

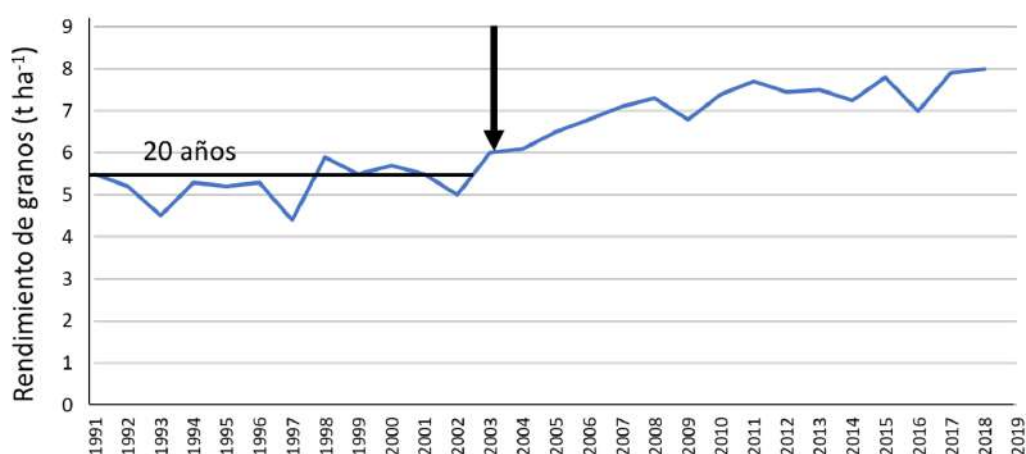
# Capítulo 18. Manejo del arroz rojo a través de herbicidas imidazolinonas en cultivares resistentes en Brasil

Aldo Merotto Jr., Catarine Markus, André Andres, Germani Conceção

Los problemas relacionados con el arroz rojo (arroz maleza) ocurren prácticamente en todas las áreas del cultivo del arroz en el mundo. En Brasil, la tecnología Clearfield (variedades resistentes a herbicidas imidazolinonas) está en uso desde el año 2000. Durante este período ocurrieron grandes cambios en el manejo de las labores, rendimiento de grano y costos de la producción.

Antes de la tecnología Clearfield no existía la posibilidad de controlar el arroz maleza a través de herbicidas selectivos en el cultivo del arroz. En un período de 20 años, antes del inicio de la tecnología Clearfield, el rendimiento de arroz en el estado de Rio Grande do Sul (RS) era de aproximadamente  $5,5 \text{ t ha}^{-1}$ . Después del inicio de esta tecnología, el rendimiento tuvo incrementos continuos, alcanzando valores aproximados a  $7,5 \text{ t ha}^{-1}$  (Figura 1). Este aumento fue generado por el control del arroz maleza, lo que permitió el uso adecuado de las prácticas de manejo, como la época y densidad de siembra, junto con la posibilidad de usar mayores cantidades de fertilizantes, los cuales pudieron ser usados de forma más eficiente por el cultivo del arroz.

De esta forma, el manejo era realizado por medio de la preparación repetida del suelo con anterioridad a la siembra del cultivo, como una forma de disminuir la infestación. En las áreas infestadas con arroz maleza, este procedimiento resultaba en un atraso en la fecha de siembra, lo cual imposibilitaba un mejor uso de las condiciones ambientales para el cultivo del arroz, principalmente la radiación solar. Entretanto, con este procedimiento era común que se presentaran altas densidades de arroz maleza, aprovechándose de la fertilización aplicada al cultivo. En este período, el barbecho era utilizado como una forma de disminuir la infestación del arroz maleza; aun así, un gran número de áreas se declararon no aptas para el cultivo del arroz.



Fuente: IRGA, 2002.

**Figura 1.** Evolución del rendimiento de los arrozales en el estado de Rio Grande do Sul. La flecha indica el inicio en el uso de la tecnología Clearfield.

La ganancia del rendimiento de grano relacionada con la tecnología Clearfield fue, aproximadamente, de 2 t ha<sup>-1</sup> en un área de 1,25 millones de ha de cultivo de arroz del estado de RS. De esta forma, se puede estimar que el control del arroz maleza a través de las variedades resistentes a herbicidas tuvo un incremento anual aproximado de \$ 500 millones de dólares en la agricultura de RS. Entretanto, la aparición paulatina de resistencia a los herbicidas en el arroz maleza, constituyó un problema para la mantención de este beneficio.

La presencia de arroz maleza resistente a herbicidas imidazolinonas (IMI) se constituyó como el principal problema de la tecnología Clearfield para las localidades donde este sistema de producción estaba en uso, y se recomendaba observar con especial atención en los lugares donde la utilización de variedades de arroz resistentes a herbicidas estaba comenzando. La persistencia de los herbicidas IMI en el suelo, también podría ser un problema de la tecnología Clearfield. La complejidad de la utilización de los herbicidas, en relación a la época y dosis de aplicación y variaciones asociadas al manejo del cultivo, también son aspectos importantes que deben ser considerados en el uso de herbicidas IMI en la tecnología Clearfield.

El objetivo de este capítulo es presentar los principales resultados de investigación y sus aplicaciones en relación a la ocurrencia de resistencia a herbicidas en arroz maleza, persistencia de herbicidas IMI en el suelo, y aspectos de manejo del cultivo de malezas asociados a la utilización de la tecnología Clearfield en Brasil.

## **Características relacionadas con la presencia de arroz maleza resistente a herbicidas imidazolinonas**

### **Presencia de resistencia**

Se realizó un estudio de larga duración basado en el monitoreo de la resistencia durante las temporadas 2006-2007 a 2011-2012, para evaluar la resistencia a imazetapir + imazapic en aproximadamente 1.000 poblaciones de arroz maleza colectadas en el estado de RS (Kalsing et al., 2019). En este estudio, la ocurrencia del arroz maleza resistente fue de 56 %, 73 %, 68 %, 76 %, 100 % y 100 %, entre las temporadas 2006 al 2012, mientras que el efecto medio de los herbicidas en estas evaluaciones fue de 40 %, 44 %, 28 %, 18 %, 16 % y 6 %. Se destaca que en todos los estudios de monitoreo de arroz maleza en RS, se utilizaron muestreos dirigidos a la posible presencia de resistencia a herbicidas en cultivos de arroz. Los resultados encontrados evidenciaron la gran frecuencia de arroz maleza resistente a herbicidas, con un aumento de los niveles de resistencia a lo largo de las temporadas evaluadas. La gran frecuencia de ocurrencia indicó la necesidad de desarrollar procedimientos para el diagnóstico de la resistencia de arroz maleza a herbicidas, principalmente a través de métodos convencionales o expeditos que proporcionen la adecuada toma de decisiones en actividades de manejo del cultivo.

### **Principales causas asociadas con la distribución de la resistencia**

En un estudio realizado durante las temporadas 2006 a 2012, se encontró una adopción muy baja de prácticas agronómicas para minimizar la evolución y diseminación de resistencia a herbicidas en arroz maleza, especialmente en las regiones de la depresión central y en la frontera sur (Cuadro 1). La región de la depresión central se caracteriza por pequeñas áreas cultivadas, suelo pesado y de drenaje deficiente. Estas características dificultan la rotación de cultivos, lo que perjudica directamente el control del arroz maleza. Históricamente, el ´roguing` se utilizaba en esta región para su control.

Sin embargo, y por desgracia, la frecuencia de utilización de esta práctica disminuyó con la adopción del arroz Clearfield. Actualmente, debido a la gran frecuencia de arroz maleza resistente, la

práctica del ‘roguing’ está retornando en muchas labranzas del estado RS, incluso en áreas de media a gran extensión.

El arroz maleza resistente a IMI fue detectado, en promedio, después de 2,7 cosechas después del inicio del uso de variedades de arroz Clearfield (CL). Estos resultados indicaron que el problema del arroz maleza resistente a IMI ocurrió más temprano que en cultivos de arroz en el sur de U.S.A. (Burgos et al., 2008) e Italia (Busconi et al., 2012), donde fue identificado después de 5 años de uso comercial de la tecnología CL. En el sur de U.S.A. la rotación de cultivos es ampliamente utilizada y la adopción de semillas certificadas es alta (Ziska et al., 2015). Esta situación es diferente en el estado de RS, donde sólo 36 % de los agricultores utiliza rotación de cultivos y el uso de semillas certificadas es baja (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Estimación de la adopción de prácticas agronómicas aplicadas al control del arroz maleza en arroz de riego, en diferentes regiones productoras de arroz en Rio Grande do Sul (RS), Brasil. Temporadas 2006 a 2012.

Región	(n)	Prácticas de manejo (%)			
		Semillas certificadas <sup>(1,2)</sup>	Control de escapes <sup>(1,3)</sup>	Maquinaria propia <sup>(4)</sup>	Rotación de cultivo
Depresión central	8	0b	75ab	88	0
Planicie costera interna	3	25ab	75ab	33	33
Planicie costera externa	6	83a	33bc	100	17
Frontera sur	12	13b	20c	92	42
Frontera oeste	8	25ab	75ab	88	63
Zona Sur	3	67ab	100a	67	33
Estado	40	36	63	78	31

Fuente: Kalsing et al., 2019. <sup>(1)</sup> Medias con la misma letra no difieren, test de Tukey, probabilidad de 5%. <sup>(2)</sup> Semilla certificada inspeccionadas por agencias reguladoras. <sup>(3)</sup> Control de escapes fue considerado como acciones de ‘roguing’. <sup>(4)</sup> Maquinaria sólo usada en el campo del agricultor.

