas A&M University, College Station, TX, Estados Unidos de América.
- Helpert, C. H. y E. F. Eastin. 1976. Red rice germination as influenced by temperature and seed treatments. *Proc.16th Rice Tech. Working Group Mtg.* 16:86. Estados Unidos de América.

- Helpert, C. H. y E. F. Eastin.** 1978. Basic red rice research in Texas. Pp. 27-29. En: E. F. Eastin (ed.), *Red Rice: research and control*. Texas Agric. Exp. Sta. Bull. B-1270. Estados Unidos de América.
- Henry, C. H. y J. B. Baker.** 1972. Anhydride seed treatment altered tolerance of rice to herbicides. Proc. 14th Rice Tech. Work Group Mtg. 14:70. Estados Unidos de América.
- Heydecker, W.** 1973. Seed ecology. Pp.1-5. En: W. Heydecker (ed.), *Seed Ecology*. Pennsylvania Univ. Press, University Park, PA. Estados Unidos de América.
- Hill, L. C.** 1978. Controlling red rice in Louisiana. Pp. 38-40. En: E. F. Eastin (ed.), *Red Rice: research and control*. Texas Agric. Exp. Sta. Bull. B-1270. Estados Unidos de América.
- Hodges, R. J.** 1957. Rice – a Big Business on the Gulf Coast Prairie. Texas Agric. Exp. Sta. Bull. 872. Estados Unidos de América.
- Horizon Ag, LLC.** 2005. Estadísticas de cultivos (sin publicar). Estados Unidos de América.
- Howard-Kandakai, L. G.** 1983. Evaluation of some chemicals for overcoming dormancy in red rice. M. S.Thesis. Mississippi State Univ., Mississippi, MS. Estados Unidos de América.
- Huey, B. A.** 1978. Red rice control program for Arkansas. Pp. 41-45. En: E. F. Eastin (ed.), *Red Rice: research and control*. Texas Agric. Exp. Sta. Bull. B-1270. Estados Unidos de América.
- Huey, B. A. y F. L. Baldwin.** 1978. Red rice control. Pp.19-25. En: E. F. Eastin (ed.), *Red Rice: research and control*. Texas Agric. Exp. Sta. Bul. B-1270. Estados Unidos de América.
- Huey, B. A. y F. L. Baldwin.** 1980. «GET THE RED OUT» – an educational program to control red rice. Proc.18th Rice Tech. Work. Group Mtg., Davis, CA. 18:92-93. Estados Unidos de América.
- Ikedo, M.** 1963. Studies on the viviparous germination of rice seed. Bull. Fac. of Agric., Katgoshima Univ. (Japan) 13:89-115. Japón.
- Ikehashi, H.** 1972. Induction and test of dormancy of rice seeds by temperature condition during maturation. Jap. J. Breed. 22:209-216. Japón.
- Ikehashi, H.** 1975. Dormancy formation and subsequent changes of germination habits in rice seeds. Jap. Agric. Res. Quart. 9:8-12. Japón.
- Jana, S., S. N. Acharya y J. M. Naylor.** 1979. Dormancy studies in seed of wild oat (*Avena fatua*). 10. Inheritance of germination behavior. Can. J. Bot. 57:1663-1667. Canadá.
- Jana, S., M. K. Upadhyaya y S. N. Acharya.** 1988. Genetic basis of dormancy and differential response to sodium azide in *Avena fatua* seed. Can. J. Bot. 66:635-641. Canadá.
- Jennings, P. R. y J. de Jesús.** 1964. Effect of heat on breaking seed dormancy in rice. Crop Sci. 4:530-533. Estados Unidos de América.
- Jennings, P. R. y J. de Jesús.** 1968. Studies on competition in rice. I. Competition in mixtures of varieties. Evolution 22:119-124. Estados Unidos de América.
- Jennings, P. R. y R. C. Aquino.** 1968. Studies on competition in rice. III. The mechanism of competition among phenotypes. Evolution 22:529-542. Estados Unidos de América.
- Jodon, N. E.** 1959. Occurrence and importance of natural crossing in rice. Rice Journal 62(8):8,10. Estados Unidos de América.

- Johnson, D. E., M. Dinghuhn, M. P. Jones y M. C. Mahamane.** 1998. The influence of rice plant type on the effect of weed competition on *Oryza sativa* and *O. glaberrima*. *Weed Res.* 38:207-216. Estados Unidos de América.
- Johnson, D. E., C. R. Riches, J. Kayeke, S. Sarra y F. A. Tuor.** 1999. Wild rice in Sub-Saharan Africa: its incidence and scope for improved management. Pp. 87-93. En: FAO, 1999. Roma.
- Jones, J. W. y J. M. Jenkins.** 1938. Rice culture in the Southern States. U.S.D.A Farmer's Bull. 1092. Estados Unidos de América.
- Jorge, A.** 1972. Producción y Certificación de Semillas. Pp. 145-156. En: Arroz, Estación Experimental del Este, CIAAB – MGA. Uruguay.
- Jorge, A. y M. Barquin.** 1980. El arroz rojo. *Investigaciones Agronómicas*, No. 1, Mayo, 1980, pp. 23-28. Centro de Investigaciones Agrícolas «Alberto Boerger», Ministerio de Agricultura y Pesca. Uruguay.
- Kaminski, R. M.** 1993. Report to V. Watson, Head, Research Support Units, Miss. Agric. & For. Exp. Sta. on results of red rice feeding trials with mallard ducks. Letter Communication w/ copy to J. C. Delouche. 23 Nov. 1993.
- Karssen, C. M.** 1982. Seasonal patterns of dormancy in weed seeds. Pp. 243-270. En: Khan, A. A. (ed.), *The Physiology and Biochemistry of Seed Development, Dormancy and Germination*. Elsevier/North-Holland Biomedical Press. Amsterdam, Países Bajos.
- Karssen, C. M., M. P. M. Derkx y B. J. Post.** 1988. Study of season variation in dormancy of *Spergula arvensis* L. seeds in a condensed annual temperature cycle. *Weed Res.* 28: 449-457. Estados Unidos de América.
- Katz, M.** 2005. Mix it up. *Rice Farming* 39(5):14-15. Estados Unidos de América.
- Kennedy, P. B.** 1923. Observations on some rice weeds in California. *Calif. Agric. Exp. Sta. Bull.* 356. Estados Unidos de América.
- Khodabaks, R. M.** 1999. Red rice in Suriname. Pp. 55-58. En: FAO, 1999. Roma.
- Khush, G. S.** 1993. Floral structure, pollination biology, breeding behavior, transfer distance and isolation considerations. Rice Biosafety. World Bank Technical Paper. Biotechnology Series, No. 1. Fundación Rockfeller. Estados Unidos de América.
- Khush, G. S.** 1997. Origin, dispersal, cultivation and variation of rice. *Plant Mol. Biol.* 35: 25-34. Estados Unidos de América.
- Klier, K. E.** 1988. Relationship of shattercane to cultivated and feral *Sorghum* in the Midwestern United States. Ph.D. Dissertation. Iowa State University, Ames, IA. Estados Unidos de América.
- Knapp, S. A.** 1899. The present status of the rice culture in the United States. *USDA Botanical Bull.* 22. Estados Unidos de América.
- Ku, M. S. B., J. Wu, Z. Dai, R. A. Scott, C. Chu y G. E. Edwards.** 1991. Photosynthetic and photorespiratory characteristics of *Flaveria* species. *Plant Physiol.* 96:518-528. Estados Unidos de América.
- Kwon, S. L., R. J. Smith y R. E. Talbert.** 1991a. Interference of red rice (*Oryza sativa*) densities in rice (*O. sativa*). *Weed Sci.* 39:169-174. Estados Unidos de América.
- Kwon, S. L., R. J. Smith y R. E. Talbert.** 1991b. Interference durations of red rice (*Oryza sativa*) in rice (*O. sativa*). *Weed Sci.* 39:363-368. Estados Unidos de América.
- Kwon, S. L., R. J. Smith y R. E. Talbert.** 1992. Comparative growth and development of red rice (*Oryza sativa*) and rice (*O. sativa*). *Weed Sci.* 40:57-62. Estados Unidos de América.