## Identificación de plantas de arroz maleza resistentes

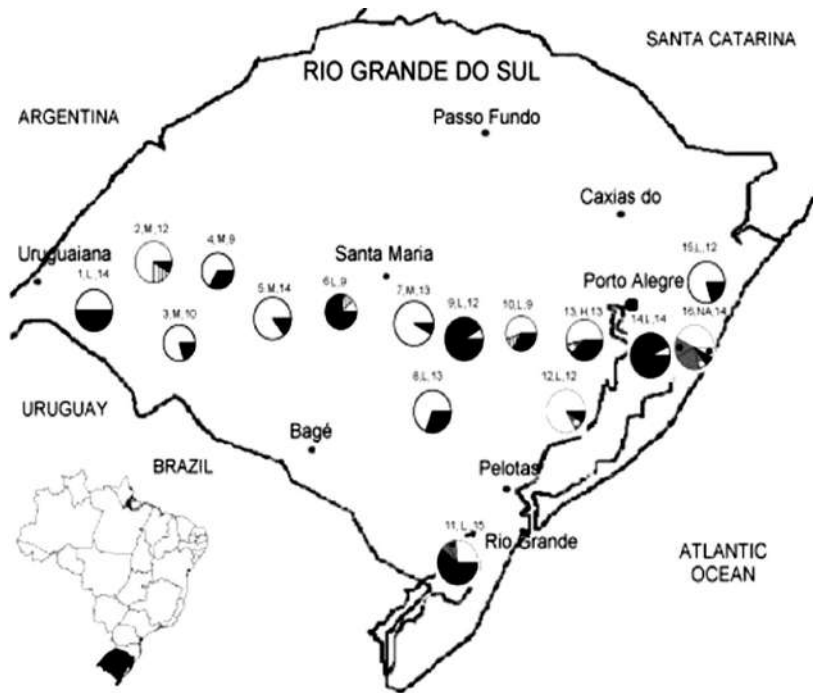
La rápida identificación de individuos resistentes es fundamental para el establecimiento de medidas de control más eficientes, destinadas a prevenir la distribución y a controlar individuos resistentes.

Los experimentos clásicos de identificación de resistencia relacionados con la aspersión del herbicida en el suelo o en las plantas demandan mucho tiempo y espacio para su ejecución, siendo onerosos y no expeditos; por lo que son poco apropiados para el análisis de un gran número de muestras. Enfoques más expeditos son necesarios para la identificación de biotipos resistentes. Es por ello que se realizaron bioensayos en tres etapas de desarrollo del ciclo del arroz: semillas, plántulas y macollas (Roso et al., 2010a).

Los estudios contemplaron el uso de SNP para detectar la mutación del gen *ALS* existente en poblaciones de arroz maleza e identificar molecularmente la resistencia (Roso et al., 2010b). Los resultados del estudio indicaron que la resistencia a los herbicidas IMI en las poblaciones de arroz maleza evaluadas se debe, en su mayoría, a la alteración del lugar de acción en la enzima ace-

tolactato sintasa (ALS), provocada por la mutación G654E. La elevada frecuencia de la mutación G654E en las poblaciones de arroz maleza resistentes, puede explicarse en función del gran uso de IRGA 422CL (variedad Clearfield de arroz utilizado en la época de realización del estudio) en las siembras de arroz, sugiriendo que el probable origen de resistencia se deba al flujo génico entre IRGA 422CL y el arroz maleza (Figura 2).

Estos procedimientos discriminaron de forma efectiva y rápida los individuos resistentes y susceptibles, siendo considerados técnicas expeditas para el diagnóstico de resistencia.

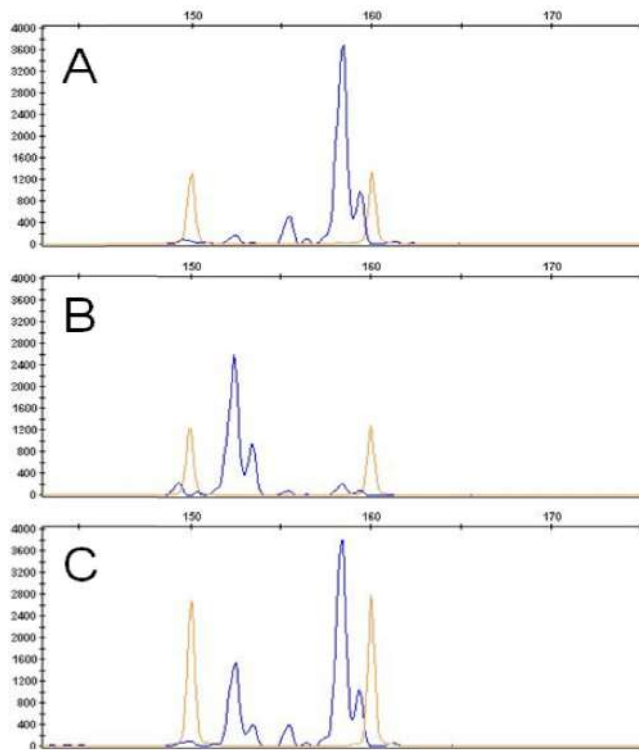


Fuente: Roso et al., 2010a.

**Figura 2.** Distribución de la frecuencia de alelos del gen ALS en arroz maleza. Los gráficos circulares indican el porcentaje de alelos ALS G654E (□), S653D (▨), A122T (■), G654E y A122T (▬), G654E y S653D (▮), G653E y A122T (▩), G654E, S653D y A122T (▧), y ninguno (■) Identificados a través de los marcadores SNP.

## Origen de la resistencia

Como se muestra en el párrafo anterior, las mutaciones presentes en los genes ALS de los biotipos de arroz maleza resistentes encontrados en RS fueron, en su mayoría, iguales a los encontrados en las variedades usadas de arroz resistente (Roso et al., 2010a). Sin embargo, esta resistencia también se puede originar en procesos independientes de selección. Se realizó un análisis de paternidad por exclusión (Goulart et al., 2012a) en individuos de arroz maleza resistentes a IMI colectados en la temporada 2007/08, basado en marcadores SSR (Figura 3) (Goulart, 2011; Goulart et al., 2012b). Se analizaron 176 individuos provenientes de 15 poblaciones de arroz maleza desde las variedades 'IRGA 417', 'IRGA 422 CL', 'Puitá INTA CL' y 'SATOR CL', e híbridos obtenidos por cruzamientos artificiales entre estas variedades y cuatro biotipos de arroz maleza. El origen de la resistencia fue considerado como selección independiente cuando un individuo poseía solamente alelos típicos de arroz maleza y/o de la variedad IRGA 417. Se identificó que en el 98,9 % de los casos, la resistencia de arroz maleza a IMI se debía al flujo génico, y que en el 1,1 % la resistencia se debió a evolución independiente (Goulart et al., 2012b).



Fuente: Goulart, 2011.

**Figura 3.** Ejemplo de electroferograma del marcador microsatélite RM341, usando el procedimiento M13-tail. (A) Variedad 'IRGA 422 CL', (B) arroz maleza, y (C) híbrido de la variedad 'IRGA 422 CL' y arroz maleza. Las curvas en color naranja representan el marcador de tamaño ROX.

### Variación de adaptación de los biotipos resistentes

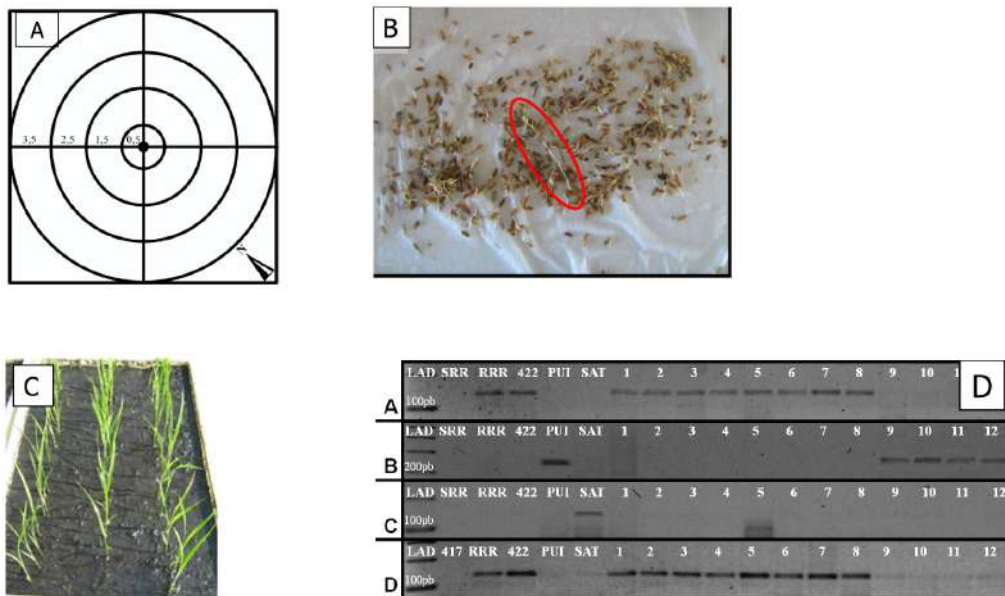
La variación de adaptación de individuos resistentes a herbicidas es importante, debido a la posibilidad de ocurrencia de alteraciones que resulten en la expansión o aumento de los perjuicios en las poblaciones que presentan esta característica. La resistencia a los inhibidores de ALS en arroz maleza puede tener otros efectos, además de la pérdida de eficiencia de control relacionados con la rápida germinación del biotipo resistente cuando es expuesto a baja temperatura, debido a la alteración de la reacción de la enzima (Dyer et al., 1993). Se realizaron estudios para evaluar si las alteraciones en el patrón de germinación de las variedades de arroces resistentes a herbicidas estaban relacionadas con las consecuencias de las mutaciones del gen *ALS*, o si obedecían al efecto de la variación ambiental de las localidades donde las semillas de estas variedades fueron producidas (Goulart et al., 2012a).

La variedad 'Puitá INTA-CL' germinó más rápidamente que 'IRGA 422 CL' e 'IRGA 417', principalmente, en evaluaciones realizadas 100 a 170 h después de la incubación de las semillas a 20 °C. La distinta velocidad de germinación entre variedades de arroz puede proporcionar alternativas de manejo del arroz maleza resistente que se origine por el flujo de alelos a partir de variedades resistentes. En este caso, los individuos resultantes de una germinación más rápida pueden presentar un mayor problema, debido a la mayor competencia relacionada con la rápida emergencia y el rápido crecimiento inicial. Alternativamente, este resultado puede representar una característica desfavorable al establecimiento de estos individuos resistentes, debido a la eliminación con mayor eficiencia, por el uso de prácticas de control realizadas en períodos anteriores al establecimiento del cultivo.

## Flujo génico entre arroz cultivado y arroz maleza

El análisis del flujo génico en relación a la presencia de arroz maleza resistente a herbicida tiene implicancia en la tasa de hibridación entre el arroz maleza y el arroz cultivado, y la migración de alelos de resistencia entre poblaciones. Se realizó un estudio para cuantificar la ocurrencia de flujo génico a partir de arroz maleza resistente y de las variedades de arroz con diferentes alelos del gen *ALS*, como una forma de estimar los riesgos asociados a las diferentes variedades de arroz resistentes a herbicidas IMI (Goulart, 2011). En este estudio se evaluaron, aproximadamente, 1 millón de semillas en experimentos de campo, utilizando la metodología de círculos concéntricos (Figura 4A).

La presencia de resistencia en estas semillas fue evaluada a través de los métodos de imbibición de semillas, métodos moleculares SSR, y aspersion de herbicida (Figuras 4B y 4D). La ocurrencia de flujo génico para el arroz maleza susceptible fue de 0,034 % y para la variedad IRGA 417 fue de 0,014 % (Goulart, 2011). Las variedades de arroz evaluadas y el biotipo de arroz maleza resistente actúan de forma similar como donantes de polen, resultando en un flujo génico promedio de 0,024 %. Estos resultados indican que la eliminación de 'escapes' de arroz malezas no controlados en cultivos de variedades resistentes a herbicidas IMI es fundamental para la eliminación del riesgo de migración del gen de resistencia al arroz maleza.



Fuente: Goulart, 2011.

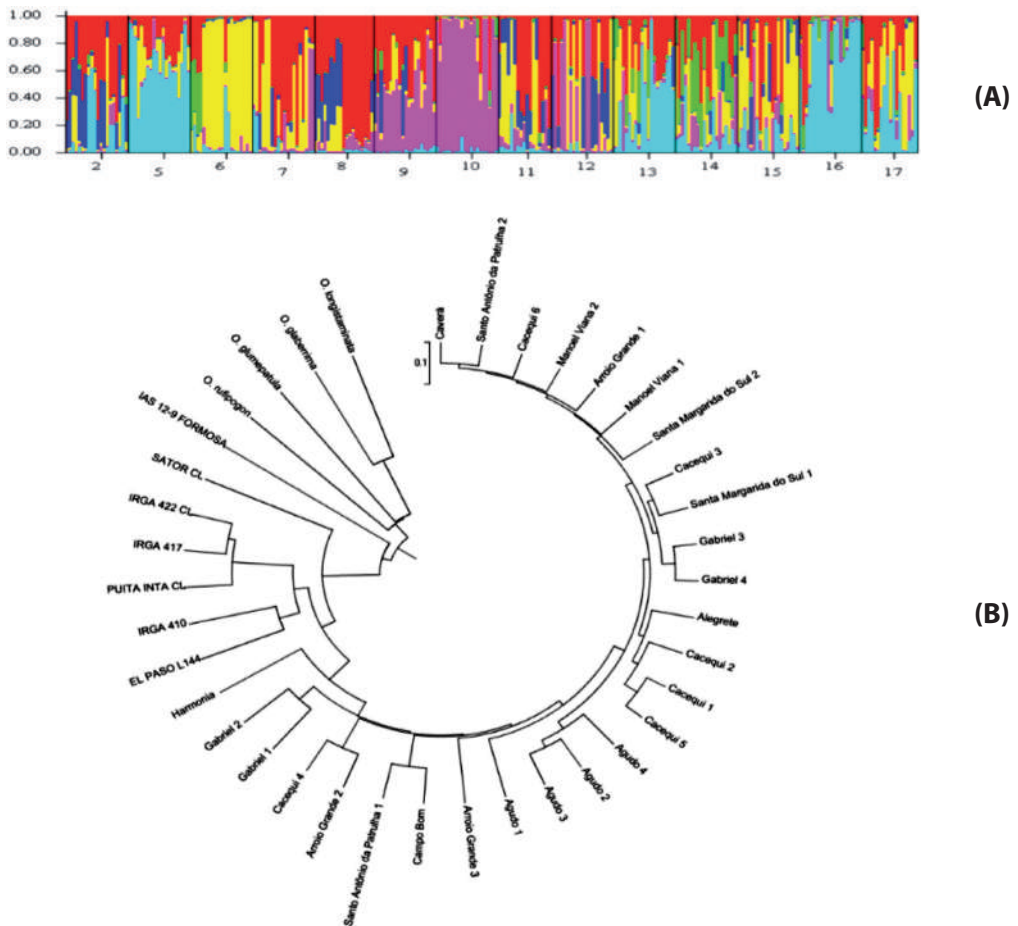
**Figura 4.** Representación de la identificación de plantas de arroz maleza resistentes a herbicidas imidazolinonas. (A) Diseño del experimento de campo, (B) evaluación de la imbibición de semillas, (C) crecimiento de plantas resistentes, (D) identificación de alelos de resistencia a través de marcadores moleculares SNP.

Diversas poblaciones de arroz maleza fueron identificadas como resistentes a herbicidas IMI en RS, tal como había sido descrito en los estudios anteriores. Se realizaron estudios de caracterización genética de poblaciones de arroz maleza de RS con sospechas de resistencia a los herbicidas IMI, como una forma de evaluar la estructura de estas poblaciones e identificar la ocurrencia de flujo génico de semillas entre diferentes localidades (Goulart, 2011). Los resultados demostraron que las poblaciones de arroz maleza de RS presentan una alta diversidad genética entre los individuos, aunque existe una considerable variación entre estas poblaciones en la media de los individuos. El análisis de la varianza molecular (AMOVA) indicó que la variación genética de las

534 accesiones de arroz maleza evaluadas, fue de 26 % entre poblaciones y de 74 % dentro de las poblaciones. Así, el valor del índice de fijación ( $F_{ST}$ ) obtenido por AMOVA fue 0,26. Esto indica que la variabilidad genética en las poblaciones de arroz maleza está relacionada, sobre todo, a la diversidad dentro de cada población, en comparación con la variabilidad entre poblaciones. En poblaciones naturales de especies autóгамas se espera una baja diversidad genética, debido al alto grado de homocigosis.

Sin embargo, al tratarse de poblaciones provenientes de áreas de cultivo, como el arroz maleza, la diversidad dentro de las poblaciones puede ser más elevada. Esto puede deberse a la selección impuesta por prácticas como el 'roguing' o a la migración de semillas entre poblaciones.

Los resultados observados confirman que el origen de resistencia a herbicidas en arroz maleza se debe, sobre todo, al flujo génico de semillas y polen. Sin embargo, también se identificaron poblaciones genéticamente aisladas. El sistema de análisis de la estructura de poblaciones utilizado en este estudio posibilitó la identificación del aislamiento genético y la intensidad de flujo génico en poblaciones de arroz maleza, como herramienta para el diagnóstico específico de poblaciones que presentaron aporte de semillas contaminadas de arroz maleza. Además, los resultados proporcionaron el diagnóstico de una mayor importancia del flujo génico, en detrimento de procesos independientes que dan origen a la resistencia a herbicidas en arroz maleza.



Fuente: Goulart, 2011.

**Figura 5.** (A) Representación de la variabilidad genética dentro y entre poblaciones de arroz rojo. (B) Dendrograma en base a marcadores moleculares SSR de poblaciones de arroz maleza, variedades y especies silvestres de arroz.

## **Importancia del manejo del cultivo en la sustentabilidad de dos métodos de control de arroz maleza**

Los resultados presentados destacan la gran importancia de la sistematización de manejo del cultivo realizado por cada productor, en relación a la ocurrencia de flujo génico y resistencia a herbicidas en arroz maleza. En muchas áreas existen cultivos vecinos donde en un lado se tiene una labranza limpia de arroz maleza y otras malezas, mientras que en áreas adyacentes hay una alta infestación, resultando incluso en una inviabilidad productiva. Las evidencias presentadas indican que el sistema Clearfield, individualmente, no resuelve el problema de arroz maleza. Por ejemplo, en el estado de RS la gran herramienta para control de arroz maleza es el uso del sistema Clearfield y la rotación con soya.

Actualmente, un 90 % de las siembras en RS corresponden a cultivos Clearfield, y representan el área más importante del mundo con el uso de esta tecnología. Este mismo proceso se ha adoptado en los últimos años en el estado de Santa Catarina, Brasil. Los 15 años de utilización del sistema Clearfield en estas regiones han señalado que las prácticas de manejo del cultivo y de las malezas, como la adecuación de los sistemas de preparación del suelo y de riego, época de siembra, período de inicio del riego, rotación de cultivos, rotaciones, control de 'escapes' y utilización de semillas exentas de arroz maleza (certificadas), son y seguirán siendo herramientas altamente importantes en relación al control de arroz maleza.