- Labrada, R.** 1999. Introduction to the Global Workshop. Pp.5-8. En: FAO, 1999. Roma.
- Labrada, R.** (sin fecha). Present trends in weed management. <http://www.fao.org/DOCREP/006/Y5031E/y5031e0j.htm#bm19>
- Langevin, S. A., K. Clay y J. B. Grace.** 1990. The incidence and effects of hybridization between cultivated rice and its related weed red rice (*Oryza sativa* L.). *Evolution* 44: 1000-8. Estados Unidos de América.
- Larinde, M. A.** 1979. Seed maturation, development and release of dormancy in red rice. M. S. Thesis. Mississippi State University, Mississippi, MS. Estados Unidos de América.
- Laude, H. H.** 1918. Control of weeds in rice fields. *Texas Agric. Exp. Sta. Bull.* 239. 11 pp. Estados Unidos de América.
- Lentini, Z. y A. M. Espinoza.** 2005. Coexistence of weed rice and rice in Tropical America. Pp. 305-322. En: J. Gressel (ed.), *Crop Fertility and Volunteerism*. CRC Press, Boca Raton, FL. Estados Unidos de América.
- Leopold, A. C., R. Glenister y M. A. Cohn.** 1988. Relationship between water content and afterripening in red rice. *Physiol. Plant.* 74:659-662. Estados Unidos de América.
- Lin, C. I. y S. T. Tseng.** 1959. Breaking dormancy of rice grain by sulfuric acid treatment. National Taiwan Univ., College of Agric., Taipei, Taiwan provincia de China. *Misc. Pub.* No. 11. China.
- Linscombe, S. D., P. Christou, M. P. Braverman, F. Jodari y P.K. Bollich.** 1994. Evaluation of transgenic glufosinate-resistant rice lines. 25th Rice Tech. Work. Group Mtg. 25:54. Estados Unidos de América.
- Louisiana State Seed Testing Laboratory.** 1980. A potassium hydroxide test for confirmation of red rice (*Oryza sativa* L.) seed. *Assoc. Off. Seed Anal. Newsletter*, 54: 68-69. Estados Unidos de América.
- Maguire, J.D.** 1962. Speed of germination – aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Sci.* 2:176-177. Estados Unidos de América.
- Manning, E.** 1998. Water cleanup helps control red rice. *Progressive Farmer* (Mid-South Edition). 113(8):24. Estados Unidos de América.
- Mariot, C.** 1971. Analise de semente de arroz. *Lavoura Arrozeira* (Brazil). No. 262, pp. 3-8. Brasil.
- Marques, L. F., J. Galli, A. L. Terres y D. C. Melho.** 1983. Variability in red and black hulled rice (*Oryza sativa* L.) and its consequences in seed production. *Lavoura Arrozeira* 36:83-86. Brasil.
- Martinez, G.T.** 1999. El arroz rojo en México (Red rice in Mexico.) Pp.37-39. En: FAO, 1999. Roma.
- McGregor, J. T., R. J. Smith, Jr. y R. E. Talbert.** 1988. Broadleaf signalgrass (*Brachiaria platphylla*) duration of interference in rice (*Oryza sativa*). *Weed Sci.* 36:747-750. Estados Unidos de América.
- Mikkelsen, D. S. y M. N. Sinah.** 1961. Germination inhibition in *Oryza sativa* and control by preplanting soaking treatments. *Crop Sci.* 1: 332-335.
- Montealegre, F. y J. P. Vargas.** 1992. Management and characterization of red rice in Colombia. Pp.119-139. En: Cuevas-Pérez, F. (ed.), *Rice in Latin America: Improvement, Management and Marketing*. CIAT e IRRI. Cali, Colombia.
- Moore, J. W., T. L. Dillon, R. E. Talbert, F. L. Baldwin, L. E. Estorninos, D. R. Gealy y N. R. Burgos.** 2001. Evaluating gene flow between *Clearfield* rice and Stuttgart strawhull