## **Manejo de las malezas asociadas a la utilización de la tecnología Clearfield**

### **Sistemas de cultivo**

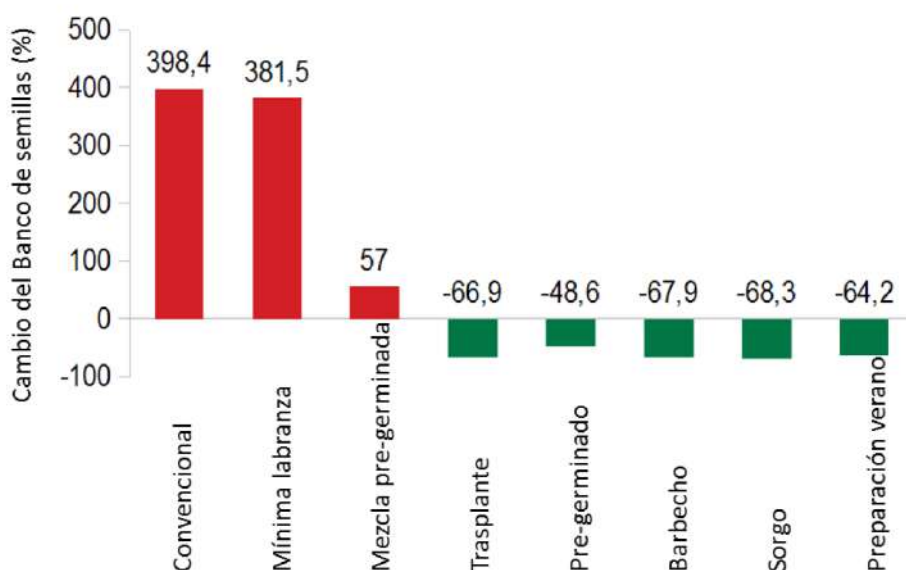
El manejo o preparación del suelo consiste en un conjunto de operaciones realizadas para propiciar buenas condiciones de siembra, desarrollo de las plantas y la producción final. Entre los diversos objetivos para realizar la preparación del suelo, están la eliminación de malezas presentes en el área y el estímulo a la germinación de semillas presentes en el banco de semillas del suelo, para ayudar al éxito del establecimiento del arroz. Esta preparación del suelo puede ser inmediatamente antes de la siembra o temprano con barbecho en el verano, preparando la siembra de la siguiente cosecha (Figura 6). Normalmente se realiza una corrección del relieve a través de un rastraje (más tradicional) superficial del suelo o se procede a través de un proyecto de sistematización del suelo, con el uso de tecnologías más actuales utilizando satélites. Estos procedimientos contribuyen al mantenimiento de una lámina de agua homogénea que ayuda a reducir la emergencia de las malezas presentes en el cultivo del arroz de riego, entre ellas el arroz rojo.

### **Sistema convencional**

En el sistema de cultivo convencional de preparación de suelo, el proceso se basa en la mecanización para alteraciones físicas, siendo necesario que esa preparación sea realizada con un contenido adecuado de agua, para evitar la realización de operaciones adicionales en el caso de suelos secos, o bien su deformación y formación de terrones en el caso de exceso hídrico.

La preparación convencional del suelo comienza en el otoño anterior a la siembra, con el desmanche de las taipas con lámina, arado o rejilla, siguiendo la preparación del suelo con arado de discos, de vertedera o incluso rejilla. La preparación normalmente finaliza con rastrajes de discos (rejilla niveladora). También es posible utilizar la rastra rotativa en la preparación convencional, lo que ayuda a la eliminación de los primeros flujos de arroz rojo antes de la siembra del arroz.





Fuente: Avila et al. (1998).

**Figura 6.** Cambios en el número de granos de arroz rojo (%) (*Oryza sativa*) en el banco de semillas del suelo, en respuesta a sistemas de utilización de áreas de tierras bajas.

### Plantación directa / cultivo mínimo

Debido a la mayor desestructuración y pérdida por procesos erosivos ocasionados por la preparación convencional del suelo en áreas tropicales y subtropicales, los sistemas conservacionistas están siendo adaptados para el manejo del suelo en esas regiones edafoclimáticas. Aunque estos sistemas presentaron algunos obstáculos para el productor rural de arroz de Rio Grande do Sul, al final comprendieron que el problema de la infestación con arroz rojo sería cada vez más grave si es que no adoptaban los sistemas alternativos de manejo de esas malezas, lo que llevó a la amplia adopción, en un corto período, de los sistemas de siembra directa o de cultivo mínimo en ese estado brasileño.

La siembra directa y el cultivo mínimo adoptados en áreas de inundación cultivadas con arroz, difieren de aquellos adoptados en cultivos de tierras altas (soya y maíz, por ejemplo) en cuanto al objetivo inicial, tipo de suelo, compactación, diversificación de especies cultivadas y continuidad del sistema productivo.

Aunque en áreas de arroz de riego la siembra directa se adopta sólo en pequeñas áreas (previo rastraje del suelo 30 a 60 d antes de la siembra - cultivo mínimo), su adopción a las áreas de arroz contribuye a la reducción de la infestación de arroz rojo en el cultivo del arroz. Ambos sistemas incluyen una preparación ligera del suelo, en el otoño o el verano anterior (siembra directa) o en la primavera antes de la siembra (cultivo mínimo), donde algunos flujos de arroz rojo son estimulados por esas operaciones, con posterior eliminación química o mecánica.

Además de la eliminación química o mecánica de los flujos de emergencia del arroz rojo, la utilización del área para la ganadería proporciona diversos efectos que atenúan la ocurrencia del arroz rojo, como el pastoreo y el propio pisoteo de los animales en el área. Asociado a la presencia de los animales, la siembra en áreas de arroz de pastos de invierno como trébol, también ayuda a inhibir la presencia de arroz rojo.

## Pre-germinado

El alto costo de producción y la baja rentabilidad del cultivo del arroz en el estado brasileño de Santa Catarina, hizo que los productores de arroz optaran por otro sistema de cultivo que tiene un manejo más laborioso, pero que posibilita el control cultural de buena parte de las malezas. Es innegable que el principal objetivo del uso del sistema de semillas pre-germinadas fue la supresión del arroz rojo, entre otras ventajas. El sistema de cultivo pre-germinado consiste, brevemente, en el establecimiento de tableros o cuadros de cultivo con cota cero, donde prácticamente toda la preparación del suelo y todo el cultivo del arroz se hace con la presencia de la lámina de agua, lo que constituye una barrera física al establecimiento de las malezas, siendo eficiente en la inhibición del arroz rojo.

Aunque el sistema de cultivo pre-germinado es eficiente en la inhibición de las malezas, en algunos casos se puede aplicar herbicidas con un adecuado manejo mecánico asociado al manejo del agua. En la mayoría de los casos, la asociación de este sistema con la aplicación de herbicidas, promueve los mejores resultados de control del arroz rojo.

Una práctica en desuso, debido al riesgo de contaminación de áreas, consistía en bajar la lámina de agua temporalmente, antes de sembrar el arroz, para estimular un flujo de emergencia del arroz rojo y otras malezas. Cuando estas plántulas estaban al estado de 2 a 3 hojas, el agua era restablecida y se aplicaba un herbicida que actuara sobre arroz rojo y otras malezas. Así, antecediendo la siembra del arroz con semillas pre-germinadas, el agua era drenada del cuadro, para posteriormente regar y sembrar. Esta práctica colaboraba en eliminar los primeros flujos de emergencia de las malezas.

En general, después de la siembra se espera que las plantas del arroz alcancen 3 a 4 hojas para, si es necesario, se usen los herbicidas en post-emergencia, en aplicación directa a la lámina de agua del cultivo.

## Trasplante de arroz

En cuanto al manejo del arroz rojo, el sistema de trasplante de arroz se asemeja al cultivo pre-germinado, donde el área se mantiene con una lámina de agua, con la diferencia de que las semillas son germinadas, las plantas son establecidas en viveros y, posteriormente trasplantadas en el terreno inundado y preparado, ya sea de forma manual o con uso de máquinas trasplantadoras.

Además de la ventaja de eliminar el arroz rojo antes de la siembra y de su inhibición por la presencia de la lámina de agua, como también ocurre en el sistema pre-germinado, en el sistema de trasplante el tamaño de las plántulas inhibe, por competencia, las plantas de arroz rojo que puedan emerger entre hileras debido a su menor tamaño.

## Rotación de cultivos

Las áreas de tierras bajas del sur de Brasil se cultivan con arroz en verano y, normalmente, se mantienen en barbecho el resto del año. Los residuos del cultivo ayudan en la inhibición de las malezas, pero ese efecto es más pronunciado cuando se cubre con alguna cobertura de invierno. En ese contexto, la rotación de cultivos ayuda en el manejo de las especies invasoras y también en la maximización de la cobertura vegetal en el área.

Los estudios muestran que el banco de semillas de malezas en áreas de arroz es menor, cuando se adoptan sistemas de rotación de cultivos con el arroz. Además, la rotación afecta también a la composición de la comunidad de las malezas. Aunque se conocen los beneficios de la rotación del arroz con leguminosas, en las tierras bajas el exceso hídrico es una gran limitante para su establecimiento, ya que las leguminosas como la soya no pueden soportar largos períodos de inundación.

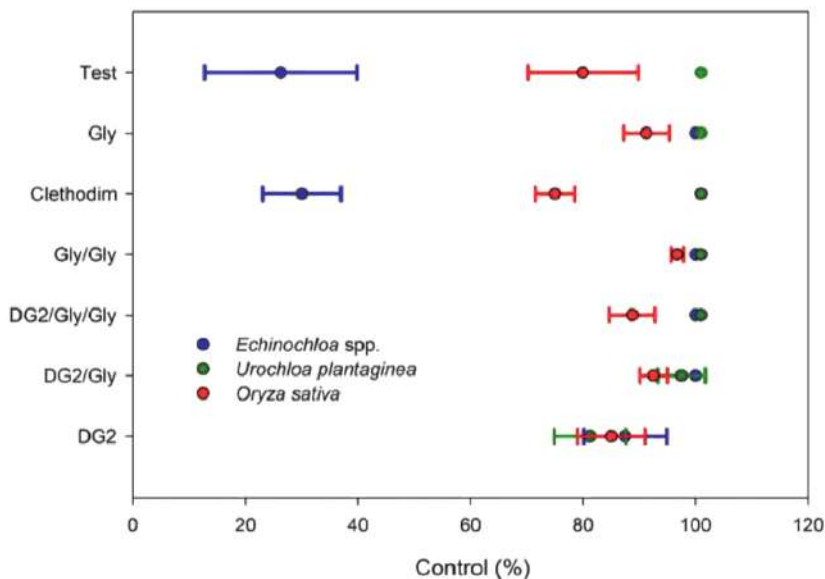
Los cultivos de verano, como el maíz, el sorgo y la soya son opciones para la rotación de cultivos con el arroz de riego en las tierras bajas. La adaptabilidad del maíz es muy limitada en estos suelos, debi-

do a su mayor sensibilidad al exceso hídrico y a las restricciones impuestas por las características del suelo. El sorgo, por otro lado, se adapta mejor a las tierras bajas, al ser más tolerante al exceso hídrico, produciendo un gran volumen de biomasa; al asociarse esa cobertura vegetal (con herbicida) al pastoreo animal, se logran altos índices de eliminación del arroz rojo.

La soya, probablemente, es el cultivo más prometedor para la rotación con arroz de riego en las tierras bajas, ya que permite el manejo de las malezas del arroz, particularmente del arroz rojo, por la rotación de herbicidas durante su cultivo, y porque tiene garantizado su valor en el mercado. La viabilidad de la rotación arroz-soya depende de los resultados de investigación que generen prácticas de manejo del suelo, y del exceso hídrico en esas áreas, con el fin de hacerlas adecuadas al cultivo de la soya.

El éxito de la rotación arroz-soya en la inhibición de las malezas depende del sistema de cultivo y de la inclusión de los herbicidas indicados, pues cuando el manejo no está bien hecho, la ocurrencia de arroz rojo puede eventualmente agravarse.

Un estudio probó estrategias con herbicidas (pre y/o post-emergentes) aplicados a la soya, en el control de las malezas del arroz, como el arroz rojo, hualcacho y *U. plantaginea* (Figura 2). Entre otros resultados, el uso exclusivo de aplicación tardía del herbicida post-emergente Clethodim presentó bajos niveles de control de hualcacho y arroz rojo que fueron bien controlados por las aplicaciones de Glifosato en post-emergencia (sobre soya con tecnología Roundup Ready®). La aplicación única de S Metolachlor controló más del 80% de las tres especies de malezas evaluadas (Figura 7). Además de los tratamientos que utilizan la asociación del pre y de post-emergentes, evidenciaron un adecuado control de las especies estudiadas. Esto contribuye a afirmar que el uso de herbicidas pre-emergentes es importante para, al menos, retardar la aparición de biotipos de arroz rojo y de otras especies de malezas, con resistencia a los herbicidas post-emergentes.



**Figura 7.** Control de hualcacho (*Echinochloa* spp.), papua (*Urochloa plantaginea*) y arroz rojo (*Oryza sativa*) con diferentes herbicidas, considerando la rotación arroz-soya. Gly = una aplicación en post-emergencia de glifosato 1.080 g i.a ha<sup>-1</sup>; Clethodim = una aplicación post-emergencia de 144 g ha<sup>-1</sup> de clethodim; Gly / Gly = dos aplicaciones en post-emergencia de glifosato 1.080 g i.a ha<sup>-1</sup>; DG2 / Gli / Gli = una aplicación en pre-emergencia de S Metolachlor seguida por dos aplicaciones de glifosato; DG2 / Gli = una aplicación en pre-emergencia de S Metolachlor seguida de una aplicación de glifosato; DG2 = una aplicación en pre-emergencia de S Metolachlor. Tratamiento comparado con el intervalo de confianza del promedio al 95 %.

## Manejo del agua

El manejo del agua es una importante herramienta para el control del arroz rojo y de otras malezas, pues sirve como barrera al inicio de la germinación, tanto en el sistema convencional de cultivo como en la siembra directa, cultivo mínimo, pre-germinado o trasplante de plántulas.

En el sistema de cultivo convencional y en la siembra directa, la entrada de agua en la labranza debe ocurrir lo más rápido posible después de la emergencia del arroz y la aplicación de los herbicidas post-emergentes, y debe ser mantenida durante todo el ciclo del cultivo para evitar nuevos flujos de emergencia de arroz rojo. El efecto del sistema de riego de la labranza sobre la infestación de arroz rojo se presenta en el Cuadro 2.

**Cuadro 2.** Efecto del manejo de agua de riego sobre la infestación de arroz rojo en un cultivo comercial de arroz.

Manejo de agua	Arroz rojo	
	Plantas m <sup>-2</sup>	Panículas m <sup>-2</sup>
Riego tardío	296	380
Riego intermitente	38	123
Riego continuo	11	59

Fuente: Noldin, 1988.

## Arranque

El 'rouging' (arranque) es una técnica que consiste en la remoción manual de las plantas o panículas de arroz rojo desde el cultivo, basándose en las diferencias morfológicas entre las plantas. Es una práctica complementaria importante que es utilizada por pequeños productores, principalmente en la región Central del Estado de Rio Grande do Sul, pero con buena aceptación por productores, incluso en áreas de mayor cultivo. A cada cosecha se le pueden realizar varios 'rouging'; sin embargo, con la aparición de plantas de arroz rojo similares morfológicamente a las plantas de arroz cultivado, esta práctica está teniendo mayores dificultades.

## Barra química

El control del arroz rojo, utilizando un herbicida sistémico de acción total a través de la 'barra química', es una técnica desarrollada para la eliminación de las plantas de arroz rojo existentes en la siembra después de la emergencia del arroz. Para ello, es fundamental la diferencia de estatura entre las plantas de arroz cultivado y del arroz rojo. La técnica consiste en empapar la cuerda de la barra con el herbicida y desplazarse en el cultivo, haciendo que las plantas de arroz rojo entren en contacto con el producto. La operación tiene por objeto evitar la re-infestación del área, y puede ser una opción interesante para pequeñas propiedades. Este método, además de ser arduo para el productor, presenta algunas desventajas como: no alcanza el arroz rojo producto de la hibridación con arroz cultivado (menor altura), haciendo que ocurra una presión de selección de plantas más bajas, lo que aumenta la importancia de este tipo de arroz rojo en la población.

## Barbecho

El barbecho es utilizado por los productores de arroz de riego que tienen más área disponible que la cultivada, para mantener el arroz rojo en niveles tolerables. Como se advierte en la Figura

1, Avila et al. (1998) mostraron que el barbecho reduce en torno al 60 % el número de semillas de arroz rojo en el banco del suelo, en comparación con suelo removido. El barbecho de un sólo año (Petrini et al., 1998) no es suficiente para reducir la aparición de arroz rojo, indicándose por lo menos dos años de descanso por área.

Existe la necesidad de mayores evaluaciones para esclarecer el efecto del barbecho del área, integrado o no con la ganadería, sobre la reducción de la presencia del arroz rojo. Algunos resultados indican que el pisoteo animal no tiene efecto sobre la pérdida de viabilidad de las semillas de arroz rojo en el banco del suelo, pero el pastoreo evita el crecimiento y la producción de semillas de las plantas, lo que es beneficioso al sistema productivo (Gomes y Magalhães, 2004).

### Preparación anticipada

La preparación temprana del suelo, poco después de la cosecha del arroz, favorecería la descomposición de la paja, además de corregir ondulaciones producidas por la cosechadora y otras máquinas utilizadas en la cosecha del arroz. También facilitaría las labores de preparación de suelo anteriores a la fecha de siembra de la siguiente temporada (SOSBAI, 2018).

Además de estas funciones, la preparación temprana del suelo también facilita el manejo del banco de semillas de arroz rojo. En este sentido, Masoni et al. (2013) evaluaron diversos sistemas de preparación temprana del suelo como el uso de lámina de agua permanente, incorporación de la paja en suelo seco o con agua y uso de rodillo-cuchillo. Estos autores concluyeron que el tratamiento más eficiente en la reducción del banco de semillas del arroz rojo fue la preparación después de la cosecha con suelo inundado, pues actúa en la reducción de la dormancia, aumento de semillas inviables y estímulo a la germinación. El rodillo, por ejemplo, permitió incorporar superficialmente la paja, actuando sobre el quiebre de la dormancia, la inviabilidad y el estímulo a la germinación de las semillas de arroz rojo (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Porcentaje de semillas de arroz rojo en dormancia en la capa de 0-10 cm de profundidad, bajo diferentes manejos de post-cosecha del área, 120 d después de la aplicación de los tratamientos.

Tratamiento	Semillas viables (%)
Lámina de agua	46 a
Preparación pos-cosecha con suelo seco	29 b
Preparación post-cosecha con suelo inundado	29 b
Preparación de suelo seco en julio	39 ab
Preparación post-cosecha con suelo inundado + preparación de suelo seco en julio	37 ab
Preparación post-cosecha en julio con suelo seco	32 b
Sin preparación del suelo	40 ab

Fuente: Massoni et al., 2013. Las medias seguidas por la misma letra no difieren por la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad.

### Punto de aguja

Para cultivos de arroz con resistencia de arroz rojo u otras especies de malezas a los herbicidas inhibidores de la enzima ALS, una importante estrategia es la aplicación de glifosato, sólo o en

mezcla con clomazone o pendimetalina, en estado llamado 'punto de aguja'. Esto asegurará la emergencia del cultivo de arroz en áreas sin infestación de esas especies. La etapa de 'punto de aguja' se considera como el momento inmediatamente anterior a la emergencia del arroz, normalmente indicado por la presencia de unas pocas plántulas de arroz ya germinadas. El herbicida debe aplicarse el mismo día en que el 'punto de aguja' es constatado (Andres et al., 2013).

### **Manejo del suelo entre temporadas**

La literatura indica que después de la cosecha del arroz el suelo no debe ser removido, pues las semillas de arroz rojo, localizadas hasta 5 cm de profundidad en el suelo, pierden la viabilidad en menos de 17 meses, mientras que en aquellas semillas ubicadas a 25 cm de profundidad, algunos biotipos son capaces de mantener la viabilidad por más de 24 meses (Gomes y Magalhães Jr., 2004). Petrini et al. (1998) obtuvieron una reducción del 74 % en el banco de semillas de arroz rojo en los primeros 5 cm de suelo, en el área bajo barbecho en el período de mayo a octubre. Esto ilustra que el hecho de no mover el suelo después de la cosecha, por sí solo, constituye una alternativa para el manejo del arroz rojo.

Por otro lado, un gran número de productores de arroz de riego en Rio Grande do Sul incorporan el rastrojo del arroz después de la cosecha, lo que estimula la emergencia de arroz rojo, exigiendo una operación adicional de control que puede ser una nueva preparación del suelo, o la aplicación de herbicida de acción total.

Cuando el área es utilizada para alimentación animal en este período, se recomienda aumentar el número de animales para evitar la producción de propágulos y, en caso de que los bovinos consuman estas plantas con granos, lo recomendado es que el transporte de animales entre áreas sea controlado. Estudios recientes con alimentación animal con granos de pasto rojo, evidencian la necesidad de un período de cuarentena superior a 6 d (SOSBAI, 2018; Viero et al., 2018).