- red rice. En: R. J. Norman y J. F. Meullenet (eds.), BR Wells Rice Research Series 2001. University of Arkansas, Agr. Exp. Sta. Series 495:88-91. Estados Unidos de América. <http://www.uark.edu/depts/agripub/publications>.
- Moreno, O. J.** 1990. Evaluation of competitiveness and dormancy releasing treatments in red rices (*Oryza sativa* L.). M. S. Thesis. Mississippi State University, Mississippi, MS. Estados Unidos de América.
- Mouret, J. C.** 1999. Strategies and effects of cropping practices on the level of red rice infestations in the Camargue (France). Pp.115-122. En: FAO, 1999. Roma.
- Murdoch, A. J. y R. H. Ellis.** 1992. Longevity, viability and dormancy. Pp.193-229. En: Fenner, M., (ed.), *The Ecology of Regeneration in Plant Communities*. CAB International, Reino Unido.
- Murty, K. S. y P. Roghavaiah.** 1966. Observations on dormancy in rice seed. *Current Sci.* (India) 35:548-549. India.
- Nair, V. G., B. W. X. Ponnaiya y V. S. Raman.** 1964. Studies on seed dormancy in certain short-duration rice varieties. *Indian J. Agric. Sci.* 35:234-246. India.
- Nakamura, S.** 1963. Short communication on dormancy in rice seed. *Proc. Int. Seed Test. Assoc.* 28:57-59. Suiza.
- Nelson, R. J.** 1907. Rice culture. *Arkansas Agric. Bull.* 94. Estados Unidos de América.
- Nelson, R. J.** 1908. Rice. *Arkansas Agric. Bull.* 98. Estados Unidos de América.
- Noldin, J. A.** 1995. Characterization, seed longevity, and herbicide sensitivity of red rice (*Oryza sativa* L.) ecotypes, and red rice control in soybeans [*Glycine max* (L.) Merr.] Ph. D. Dissertation. Texas A & M University, College Station, TX. Estados Unidos de América.
- Noldin, J. A., J. M. Chandler y G. N. McCauley.** 1999. Red rice (*Oryza sativa*) biology. I. Characterization of red rice ecotypes. *Weed Technol.* 13:12-18. Estados Unidos de América.
- Noldin, J. A. y T. Cobucci.** 1999. Red rice infestation and management in Brazil. Pp. 9-12. En: FAO, 1999. Roma.
- Nugraha, U. S. y Soejadi.** 1991. Predrying and soaking IR 64 rice seeds as an effective method for overcoming dormancy. *Seed Sci.& Technol.* 19:207-213. Suiza.
- Oard, J., M. A. Cohn, S. Linscombe, D.R. Gealy y K Gravois.** 2000. Field evaluation of seed production, shattering and dormancy in hybrid populations of transgenic rice (*Oryza sativa*) and the weed, red rice (*Oryza sativa*). *Plant Science* 157:13-22. Estados Unidos de América.
- Oka, H. I. y W. T. Chang.** 1959. The impact of cultivation on populations of wild rice, *Oryza sativa* f. *spontanea*. *Phyton* 13:105-117. Estados Unidos de América.
- Olofsson, M., B. E. Valverde y K. H. Madsen.** 1999. Herbicide resistant rice (*Oryza sativa* L.) – a threat or a solution. Pp. 123-142. En: FAO, 1999. Roma.
- Orsenigo, M., G. Patrignani y N. Rascio.** 1997. Ecophysiology of C3, C4 and CAM plants. Pp. 1-25. En: M. Pessaraki (ed.), *Handbook of Photosynthesis*. Marcel and Dekker, Inc. New York, NY. Estados Unidos de América.
- Osborn, T. and A. Faye.** 1991. Using farmer participatory research to improve seed and food grain production in Senegal. Development. Studies Paper Series, Winrock Int. Inst. for Agric. Dev. July, 1991, Morrilton, AK. Estados Unidos de América.

- Ottis, B. V., K. L. Smith, R. C. Scott y R. E. Talbert. 2005. Rice (*Oryza sativa* L.), yield and quality as affected by cultivar and red rice (*Oryza sativa* L.) density. Weed Technol. (En prensa). Estados Unidos de América.
- Paquiot, K. 1992. Evaluation of methods for releasing seed dormancy in cultivated and red rices. M. S. Thesis. Mississippi State University, Mississippi, MS. Estados Unidos de América.
- Pantone, D. J. y J. B. Baker. 1991a. Reciprocal yield analysis of red rice (*Oryza sativa*) competition in cultivated rice. Weed Sci. 39:42-47. Estados Unidos de América.
- Pantone, D. J. y J. B. Baker. 1991b. Weed-crop competition models and response-surface analysis of red rice competition in cultivated rice. Crop Sci. 31:1105-1110. Estados Unidos de América.
- Pantone, D. J., J. B. Baker y P. W. Jordan. 1992. Path-analysis of red rice (*Oryza sativa* L.) competition with cultivated rice. Weed Sci. 40:313-319. Estados Unidos de América.
- Parker, C. y M. L. Dean. 1976. Control of wild rice in rice. Pesticide Sci. 7:403-416. Estados Unidos de América.
- Peske, S. T., A. C. S. A. Barros, M. M. Nunes y L. H. Ferreira. 1997. Sobrevivencia de sementes de arroz vermelho depositadas no solo. Rev. Bras. de Agrociencia, 3(1):17-22. Brasil.
- Petrini, J. A., D. F. Franco, A. S. Gomes, O. J. Smiderle y J. P. Artuzi. 1993a. Comportamento de sementes dormentes de arroz vermelho (*Oryza sativa* L.) submetidas a diferentes condições de umidade do solo e profundidades de localização. 1992. Anais Reuniao Cultura Arroz Irrigado 20:286-288. Brasil.
- Petrini, J. A., D. F. Franco, A. S. Gomes, O. J. Smiderle y J. P. Artuzi. 1993b. Viabilidade de sementes de arroz vermelho (*Oryza sativa* L.) em função da submersão do solo água e da profundidade de localização da semente. Anais Reuniao Cultura Arroz Irrigado 20: 283-286. Brasil.
- Pili, E. C. 1968. Dormancy of rice seeds – its causes and methods of breaking. Philippine J. Plant Industry. 33:127-133. Filipinas.
- Pitty, N. 1988. Effects of temperature on germination and dormancy release in cultivated and red rices (*Oryza sativa* L.). M. S. Thesis. Mississippi State University, Mississippi, MS. Estados Unidos de América.
- Posada, D. A. 1992. Evolution of rice production and exports in Uruguay. Pp. 191-205. En: Cuevas-Pérez, F. (ed.), *Rice in Latin America: Improvement, Management, and Marketing*. CIAT e IRRI, Cali, Colombia.
- Powers, K. D., R. E. Noble y R. M. Chabreck. 1978. Seed distribution by waterfowl in Southwestern Louisiana. Jour. Wildlife Mgt. 42(3):598-605. Estados Unidos de América.
- Quereau, F. C. 1920. Rice investigations. Louisiana Agric. Exp. Sta. Bul. 172. Estados Unidos de América.
- Radosevich, S., J. Holt y C. Ghersa. 1997. Weed Ecology: Implications for Management. 2nd. Ed. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY. Estados Unidos de América.
- Rajanna, B. y C. H. Andrews. 1970. Trends in seed maturation of rice. Proc. Assoc. Off. Seed Anal. 60:88-196. Estados Unidos de América.
- Rajguru, S. N., N. R. Burgos, D. R. Gealy y J. McD. Stewart. 2001. Genetic fingerprinting of red rice using SSR primers. En: R. J. Norman y J. F. Meullenet (eds.), BR Wells Rice Research Series 2001. University of Arkansas, Agr. Exp. Sta. Series 495:53-56. Estados Unidos de América. <http://www.uark.edu/depts/agripub/publications>.