### **Retrospectiva de la tecnología de arroz tolerante a los herbicidas inhibidores de la enzima ALS en uso en las labranzas de arroz del sur de Brasil**

El uso de plantas mutadas (no OMG) con el gen de tolerancia a herbicidas no selectivos al arroz, es considerado una tecnología innovadora en el control de malezas que facilitó el control selectivo de arroz rojo (Burgos et al., 2008). En el caso de los cultivos de arroz, en el sur de Brasil (Merotto et al., 2016) se observó un aumento de 2,5 t ha<sup>-1</sup> en el rendimiento de granos de arroz. El uso de la tecnología Clearfield® (CL) en el sur de Brasil comenzó en 2002. Diez años después, más del 60 % del área estaba utilizando esa tecnología para el manejo del arroz rojo, con niveles de control superiores al 95 % (Andres et al., 2013).

Actualmente, los herbicidas registrados en esta tecnología corresponden a las mezclas formuladas imazethapyr + imazapic e imazapyr + imazapic. Aisladamente, el herbicida imazethapyr ha sido también adoptado por los productores. El registro de los productos, indica una aplicación en pre-emergencia, seguida de una en post-emergencia, previo al riego.

Esta tecnología proporcionó beneficios inmediatos en cuanto a la eficiencia y facilidad de control del arroz rojo. Debido, principalmente, a fallas en la aplicación de la tecnología, fuera de las indicaciones técnicas, surgieron biotipos de arroz-rojo resistentes a los inhibidores de la enzima ALS, apenas cuatro años después de la introducción de la tecnología en el cultivo del arroz de la región, que acabaron dispersándose hacia otras regiones del Estado de Rio Grande do Sul.

Los productores de arroz y quienes proporcionan la asistencia técnica están tomando medidas adicionales para el manejo de este problema, con rotación de cultivos y diversos mecanismos de acción de los herbicidas, para reducir las pérdidas de productividad ocasionadas por el arroz rojo y otras malezas resistentes a herbicidas en los cultivos de arroz del sur de Brasil. Los estudios

muestran índices de control eficientes de las malezas asociados al uso de herbicidas de diferentes mecanismos de acción (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Control de arroz rojo en arroz de riego a pre-cosecha y productividad de granos (cv. BRS A701 CL). Embrapa, Capão do Leão, RS, 2018.

Tratamientos		Control pre-cosecha (%)	Productividad (kg ha <sup>-1</sup> )
PRE (g ha <sup>-1</sup> )	POS (g ha <sup>-1</sup> )		
Testigo s/ control		0	2102,1 B <sup>2</sup>
Clomazone, 252	Propanil, 1800 + imazethapyr, 159	100,0 <sup>ns</sup>	9609,4 A
Clomazone, 252	Propanil, 1800 + imazapyr+ imazapic, 73,5+24,5	99,5	9158,1 A
Clomazone, 252	Propanil, 1800 + imazethapyr, 159 + clomazone, 252	100,0	10275,9 A
Clomazone, 252 + imazethapyr, 159	Propanil, 1800+ imazethapyr, 159	100,0	9805,5 A
Clomazone, 252 + imazapyr+ imazapic, 73,5+24,5	Propanil, 1800 + imazapyr+ imazapic, 73,5+24,5	99,8	9836,7 A
Coeficiente de variación (%)		1	15,30

<sup>1</sup> Aplicación punto de aguja (adicional glifosato, 1080 g i.a ha<sup>-1</sup>).

<sup>2</sup> Letras distintas mayúsculas, por columna difieren entre sí, test de Duncan (p< 0,05).

<sup>ns</sup> No significativo, en la columna, cuando se compararon los tratamientos herbicidas, test de Duncan (p< 0,05).

## Referencias

- Andres, A., Theisen, G., Concenço, G., et al. 2013. Weed resistance to herbicides in rice fields in Southern Brazil. In: Price, A.J., Kelton, J.A. (eds.) *Herbicides*. IntechOpen. doi:10.5772/55947.
- Avila, L.A., Marchezan, E., Coradini, J.Z., et al. 1998. Controle do arroz-daninho: sistemas de cultivo de arroz irrigado, rotação de culturas, pousio do solo e preparo de verão. p. 12-16. In Marchezan, E. (ed.) *Sistema várzea: propostas de manejo*. Fundação de Apoio à Tecnologia e Ciência (FATEC), Santa Maria, Río Grande do Sul, Brasil.
- Burgos, N.R., Korsworthy, J.K., Scott, R.C., et al. 2008. Red rice (*Oryza sativa*) status after 5 years of imidazolinone-resistant rice technology in Arkansas. *Weed Technol.* 22:200-208.
- Busconi, M., Rossi, D., Lorenzoni, C., et al. 2012. Spread of herbicide-resistant weedy rice (red rice, *Oryza sativa* L.) after 5 years of Clearfield rice cultivation in Italy. *Plant Biol.* 14:751-759.
- Dyer, W.E., Chee, P.W., Fay, P.K. 1993. Rapid germination of sulfonyleurea-resistant *Kochia scoparia* L. accessions is associated with elevated seed levels of branched chain amino acids. *Weed Sci.* 41:18-22.
- Gomes, A.S., Magalhães Jr., A.M. 2004. *Arroz irrigado no sul do Brasil*. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, Brasil.

- Goulart, I.C.G.R. 2011. Fluxo gênico e variação adaptativa de arroz daninho (*Oryza sativa* L.) resistente a os herbicidas imidazolinonas. Dissertação de mestrado (PPG Fitotecnia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.
- Goulart, I.C.G.R., Matzenbacher, F.O., Merotto, Jr., A. 2012a. Differential germination pattern of rice cultivars resistant to imidazolinone herbicides carrying different acetolactate synthase gene mutations. *Weed Res.* 52:224-232.
- Goulart, I.C.G.R., Pacheco, M.T., Nunes, A.L., et al. 2012b. Identification of origin and analysis of population structure of field-selected imidazolinone-herbicide resistant red rice (*Oryza sativa*). *Euphytica* 187:437-447.
- IRGA. 2002. O arroz na conjuntura. *Boletim do IRGA* 1(1):1-4.
- Kalsing, A., Goulart, I., Mariot C., et al. 2019. Spatial and temporal evolution of imidazolinone-resistant red rice in "Clearfield" rice cultivations. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília 54:e00215.
- Massoni, P.F.S., Marchesan, E., Grohs, M., et al. 2013. Influência de manejo pós-colheita do arroz irrigado sobre o banco de sementes de arroz-vermelho. *Planta Daninha* 31:89-98.
- Merotto Jr.A., Goulart, I.C.G.R., Nunes, A.L., et al. 2016. Evolutionary and social consequences of introgression of nontransgenic herbicide resistance from rice to weedy rice in Brazil. *Evol. Appl.* 9:837-846.
- Noldin, J.A. 1988. Controle de arroz-daninho no sistema de semeadura em solo inundado. *Lavoura Arrozeira* 41(377):11-13.
- Petrini, J.A., Franco, D.F., Tavares, W. 1998. Germinação e viabilidade de sementes de arroz-daninho (*Oryza sativa*) em solo cultivado com arroz irrigado no sistema convencional. p. 373-376. In *Reunião Nacional de Pesquisa de Arroz, Goiânia, Embrapa, Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAP), Goiânia, Goiás, Brasil.*
- Roso, A.C., Merotto, Jr.A., Delatorre, C.A. 2010b. Bioensaios para diagnóstico da resistência aos herbicidas imidazolinonas em arroz. *Planta Daninha* 28:411-419.
- Roso, A.C., Merotto, Jr.A., Delatorre, C.A., et al. 2010a. Regional scale distribution of imidazolinone herbicide-resistant alleles in red rice (*Oryza sativa* L.) determined through SNP markers. *Field Crops Res.* 119:175-182.
- Roso, A.C., Merotto, Jr.A., Delatorre, C.A. 2010b. Bioensaios para diagnóstico da resistência aos herbicidas imidazolinonas em arroz. *Planta Daninha* 28:411-419.
- SOSBAI. 2018. Recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil. Sociedade Sul-Brasileira do Arroz Irrigado (SOSBAI), Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.
- Viero, J.L.C., Schaedler, C.E., Azevedo, E.B de., et al. 2018. Endozoochorous dispersal of seeds of weedy rice (*Oryza sativa* L.) and barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli* L.) by cattle. *Ciência Rural* 48(8):1-6.
- Ziska, L., Gealy, D.R., Burgos, R., et al. 2015. Weedy (red) rice: An emerging constraint to global rice production. *Adv. Agron.* 129:181-228.



# Capítulo 19. Cultivo del arroz en Italia y Europa

Francesco Vidotto, Silvia Fogliatto

## Producción de arroz en Europa en el contexto internacional

En la Unión Europea (UE), el arroz se cultiva exclusivamente con fines comerciales. Su importancia está bastante limitada, en términos de superficie cultivada y producción total, en comparación con otros cultivos. La incidencia del arroz de la UE es aún menor a nivel internacional. En 2014 sólo representó alrededor del 0,4 % del área arroceras mundial y 0,64 % de la producción total, mientras que los mayores productores se concentran principalmente en Asia, China, India e Indonesia, todos los cuales representan alrededor del 50 % tanto del área como de la producción de todo el mundo (FAO, 2018).

## Áreas arroceras en Europa y sistemas de producción

El arroz se cultiva en la UE en aproximadamente 446.000 ha, con un rendimiento promedio cercano a las 6,8 t ha<sup>-1</sup>. Las principales zonas arroceras europeas son el valle del Po en Italia, la Camarga (sur de Francia), varias áreas en España (delta del Ebro, área alrededor de Valencia, Sevilla, Badajoz y Zaragoza), el valle del Tejo y la región del Mondego en Portugal, y los alrededores de Thessaloniki en Grecia (Ferrero, 2007). Alrededor del 50 % del área total se encuentra en el valle del Po. Se puede estimar que cerca del 70 % del área arroceras se cultiva con variedades *japonica*, mientras que el 30% restante con variedades *japonica* similares a *indica* (Kraehmer et al., 2017). Éstos tienen granos alargados, pero genéticamente pertenecen al grupo *japonica*.