- Randall, C.G.** 1950. The occurrence of red rice in California seed rice. California Depart. Agric., *The Bulletin*, XXXIX (#2):104-106. Estados Unidos de América.
- Rathore, K. S., K.V. Rao y T. K. Hodges.** 1994. Production of herbicide resistant rice plants from protoplasts. 25th Rice Tech. Work. Group Mtg. 25:145-146. Estados Unidos de América.
- Richard, E. P. y J. B. Baker.** 1979. Responses of selected rice (*Oryza sativa*) lines to molinate. *Weed Sci.* 27:219-223. Estados Unidos de América.
- Roberts, E.H.** 1961a. Dormancy in rice seed. I. The distribution of dormancy periods. *J. Exp. Bot.* 12:319-329. Estados Unidos de América.
- Roberts, E. H.** 1961b. Dormancy in seed rice. II. The influence of covering structures. *J. Exp. Bot.* 12:430-445. Estados Unidos de América.
- Roberts, E. H.** 1962. Dormancy in rice seed. III. The influence of temperature, moisture and gaseous environment. *J. Exp. Bot.* 13:75-94. Estados Unidos de América.
- Roberts, E. H.** 1963. The effects of inorganic ions on dormancy in rice seed. *Physiol. Plant.* 16:732-744. Estados Unidos de América.
- Roberts, E. H.** 1964a. The distribution of oxidation-reduction enzymes and the effects of respiration inhibitors and oxidizing agents on dormancy in rice seed. *Physiol. Plant.* 17: 14-29. Estados Unidos de América.
- Roberts, E. H.** 1964b. A survey of the effects of chemical treatments on dormancy in rice seed. *Physiol. Plant.* 17:30-43. Estados Unidos de América.
- Roberts, E. H.** 1973. Oxidative processes and control of seed germination. Pp. 189-218. En: Heydecker, W. (ed.), *Seed Ecology*. The Penn. Univ. Press, Univ. Park, PA. Estados Unidos de América.
- Roberts, E. H. y R. D. Smith.** 1977. Dormancy and the pentose phosphate pathway. Pp. 385-411. En: Khan, A. A. (ed.), *The Physiology and Biochemistry of Seed Dormancy and Germination*, Elsevier/North-Holland Biomedical Press. Amsterdam, Países Bajos.
- Rosta, K.** 1975. Variety determination in rice (*Oryza sativa* L.) *Seed Sci. & Technol.* 3:161-169. Estados Unidos de América.
- Roy, S. C.** 1921. A preliminary classification of the wild rices of the Central Provinces and Perar. *Agric. Jour. India.* 16:365-380. India.
- Saldain, N. E. y E. Deambrosi.** 2000. Suppression of seed viability of red rice (*Oryza sativa* L.) using maleic hydrazide and glyphosate. III Int. *Weed Sci. Congress. Abstracts*, No. 512, p. 247. Estados Unidos de América.
- Saldain, N. E. y E. Deambrosi.** 2003. Supresión de la semillazón del arroz rojo (*Oryza* sp.) por la aplicación de hidracida maleica y glifosato. 3era. Conferencia Internacional de Arroz de Clima Templado. Punta del Este, Uruguay.
- Scherer, C. H.** 1987. Diagnóstico do arroz vermelho. *Lavoura Arrozeira*, (40) 736, 10 - 12. Brasil.
- Shannon, P.** 2004. USDA-ARS, Beaumont, TX, y Steve Linscombe, Louisiana State University, Crowley, LA. Estados Unidos de América.(Comunicación personal, citada en Gealy, 2005).
- Shivrain, V. K.** 2004. Phenotypic characterization and natural variation in the ALS gene of red rice. M. S. Thesis., University of Arkansas, Fayetteville, AR. Estados Unidos de América.

- Shivrain, V. K., N. R. Burgos, K. A. K. Moldenhauer, R. W. McNew y T. L. Baldwin. 2006b. Characterization of spontaneous crosses between *Clearfield* rice (*Oryza sativa*) and red rice (*Oryza sativa*). *Weed Technol.* (En prensa). Estados Unidos de América.
- Shivrain, V. K., N. R. Burgos, S. N. Rajguru, M. M. Anders, J. Moore y M. A. Sales. 2006a. Gene flow between *Clearfield* and red rice. *Crop Prot.* (En prensa). Estados Unidos de América.
- Sikder, H. P. 1967. Dormancy of paddy seeds in relation to different seed treatments. *Exp. Agric.* 32:249-255. Estados Unidos de América.
- Simpson, G. M. 1990. *Seed Dormancy in Grasses*. Cambridge Univ. Press. Cambridge, Reino Unido.
- Singh, R. J. y G. S. Khush. 2000. Cytogenetics of rice. Pp. 287-311. En: J. S. Nanda (ed.), *Rice Breeding and Genetics – Research Priorities and Challenges*. Enfield, NH: Science Publishers, Inc. Estados Unidos de América.
- Sitch, L. A. 1990. Incompatibility barriers operating in crosses of *Oryza sativa* with related species and genera. Pp. 77-93. En: J. P. Gustafson (ed.), *Gene Manipulation in Plant Improvement*. II. 19th Stadler Genetics Symposium. Plenum Press, New York, NY. Estados Unidos de América.
- Small, L. 1999. Red rice incidence in Guyana. Pp. 33-37. En: FAO, 1999. Roma.
- Smith, R. J., Jr. 1968. Weed competition in rice. *Weed Sci.* 16:252-255. Estados Unidos de América.
- Smith, R. J. Jr. 1972. Research on the control of red rice in rice. Proc. 14th Rice Tech. Work. Group Mtg. 14:69-70. Estados Unidos de América.
- Smith, R. J. Jr. 1976. Crop and herbicide systems for red rice control in rice. Proc. Sou. Weed Sci. Soc. (USA). Estados Unidos de América.
- Smith, R. J. Jr. 1981. Control of red rice (*Oryza sativa*) in water seeded rice (*Oryza sativa*). *Weed Sci.* 29:663-666. Estados Unidos de América.
- Smith, R. J. Jr. 1988. Weed thresholds in southern U. S. rice (*Oryza sativa*). *Weed Technol.* 2:232-241. Estados Unidos de América.
- Smith, R. J. Jr. 1992. Integrated red rice management. Pp. 143-158. En: Cuevas-Pérez, F. (ed.), *Rice in Latin America: Improvement, Management, and Marketing*. CIAT e IRRI, Cali, Colombia.
- Smith R. J. Jr. y J. D. Sullivan. 1980. Reduction of red rice grain in rice fields by winter feeding of ducks. *Arkansas Farm Res.* 29:3. Estados Unidos de América.
- Smith, R. J. Jr., W. T. Flinchum y D. E. Seaman. 1977. Weed control in U. S. rice production. USDA Agric. Handbook 497. Estados Unidos de América.
- Song, Z. P., B. R. Lu, Y. G. Zhu y K. K. Chen. 2003. Gene flow from cultivated rice to the wild species *Oryza rufipogon* under experimental field conditions. *New Phytol.* 157: 657-665. Estados Unidos de América.
- Sonnier, E. A. 1963. Red rice studies – viability study. 55th Ann. Prog. Rept., Louisiana Rice Exp. Sta., Crowley, LA. Estados Unidos de América.
- Sonnier, E. A. 1965. Red rice studies. 57th Ann. Progr. Rept, Louisiana Rice Exp. Sta., Crowley, LA. Estados Unidos de América.
- Sonnier, E. A. 1978. Cultural control of red rice. Pp. 10-15. In: Eastin, E. F. (ed.), *Red rice: research and control*. Tex. Agric. Exp. Sta. Bull. B-1270. Estados Unidos de América.

- Sorour, S. E.** 1992. Variation among rice varieties and red rice lines in initial level and period of seed dormancy. M. S. Thesis. Mississippi State University, Mississippi, MS. Estados Unidos de América.
- Stansel, J. W.** 1975. The rice plant – its development and yield. En: *Six Decades of Rice Research in Texas*. Texas Agric. Exp. Station. Research Monograph 4, June, 1975. Estados Unidos de América.
- Stansel, J. W., C. N. Bollich, J. R. Thysell y V. I. Hall.** 1965. The influence of light intensity and nitrogen fertility on rice components of yield. *Rice*. J. 68:34-39, 49. Estados Unidos de América.
- Stiers, E. N.** 2002. Determination of competitive characteristics in red rice (*Oryza sativa* L.). M. S. Thesis. University of Arkansas, Fayetteville, AR. Estados Unidos de América.
- Stiles, E. W.** 1992. Animals as seed dispersers. Pp. 87-104. En: Fenner, M., (ed.), *The Ecology of Regeneration in Plant Communities*. CAB International, Reino Unido.
- Stroud, D. y H. M. Kemper.** 1989. Wick/wiper. Pp.148-150. En: *Principles of Weed Control in California*. California Weed Conference. Thompson Publications, Fresno, CA. Estados Unidos de América.
- Stubbs, W. C., W. R. Dodson y C. A. Brown.** 1904. Rice: history, preparation of soil, planting, flooding, harvesting, noxious weeds in rice fields, feeding rice bran and rice polish, and determination of digestable nutrients. Louisiana State University, Louisiana Agric. Exp. Sta. Bulletin, 2nd Series. 77:362-428. Estados Unidos de América.
- Tang, L. H. y H. Morishima.** 1996. Genetic characteristics and origin of weedy rice. China Agricultural University Press. China.
- Tang, W. T. y S. M. Chiang.** 1958. Studies on the dormancy of rice seed. *Field Crop Abstr.* No. 1509-260. Estados Unidos de América.
- Teekachunhatean, T.** 1985. Release, induction and significance of dormancy in seeds of red rice (*Oryza sativa* L.). Ph. D. Dissertation. Mississippi State University, Mississippi, MS. Estados Unidos de América.
- Teekachunhatean, T. y J. C. Delouche.** 1986. Release of dormancy in red rice seed under field conditions in Mississippi. *Proc. 23rd Rice Tech. Working Group Mtg.* (Beaumont, TX). 23:61. Estados Unidos de América.
- Texas A & M University.** 1975. Six decades of rice research in Texas. Texas Agric. Exp. Sta. & U. S. Dept. of Agric. Research Monograph No. 4, June, 1975. Estados Unidos de América.
- Umali, D. L., M. H. Parker y R. C. Dumlao.** 1960. A preliminary study on the cancellation of dormancy period in rice seed. *Philippine Agric.* 44:279-284. Filipinas.
- USDA.** 1850. United States Department of Agriculture, DeBow's Review. 9:421-426. Estados Unidos de América.
- Valverde, B. E.** 2000. Herbicide resistance in weeds and rice cultivars. III Int. Weed Sci. Congress. Abstracts, No. 511, p. 246. Estados Unidos de América.
- Valverde, B. E.** 2005. The damage by weedy rice – can feral rice remain undetected? Pp.279-294. En: J. Gressel (ed.), *Crop Fertility and Volunteerism*. CRC Press, Boca Ratón, FL. Estados Unidos de América.
- Vaughan, D. A. y M. Morishima.** 2003. Biosystematics of the genus *Oryza*. Chapter 1.2., pp. 27-65. En: Smith, W. C. and R. H. Dilday (eds.), *Rice: Origin, History, Technology, and Production*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ. Estados Unidos de América.

- Vaughan, D. A., P. L. Sánchez, J. Ushiki, A. Kago, N. Tomooka. 2005. Asian rice and weedy rice evolutionary perspectives. Pp. 257-277. En: J. Gressel (ed.), *Crop Feralilty and Volunteerism*. CRC Press, Boca Ratón, FL. Estados Unidos de América.
- Vaughan, L. K., B. V. Ottis, A. M. Parazak-Havey, C. A. Bormas, C. Sneller y J. M. Chandler. 2001. Is all red rice found in commercial rice really *Oryza sativa*? *Weed Sci.* 49:468-476. Estados Unidos de América.
- Vegis, A. 1964. Dormancy in higher plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 15:185-224. Estados Unidos de América.
- Veras, R. D. 1984. Separation of red rice and medium grain rice from long grain rice. M. S. Thesis. Mississippi State University, Mississippi, MS. Estados Unidos de América.
- Vidotto, F. y A. Ferrero. 2005. Modeling population dynamics to overcome feral rice in rice. Pp. 355-370. En: J. Gressel (ed.), *Crop Feralilty and Volunteerism*. CRC Press, Boca Ratón, FL. Estados Unidos de América.
- Vivekanandan, A., A. Thyagarajan, B. Balasubramanan, S. Kannaiyan y M. Ramachandran. 1979. TKM9 – an improved red rice variety. *Int. Rice Res. Newsletter* 4:3-7.
- Wague, K. 1992. Comparison of seedling vigor and competitiveness in selected red rices and cultivated rices. M. S. Thesis. Mississippi State University, Mississippi, MS. Estados Unidos de América.
- Watt, G. 1891. Dictionary of the economic products of India. 5:498-654. India.
- Weir, H. L. 1959. Some observations on the germination of rice seed. *Proc. Assoc. Off. Seed Anal.* 49:80-81. Estados Unidos de América.
- Wheeler, C. C. y D. O. TeBeest. 2001. Hybridization of glufosinate-tolerant rice (*Oryza sativa*) and red rice (*Oryza sativa*). En: R. J. Norman y J. F. Meullenet (eds.), BR Wells Rice Research Series 2001. Univ. of Arkansas, Agr. Exp. Sta. Series 495:58-64. Estados Unidos de América. <http://www.uark.edu/depts/agripub/publications>.
- Williams, R. C. 1956. Weeds in rice. *Rice Jour.* 59:8. Estados Unidos de América.
- Wirjahardja, S. y C. Parker. 1978. Chemical control of wild and red rice. *Proc. Asian-Pacific Weed Sci. Soc. Conf.* 6:315-321.
- Wirjahardja, R. C. y H. Susilo. 1979. Chemical control of wild perennial *Oryza rufipogon* Griff. and Indonesian red rice. *Proc. Asian-Pacific Weed Sci. Soc. Conf.* 7:19-24.
- Yeo, M. E., A. R. Yeo y T. J. Flowers. 1994. Photosynthesis and photorespiration in the genus *Oryza*. *J. Exp. Bot.* 45:553-560. Estados Unidos de América.
- Yoshida, S. 1981. Growth and development of the rice plant. Pp. 55-58. En: *Fundamentals of Rice Crop Science*. IRRI, Los Baños, Filipinas.
- Zhang, W., S. Linscombe, E. Webster y J. Oard. 2003. Out-crossing frequency and genetic analysis of hybrids between transgenic glufosinate herbicide-resistant rice and the weed, red rice. *Euphytica* 130:35-45. Estados Unidos de América.
- Zhang, W., S. Linscombe, E. Webster y J. Oard. 2004. Risk assessment and genetic analysis of natural outcrossing in Louisiana commercial fields between *Clearfield* rice and the weed, red rice. 30th Rice Tech. Work. Group Mtg. 30: 125. Estados Unidos de América.
- Zhao, D. y D. Oosterhuis. 1998. Cotton responses to shade at different growth stages: nonstructural carbohydrate composition. *Crop Sci.* 38:1196-1203. Estados Unidos de América.