El arroz se cultiva principalmente como monocultivo, comúnmente en suelos de textura fina y mal drenados, con rasgos muy variables, como el pH (4,5 a 8,5), contenido promedio de materia orgánica de 2 % (0,5 % a 10 %) y contenido de sal que pueden ser bastante importantes en las zonas costeras (por ejemplo, Camarga en Francia, delta del Ebro en España, y delta del Po en Italia).

A menudo se produce en áreas donde las condiciones ecológicas no permiten otros cultivos. Por ejemplo, en Valencia (España) el cultivo de arroz está situado en suelos pantanosos de una laguna costera. En otras tierras de origen autóctono más cercanas a los Alpes (conocidas en Italia como 'Baragge'), que solían ser boscosas o sin perturbaciones, ahora se siembran con arroz, ya que estos suelos son compactos, con bajo contenido de materia orgánica y baja fertilidad. El área del arroz en Europa tiene un clima templado-continental que sólo permite una temporada de crecimiento por año.

A pesar de la gran variabilidad de las condiciones ambientales en que se cultiva el arroz en la UE, todo el arroz europeo se cultiva exclusivamente bajo riego (Garrity et al., 1986; Ferrero y Vidotto, 2010).

Si bien la inundación de malezas tiene un efecto significativo en la presión que ejercen, disminuyendo su presencia, este sistema se adopta, principalmente, con el objetivo de reducir las fluctuaciones de temperatura. El agua proviene de ríos, lagos y manantiales, mientras que sólo en algunos casos las aguas se extraen de los acuíferos.

Los campos de arroz se organizan generalmente en sistemas de 4 a 7 campos adyacentes, en los que el agua fluye desde la parte superior a la cuenca inferior, lo que se denomina 'sistema de flujo continuo'.

El cultivo se establece principalmente a través de siembra directa en seco. Históricamente, el trasplante se introdujo en Italia desde España, a principios de la década de 1910, y duró hasta la década de 1950 cuando se introdujeron los primeros herbicidas (Ferrero y Vidotto, 2010).

En la actualidad, alrededor del 70 % del área de arroz se gestiona adoptando inundaciones permanentes. En este caso, el arroz se siembra (como semilla remojada) en campos inundados. Al poco tiempo, los campos se secan durante algunos días para promover la formación de raíces y el establecimiento de plántulas. Después de eso, se mantienen continuamente inundados hasta, aproximadamente, 1 mes antes de la cosecha, con la excepción de los períodos cortos en los que se realizan tratamientos con herbicidas y fertilizantes de cobertura. El 30 % restante del área de arroz corresponde a siembra directa (en seco), donde los campos se inundan a partir de la etapa de macolla en adelante.

## Cultivo del arroz en Italia

En 2017, la superficie total arrocera en Italia cubría un poco más de 229.000 ha, con un rendimiento promedio de 6,8 t ha<sup>-1</sup>. El número de variedades cultivadas es bastante significativo, ya que en 2015 se sembraron 140 variedades, aunque sólo 7 ocupaban más de 10.000 ha cada una (Cuadro 1).

La siembra directa en campos secos se adopta en aproximadamente 38 % del área total de arroz, porcentaje que ha estado aumentando en los últimos años, lo que se relaciona con el aumento del cultivo de variedades tolerantes a imidazolinonas (IMI) (ENR, 2015b).

**Cuadro 1.** Superficie total, rendimiento promedio, número de variedades y área con variedades tolerantes a imidazolinonas (IMI) en Italia.

Superficie total (ha)	Rendimiento promedio (t ha <sup>-1</sup> )	Variedades (N°)	Área con variedades tolerantes a IMI
229.546 (2017)	6,8 (2016)	140 (7 > 10.000 ha cada una) (2015)	38 % (2017)

Fuente: ENR, 2015a; 2016.

En los últimos 30 años el número de predios se ha reducido en más de 50 % (Cuadro 2). En contraste, el tamaño promedio aumentó de 21 a 54 ha, valor bastante alto en comparación con el tamaño promedio de las granjas italianas, un poco inferiores a las 8 ha (ISTAT, 2018).

**Cuadro 2.** Evolución del número de agricultores arroceros y tamaño promedio de granjas arroceras en Italia desde 1980 a 2015.

	1980	2011	2015
Agricultores arroceros	8.800	4.300	4.200
Área promedio de granja (ha)	21	52	54
Área/trabajador (proporción)	-	-	45 a 60 ha/trabajador

Fuente: ISTAT, 2018.

El arroz en Italia es altamente mecanizado y cada trabajador puede administrar 45 a 60 ha y más. El alto número de variedades se debe a muchas razones. Una de ellas responde al hecho de que el mercado tradicionalmente requiere variedades pertenecientes a diferentes grupos comerciales de la UE, cada uno de los cuales tiene características de grano diferentes. Si consideramos la to-

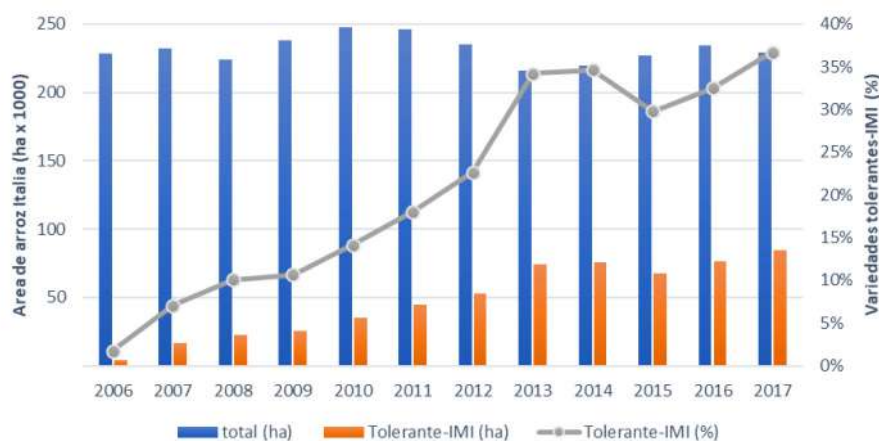
alidad de la producción cosechada, los grupos varietales más importantes son las variedades de grano redondo y medio más largo A (Cuadro 3). Cada granja, por lo general cultiva al menos 2 a 3 variedades pertenecientes a diferentes grupos, para aumentar la resiliencia económica frente a las fluctuaciones del mercado.

**Cuadro 3.** Clasificación de granos de arroz adoptada en la Unión Europea, basada en la longitud de los granos y en la relación largo/ancho y volumen cosechado en Italia. Temporada 2015-2016.

Tipo de grano	Largo (mm)	Largo/ancho	Cosecha 2015/16 (t)
Redondo ( <i>japonica</i> )	< 5,2	< 2	405.000
Medio ( <i>japonica</i> )	5,2-6,0	< 3	830.300
Largo A ( <i>japonica</i> )	> 6,0	2-3	
Largo B ( <i>indica-like</i> )	> 6,0	> 3	252.000

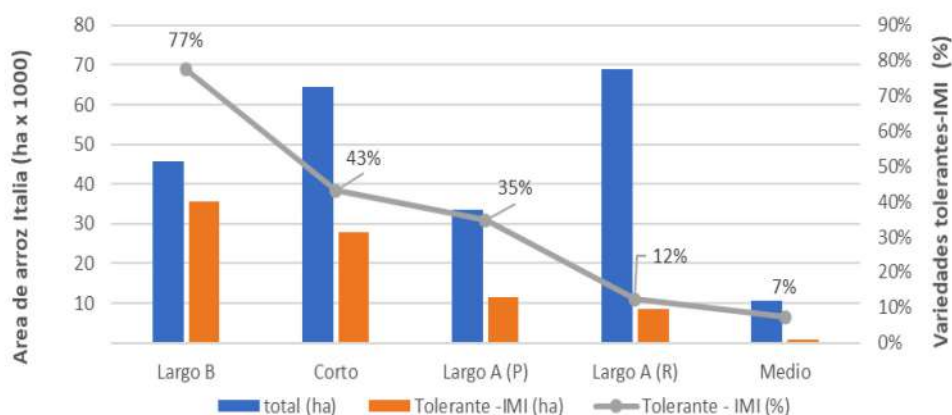
### Variedades tolerantes a IMI

Las variedades tolerantes a IMI se comercializaron, por primera vez en la UE, en 2006 en Italia, identificada como la variedad 'CL161' y con el nombre comercial 'Liberò' (libre), correspondiente a una mutación en el codón 653 del gen *ALS* (sustitución de serina con asparagina). Después de su introducción, las variedades tolerantes a IMI ganaron gran interés entre los agricultores, principalmente porque proporcionaron una herramienta eficiente para controlar selectivamente el arroz rojo en post-emergencia (Scarabel et al., 2012). En particular, esta tecnología incluye el uso de variedades tolerantes a IMI, junto con la aplicación de una formulación comercial que contiene imazamox, específicamente registrada para este tipo de uso. 'Liberò', variedad tolerante a IMI, tenía algunas características desfavorables, ya que el ciclo de cultivo era muy largo en comparación con otras variedades, aunque inicialmente se adoptó en campos altamente infestados con arroz rojo. Luego se desarrollaron otras variedades tolerantes a IMI, con rasgos agronómicos más favorables. En aproximadamente 7 años, el área cultivada con estas variedades aumentó hasta aproximadamente un 37 % del área de arroz italiano (ENR, 2017).



**Figura 1.** Superficie total del área de arroz en Italia, variedades tolerantes a imidazolinonas (IMI) y proporción convencional/IMI, desde su introducción en 2006 al 2017 (a partir de datos disponibles en <https://www.enterisi.it/>).

Las variedades tolerantes a IMI disponibles en Italia pertenecen a todos los grupos de variedades cultivadas actualmente (Cuadro 3). Sin embargo, entre los diferentes grupos varietales, la proporción de variedades tolerantes a IMI es particularmente alta para los grupos Largo B y redondo con 77 % y 43 %, respectivamente. La importancia de estas variedades es, en contraste, bastante baja en el caso de las variedades con tipos de grano Largo A (para hacer risotto) y Medio, con 12 % y 7 %, respectivamente (Figura 2).