- Zorrilla, G. y A. Acevedo.** 1985. Encuesta de semillas de arroz - año 1984. En: Resultados de la Experimentación Regional en Cultivos: Arroz - Soja, 1984 - 1985. CIAAB - MGA, Estación Experimental del Este. Uruguay.
- Zorrilla, G.** 1998. La Situación del Arroz Rojo en el Uruguay. En: I Seminario Latino-Americano sobre Arroz Rojo. Porto Alegre, Brasil.

Esta publicación presenta una compilación de información sobre los conocimientos disponibles en investigaciones inéditas, informes de investigación y simposios llevados a cabo sobre diferentes aspectos de la importancia, ecología, biología y control de los arroces maleza. También remarca los problemas económicos globales y ambientales creados por los arroces maleza, incluyendo los varios tipos de arroz rojo. Este documento es el resultado de los convenios de la FAO con instituciones de excelencia asociadas y puesto a disposición para el uso público con la intención de satisfacer los objetivos de la seguridad alimentaria. Dado que esta publicación es de valor para una gran cantidad de interesados –diseñadores de políticas, investigadores, técnicos y productores– incluyendo aquellas personas interesadas en investigaciones, producción, elaboración comercial, regulaciones cuarentenarias y comercio de semillas del cultivo del arroz, se ha intentado definir arroz maleza, arroz silvestre y arroz rojo de modo de sentar una base de entendimiento sobre los distintos grupos de esta plaga. La información proporcionada en esta publicación contribuirá sin duda a un mejor conocimiento de los arroces maleza en todo el mundo.



CUADERNOS TÉCNICOS DE LA FAO

ESTUDIOS FAO: PRODUCCIÓN Y PROTECCIÓN VEGETAL

- | | | | |
|---------|--|---------|---|
| 1 | Horticulture: a select bibliography, 1976 (I) | 25 | Prosopis tamarugo: arbusto forrajero para zonas áridas, 1981 (E F I) |
| 2 | Cotton specialists and research institutions in selected countries, 1976 (I) | 26 | Residuos de plaguicidas en los alimentos 1980 – Informe, 1981 (E F I) |
| 3 | Las leguminosas alimenticias: su distribución, su capacidad de adaptación y biología de los rendimientos, 1978 (E F I) | 26 Sup. | Pesticide residues in food 1980 – Evaluations, 1981 (I) |
| 4 | La producción de soja en los trópicos, 1978 (C E F I) | 27 | Small-scale cash crop farming in South Asia, 1981 (I) |
| 4 Rev. | 1. Soybean production in the tropics (first revision), 1982 (I) | 28 | Criterios ecológicos para el registro de plaguicidas (segunda consulta de expertos), 1982 (E F I) |
| 5 | Les systèmes pastoraux sahéliens, 1977 (F) | 29 | Sesame: status and improvement, 1981 (I) |
| 6 | Resistencia de las plagas a los plaguicidas y evaluación de las pérdidas agrícolas – 1, 1977 (E F I) | 30 | Palm tissue culture, 1981 (C I) |
| 6/2 | Resistencia de las plagas a los plaguicidas y evaluación de las pérdidas agrícolas – 2, 1980 (E F I) | 31 | An eco-climatic classification of intertropical Africa, 1981 (I) |
| 6/3 | Resistencia de las plagas a los plaguicidas y evaluación de las pérdidas agrícolas – 3, 1983 (E F I) | 32 | Weeds in tropical crops: selected abstracts, 1981 (I) |
| 7 | Rodent pest biology and control – Bibliography 1970-74, 1977 (I) | 32 Sup. | 1. Weeds in tropical crops: review of abstracts, 1982 (I) |
| 8 | Tropical pasture seed production, 1979 (E** F** I) | 33 | Plant collecting and herbarium development, 1981 (I) |
| 9 | Food legume crops: improvement and production, 1977 (I) | 34 | Improvement of nutritional quality of food crops, 1981 (C I) |
| 10 | Residuos de plaguicidas en los alimentos 1977 – Informe, 1978 (E F I) | 35 | Date production and protection, 1982 (I) |
| 10 Sup. | Pesticide residues in food 1977 – Evaluations, 1978 (I) | 36 | El cultivo y la utilización del tarwi – <i>Lupinus mutabilis</i> Sweet, 1982 (E) |
| 11 | Residuos de plaguicidas en los alimentos 1965-78 – Índice y resumen, 1978 (E F I) | 37 | Residuos de plaguicidas en los alimentos 1981 – Informe, 1982 (E F I) |
| 12 | Calendarios culturales, 1978 (E/F/I) | 38 | Winged bean production in the tropics, 1982 (I) |
| 13 | Empleo de las especificaciones de la FAO para productos destinados a la protección de las plantas, 1978 (E F I) | 39 | Semillas, 1982 (E/F/I) |
| 14 | Manual de control integrado de plagas del arroz, 1979 (Ar C E F I) | 40 | La lucha contra los roedores en la agricultura, 1984 (Ar C E F I) |
| 15 | Residuos de plaguicidas en los alimentos 1978 – Informe, 1979 (E F I) | 41 | Rice development and rainfed rice production, 1982 (I) |
| 15 Sup. | Pesticide residues in food 1978 – Evaluations, 1979 (I) | 42 | Pesticide residues in food 1981 – Evaluations, 1982 (I) |
| 16 | Rodenticidas: análisis, especificaciones, preparados para uso en salud pública y agricultura, 1986 (E F I) | 43 | Manual on mushroom cultivation, 1983 (F I) |
| 17 | Pronóstico de cosechas basado en datos agrometeorológicos, 1980 (C E F I) | 44 | Mejoramiento del control de malezas, 1985 (E F I) |
| 18 | Guidelines for integrated control of maize pests, 1979 (C I) | 45 | Pocket computers in agrometeorology, 1983 (I) |
| 19 | Introducción al control integrado de las plagas del sorgo, 1980 (E F I) | 46 | Residuos de plaguicidas en los alimentos 1982 – Informe, 1983 (E F I) |
| 20 | Residuos de plaguicidas en los alimentos 1979 – Informe, 1980 (E F I) | 47 | The sago palm, 1983 (F I) |
| 20 Sup. | Pesticide residues in food 1979 – Evaluations, 1980 (I) | 48 | Control integrado de plagas del algodón, 1985 (Ar E F I) |
| 21 | Recommended methods for measurement of pest resistance to pesticides, 1980 (F I) | 49 | Pesticide residues in food 1982 – Evaluations, 1983 (I) |
| 22 | China: multiple cropping and related crop production technology, 1980 (I) | 50 | International plant quarantine treatment manual, 1983 (C I) |
| 23 | China: development of olive production, 1980 (I) | 51 | Handbook on jute, 1983 (I) |
| 24/1 | Improvement and production of maize, sorghum and millet – Vol. 1. General principles, 1980 (F I) | 52 | The palmyrah palm: potential and perspectives, 1983 (I) |
| 24/2 | Improvement and production of maize, sorghum and millet – Vol. 2. Breeding, agronomy and seed production, 1980 (F I) | 53/1 | Selected medicinal plants, 1983 (I) |
| | | 54 | Manual de fumigación contra insectos, 1986 (C E F I) |
| | | 55 | Breeding for durable disease and pest resistance, 1984 (C I) |
| | | 56 | Residuos de plaguicidas en los alimentos 1983 – Informe, 1984 (E F I) |
| | | 57 | El cocotero, árbol de vida, 1986 (E I) |
| | | 58 | Directrices económicas para la lucha contra las plagas en la agricultura, 1985 (E F I) |
| | | 59 | Micropropagation of selected rootcrops, palms, citrus and ornamental species, 1984 (I) |

60	Requisitos mínimos para recibir y mantener material de propagación en cultivo de tejidos, 1985 (E F I)	89	Vegetable production under arid and semi-arid conditions in tropical Africa, 1988 (F I)
61	Pesticide residues in food 1983 – Evaluations, 1985 (I)	90	El cultivo protegido en clima mediterráneo, 2002 (E F I)
62	Residuos de plaguicidas en los alimentos 1984 – Informe, 1985 (E F I)	91	Pasto y ganado bajo los cocoteros, 1994 (E I)
63	Manual of pest control for food security reserve grain stocks, 1985 (C I)	92	Residuos de plaguicidas en los alimentos 1988 – Informe, 1989 (E F I)
64	Contribution à l'écologie des aphides africains, 1985 (F)	93/1	Pesticide residues in food 1988 – Evaluations – Part I: Residues, 1988 (I)
65	Amélioration de la culture irriguée du riz des petits fermiers, 1985 (F)	93/2	Pesticide residues in food 1988 – Evaluations – Part II: Toxicology, 1989 (I)
66	Sesame and safflower: status and potentials, 1985 (I)	94	Utilization of genetic resources: suitable approaches, agronomical evaluation and use, 1989 (I)
67	Pesticide residues in food 1984 – Evaluations, 1985 (I)	95	Rodent pests and their control in the Near East, 1989 (I)
68	Residuos de plaguicidas en los alimentos 1985 – Informe, 1986 (E F I)	96	<i>Striga</i> – Improved management in Africa, 1989 (I)
69	Breeding for horizontal resistance to wheat diseases, 1986 (I)	97/1	Fodders for the Near East: alfalfa, 1989 (Ar I)
70	Breeding for durable resistance in perennial crops, 1986(I)	97/2	Fodders for the Near East: annual medic pastures, 1989 (Ar F I)
71	Technical guideline on seed potato micropropagation and multiplication, 1986 (I)	98	An annotated bibliography on rodent research in Latin America 1960-1985, 1989 (I)
72/1	Pesticide residues in food 1985 – Evaluations – Part I: Residues, 1986 (I)	99	Residuos de plaguicidas en los alimentos 1989 – Informe, 1989 (E F I)
72/2	Pesticide residues in food 1985 – Evaluations – Part II: Toxicology, 1986 (I)	100	Pesticide residues in food 1989 – Evaluations – Part I: Residues, 1990 (I)
73	Pronóstico agrometeorológico del rendimiento de los cultivos, 1986 (E F I)	100/2	Pesticide residues in food 1989 – Evaluations – Part II: Toxicology, 1990 (I)
74	Ecología y control de malezas perennes en América Latina, 1986 (E I)	101	Soilless culture for horticultural crop production, 1990 (I)
75	Guía técnica para ensayos de variedades en campo, 1986 (E I)	102	Residuos de plaguicidas en los alimentos 1990 – Informe, 1991 (E F I)
76	Guidelines for seed exchange and plant introduction in tropical crops, 1986 (I)	103/1	Pesticide residues in food 1990 – Evaluations – Part I: Residues, 1990 (I)
77	Residuos de plaguicidas en los alimentos 1986 – Informe, 1987 (E F I)	104	Major weeds of the Near East, 1991 (I)
78	Pesticide residues in food 1986 – Evaluations – Part I: Residues, 1986 (I)	105	Fundamentos teórico-prácticos del cultivo de tejidos vegetales, 1990 (E)
78/2	Pesticide residues in food 1986 – Evaluations – Part II: Toxicology, 1987 (I)	106	Technical guidelines for mushroom growing in the tropics, 1990 (I)
79	Tissue culture of selected tropical fruit plants, 1987 (I)	107	<i>Gynandropsis gynandra</i> (L.) Briq. – a tropical leafy vegetable – its cultivation and utilization, 1991 (I)
80	Improved weed management in the Near East, 1987 (I)	108	La carambola y su cultivo, 1991 (E I)
81	Weed science and weed control in Southeast Asia, 1987 (I)	109	Soil solarization, 1991 (I)
82	Hybrid seed production of selected cereal, oil and vegetable crops, 1987 (I)	110	Potato production and consumption in developing countries, 1991 (I)
83	El litchi y su cultivo, 1987 (E I)	111	Pesticide residues in food 1991 – Report, 1991 (I)
84	Residuos de plaguicidas en los alimentos 1987 – Informe, 1988 (E F I)	112	Cocoa pest and disease management in Southeast Asia and Australasia, 1992 (I)
85	Manual sobre elaboración y empleo de las especificaciones de la FAO para productos destinados a la protección de las plantas, 1988 (E F I)	113/1	Pesticide residues in food 1991 - Evaluations - Part I: Residues, 1991 (I)
86/1	Pesticide residues in food 1987 – Evaluations – Part I: Residues, 1988 (I)	114	Integrated pest management for protected vegetable cultivation in the Near East, 1992 (I)
86/2	Pesticide residues in food 1987 – Evaluations – Part II: Toxicology, 1988 (I)	115	Olive pests and their control in the Near East, 1992 (I)
87	Root and tuber crops, plantains and bananas in developing countries – challenges and opportunities, 1988 (I)	116	Residuos de plaguicidas en los alimentos 1992 – Informe 1992, 1993 (E F I)
88	<i>Jessenia</i> y <i>Oenacarpus</i> : palmas aceiteras neotropicales dignas de ser domesticadas, 1992 (E I F)	117	Semilla de calidad declarada, 1995 (E F I)
		118	Pesticide residues in food - 1992 - Evaluations - Part I: Residues, 1993 (I)
		119	Quarantine for seed, 1993 (I)
		120	Manejo de malezas para países en desarrollo, 1996 (I E)
		120/1	Manejo de malezas para países en desarrollo, Addendum 1, 2004 (I F E)

121	Rambutan cultivation, 1993 (I)	157	Pesticide residues in food 1999 – Evaluations – Part I: Residues (I)
122	Residuos de plaguicidas en los alimentos – 1993 Informe conjunto FAO/OMS, 1995 (I E F)	158	Ornamental plant propagation in the tropics, 2000 (I)
123	Rodent pest management in eastern Africa, 1994 (I)	159	Seed policy and programmes in the Near East and North Africa, 2000 (I)
124	Pesticide residues in food 1993 – Evaluations – Part I: Residues, 1994 (I)	160	Seed policy and programmes for Asia and the Pacific, 2000 (I)
125	Plant quarantine: theory and practice, 1994 (Ar)	161	Uso del ensilaje en el trópico privilegiando opciones para pequeños campesinos, 2001 (E I)
126	Tropical root and tuber crops – Production, perspectives and future prospects, 1994 (I)	162	Grassland resource assessment for pastoral systems, 2001, (I)
127	Residuos de plaguicidas en los alimentos, 1996 (E I)	163	Pesticide residues in food 2000 – Report, 2001 (I)
128	Manual sobre elaboración y empleo de las especificaciones de la FAO para productos destinados a la protección de las plantas – Cuarta edición, 1997 (I E F)	164	Políticas y programas de semillas en América Latina y el Caribe, 2001 (E I)
129	Mangosteen cultivation, 1995 (I)	165	Pesticide residues in food 2000 – Evaluations – Part I, 2001 (I)
130	Post-harvest deterioration of cassava – A biotechnology perspectives, 1995 (I)	166	Global report on validated alternatives to the use of methyl bromide for soil fumigation, 2001 (I)
131/1	Pesticide residues in food 1994 – Evaluations – Part I: Residues, Volume 1, 1995 (I)	167	Pesticide residues in food 2001 - Report, 2001 (I)
131/2	Pesticide residues in food 1994 – Evaluations – Part I: Residues, Volume 2, 1995 (I)	168	Seed policy and programmes for the Central and Eastern European countries, Commonwealth of Independent States and other countries in transition, 2001 (I)
132	Agroecología, cultivo y usos del nopal, (I E) 1999	169	El nopal (<i>Opuntia</i> spp.) como forraje, 2003 (I E)
133	Pesticide residues in food 1995 – Report, 1996 (I)	170	Submission and evaluation of pesticide residues data for the estimation of maximum residue levels in food and feed, 2002 (I)
134	Number not assigned	171	Pesticide residues in food 2001 – Evaluations – Part I, 2002 (I)
135	Citrus pest problems and their control in the Near East, 1996 (I)	172	Pesticides residues in food, 2002 – Report, 2002 (I)
136	El pepino dulce y su cultivo, 1996 (E)	173	Manual sobre elaboración y empleo de las especificaciones de la FAO y de la OMS para plaguicidas, 2003 (I E)
137	Pesticide residues in food 1995 – Evaluations – Part I: Residues, 1996 (I)	174	Genotype x environment interaction – Challenges and opportunities for plant breeding and cultivar recommendations, 2002 (I)
138	Sunn pests and their control in the Near East, 1996 (I)	175/1	Pesticide residues in food 2002 – Evaluations – Part 1: Residues – Volume 1 (I)
139	Weed management in rice, 1996 (I)	175/2	Pesticide residues in food 2002 – Evaluations – Part 1: Residues – Volume 2 (I)
140	Pesticide residues in food 1996 – Report, 1996 (I)	176	Pesticide residues in food 2003 – Report, 2003 (I)
141	Cotton pests and their control in the Near East, 1997 (I)	177	Pesticide residues in food 2003 – Evaluations – Part 1: Residues, 2004 (I)
142	Pesticide residues in food 1996 – Evaluations – Part I: Residues, 1997 (I)	178	Pesticide residues in food 2004 – Report, 2004 (I)
143	Management of the whitefly-virus complex, 1997 (I)	179	Triticale improvement and production, 2004 (I)
144	Plant nematode problems and their control in the Near East region, 1997 (I)	180	Seed multiplication by resource limited farmers – Proceedings of the Latin American workshop, 2004 (I)
145	Pesticide residues in food 1997 – Report, 1998 (I)	181	Towards effective and sustainable seed-relief activities, 2004 (I)
146	Pesticide residues in food 1997 – Evaluations – Part I: Residues, 1998 (I)	182/1	Pesticide residues in food 2004 – Evaluations – Part 1: Residues, Volume 1 (I)
147	Soil solarization and integrated management of soilborne pests, 1998 (E)	182/2	Pesticide residues in food 2004 – Evaluations – Part 1: Residues, Volume 2 (I)
148	Pesticide residues in food 1998 – Report, 1999 (I)	183	Pesticide residues in food 2005 – Report, 2005 (I)
149	Manual on the development and use of FAO specifications for plant protection products – Fifth edition, including the new procedure, 1999 (I)	184/1	Pesticide residues in food 2005 – Evaluations – Part 1: Residues, Volume 1 (I)
150	Restoring farmers' seed systems in disaster situations, 1999 (I)	184/2	Pesticide residues in food 2005 – Evaluations – Part 1: Residues, Volume 2 (I)
151	Seed policy and programmes for sub-Saharan Africa, 1999 (I)	185	Sistema de semillas de calidad declarada, 2006 (E I)
152/1	Pesticide residues in food 1998 – Evaluations – Part I: Residues, Volume 1, 1999 (I)	186	Calendario de cultivos – América Latina y el Caribe, 2006 (E)
152/2	Pesticide residues in food 1998 – Evaluations – Part I: Residues, Volume 2, 1999 (I)		
153	Pesticide residues in food 1999 – Report, 1999 (I)		
154	Greenhouses and shelter structures for tropical regions, 1999 (I)		
155	Vegetable seedling production manual, 1999 (I)		
156	Date palm cultivation, 1999 (I)		
156 Rev1	Date palm cultivation, 2002 (I)		

- 187 Pesticide residues in food 2006 – Report, 2006 (I)
188 Arroces maleza – origen, biología, ecología
y control, 2007 (I E)

Disponibilidad: abril de 2007

Ar – Árabe	Multil – Multilingüe
C – Chino	* Agotado
E – Español	** En preparación
F – Francés	(E F I) = Ediciones separadas
I – Inglés	en español, francés e
P – Portugués	inglés.
	(E/F/I) = Edición trilingüe

Los cuadernos técnicos de la FAO pueden obtenerse en los Puntos de venta autorizados de la FAO, o directamente solicitándolos al Grupo de Ventas y Comercialización, FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Roma, Italia.