**Figura 2.** Superficie del área arrocera de Italia y variedades tolerantes a imidazolinonas (IMI), agrupadas por tipo de grano, porcentaje de IMI. Largo A (P) y Largo A (R) se refieren a las variedades comercializadas principalmente para ‘parbolizado’ o para hacer ‘risotto’, respectivamente.

En el resto de Europa la adopción de estas variedades es generalmente menor. Se estima que las variedades tolerantes a IMI se cultivan en torno al 13 % del área total de arroz (14.000 ha de 109.300 ha) en España, 10% (3.000 ha de 30.000 ha) en Grecia y 25 % (7.200 ha de 28.600 ha) en Portugal (L. Quaglini, comunicación personal).

El uso combinado de variedades tolerantes y herbicidas IMI, está patentado por BASF bajo la marca registrada ‘Clearfield Technology’. En Italia se solicita a los agricultores que quieran adoptar esta tecnología que acepten y sigan estrictamente las pautas de administración emitidas por BASF, que incluyen los siguientes requisitos: (1) las variedades Clearfield deben rotarse con arroz convencional al menos cada 2 años de cultivo consecutivo; (2) el imazamox debe aplicarse dos veces, cada vez a 35 g i.a. ha<sup>-1</sup>, con un intervalo de 2 a 3 semanas entre los tratamientos; y (3) la eficacia del tratamiento con herbicida debe controlarse cuidadosamente y los ‘brotes’ de arroz rojo deben eliminarse por completo.

### Principales malezas en arroz

La información histórica sobre las malezas en el arroz en Italia se remonta a la década de 1800, cuando Giovanni Biroli (Biroli, 1807) informó como uno de los mayores problemas de malezas a *Cyperus longus* y *Scirpus mucronatus* y los hualcachos, particularmente *Echinochloa crus-galli* (Vidotto y Ferrero, 2013). A principios de la década de 1900, Jacometti (1912) enumeró más de 100 especies. Esta cifra se mantuvo constante hasta mediados de la década de 1950, cuando comenzó la difusión de nuevas técnicas de cultivo de arroz. En particular, el cambio del trasplante a la siembra directa y el abandono del control manual de las malezas e introducción de variedades de arroz de baja altura, provocaron el empeoramiento de las infestaciones de malezas. El primer uso generalizado de herbicidas estaba dirigido a controlar las ciperáceas y las especies de *Alismataceae*. Esto resultó en un mayor dominio de *Echinochloa* y otras gramíneas.

Hoy en día, el ecosistema del campo de arroz italiano es notablemente complejo e incluye especies que compiten con el arroz en los cuadros y también las presentes en otras áreas, como diques, zanjas, canales y caminos. Estas malezas pueden ser acuáticas o adaptadas a los ambientes acuáticos y secos, y se caracterizan por rasgos morfo-fisiológicos específicos. Las plantas C4 se encuentran principalmente en suelos no inundados, mientras que las especies C3 están frecuentemente presentes en suelos sumergidos. Todas estas plantas han desarrollado la capacidad de adaptarse a un entorno que está inundado durante aproximadamente la mitad del año y seca para el descanso (Ferrero y Vidotto, 2007). Las malezas sobreviven al período seco mediante propágulos de semillas (plantas anuales) o estructuras vegetativas como tubérculos (*Bolboschoenus maritimus* [L.] Pallay) y rizomas (*Tipha* spp.). La disponibilidad de agua y la alta temperatura durante el período de cultivo del arroz también ha permitido la proliferación de especies tropicales (*Paspalum distichum* L., *Cyperus communis*).

Basados en las prácticas adoptadas para su control, las principales especies de malezas de los campos de arroz europeos se pueden agrupar de la siguiente manera (Ferrero et al., 2002): 1) *Echinochloa* spp.; 2) especies de *Heteranthera*; 3) especies de *Alisma* y *Cyperaceae* (juncias); 4) varios biotipos de arroz maleza; 5) malezas de los campos sembrados en seco; y 6) otras malezas de menor importancia que normalmente no están sujetas a intervenciones específicas.

A nivel de la UE, las malezas de arroz más importantes son básicamente las mismas que se describen para Italia, con algunas pequeñas diferencias y variabilidades entre diferentes regiones dentro de un mismo país. En general, *Cyperus* spp., *Echinochloa* spp., *Heteranthera* spp. y *Oryza sativa* (arroz rojo) son los grupos que representan una amenaza en los principales países productores de arroz de la UE (Cuadro 4) (Kraehmer et al., 2016; 2017).

**Cuadro 4.** Importancia estimada de frecuencia de los géneros de maleza en campos de arroz de algunos países europeos.

Genus	Francia	Grecia	Italia	Portugal	España
<i>Alisma</i>	xx	xx	xxx	xx	xx
<i>Bidens</i>	xx	-	xx	x	-
<i>Bolboschoenus</i>	xxx	-	xxx	-	xxx
<i>Butomus</i>	x	x	x	-	-
<i>Cyperus</i>	xxx	xxx	xx	xxx	xxx
<i>Digitaria</i>	x	x	xx	x	-
<i>Echinochloa</i>	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
<i>Heteranthera</i>	xxx	xx	xxx	xxx	xxx
<i>Leersia</i>	xxx	xxx	xx	xxx	xx
<i>Leptochloa</i>	xx	xxx	x	xxx	xxx
<i>Lindernia</i>	xx	-	xx	-	xx
<i>Oryza</i>	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
<i>Panicum</i>	-	x	xx	x	-
<i>Paspalum</i>	xx	xx	x	xx	x
<i>Polygonum</i>	xxx	x	xx	xx	x
<i>Schoenoplectus</i>	xxx	-	xxx	xxx	xxx
<i>Setaria</i>	x	-	xxx	-	x
<i>Typha</i>	xxx	xx	x	xx	xx

Fuente: Kraehmer et al., 2017. x: Importancia menor, xx: importancia intermedia, xxx: mayor importancia. Puede ser variable dentro de cada país.

## Especies de *Echinochloa*

El género más frecuente e importante es *Echinochloa*, hualcachos, representado por cuatro especies: *E. crus-galli* (L.) P. Beauv., *E. erecta* (Polacci) Pignatti, *E. phyllopogon* (Stapf) Stapf ex Kossenko, y *E. colona* (L.) Link. En particular, *E. crus-galli* está presente en todos los campos de arroz italiano. Se estima que *E. erecta* se disemina en aproximadamente 60 % de los campos; *E. phyllopogon* ahora se distribuye en aproximadamente 50 % de los campos y su frecuencia ha estado aumentando en los últimos años; *E. colona* es menos frecuente e infesta alrededor del 20 % de los campos. El género completo, y *E. crus-galli* en particular, se caracteriza por una alta variabilidad de morfología, patrón de crecimiento, macollamiento, germinación y sensibilidad a los herbicidas (Vidotto et al., 2007b; 2015). Por lo tanto, la atribución de un determinado individuo a una especie puede ser difícil y los resultados a menudo son inciertos.

Uno de los principales problemas en el manejo de los hualcachos es la propagación de poblaciones resistentes a herbicidas. Existen poblaciones de *E. crus-galli* resistentes a herbicidas inhibidores de la ALS (Panozzo et al., 2013) y otras que muestran una resistencia múltiple a los inhibidores de la ALS y la enzima acetil coenzima A carboxilasa (ACC-asa); en *E. erecta* existen poblaciones resistentes al propanil y al quinclorac.

## Especies *Heteranthera*

Estas malezas monocotiledóneas son plantas exóticas que se reportaron por primera vez en Italia en 1962 (Pirola, 1968). Actualmente, las principales especies que se encuentran en los campos de arroz europeos son *H. reniformis* Ruiz & Pav., *H. rotundifolia* (Kunth) Griseb., y *H. limosa* (Sw.) Willd. La primera especie es la más frecuente y, en algunos casos, si no se maneja adecuadamente las infestaciones pueden llegar a ser muy abundantes, lo que proporciona una cobertura del suelo de hasta 100 % en campos completos (Ferrero, 1996).

## Especies *Alisma* y *Cyperaceae*

Las principales especies incluidas en este grupo son *Alisma plantago-aquatica* L., *A. lanceolatum* With., *Cyperus difformis* L., *Bolboschoenus maritimus* (L.) Palla y *Schoenoplectus mucronatus* (L.) Palla ex A. Kern.

Las especies de *Alisma* se encuentran con frecuencia en los campos arroceros italianos y están atrayendo la atención, en particular desde que se informaron casos de resistencia a los herbicidas inhibidores de la ALS.

*Cyperus difformis* es un ciperácea anual que puede germinar más tarde en la temporada (alrededor de mayo) que la mayoría de las otras malezas del arroz. A pesar de su escasa capacidad competitiva, también puede ser un problema debido a la presencia de casos de resistencia a los inhibidores de la ALS.

*Bolboschoenus maritimus* (syn. *Scirpus maritimus*) es una planta perenne que se propaga principalmente a través de rizomas y tubérculos. *Schoenoplectus mucronatus* es una planta perenne con rizomas cortos que en los campos de arroz se comporta como una especie anual y se reproduce por semillas. En los arrozales europeos es una de las malezas más comunes; sin embargo, no prospera en suelos muy salinos y rara vez crecen en campos con una larga historia de cultivo continuo de arroz (Marnotte et al., 2006). Algunas poblaciones de *S. mucronatus* han desarrollado resistencia a los herbicidas inhibidores de la ALS en Italia.

## Arroz rojo

En Italia hay varias poblaciones que pueden diferenciarse sobre una base morfológica. En un estudio realizado en el área principal de cultivo de arroz, se identificaron unas 150 poblaciones

visualmente distinguibles, pero es posible que las variantes morfológicas puedan ser aún más (Fogliatto et al., 2012).

El arroz rojo es un competidor fuerte y su presencia continua en el campo está asegurada por el quiebre de la dormancia de sus semillas (Vidotto y Ferrero, 2009; Andres et al., 2015). Además, parte de las semillas se cosechan junto con el arroz, reducen su calidad, crean la necesidad de realizar un procesamiento adicional y los productores obtienen un precio más bajo por el producto.

Se puede estimar que más del 80 % de los arrozales italianos, están infestados con arroz rojo. A pesar de la gran adopción de variedades tolerantes a IMI, el arroz rojo todavía se considera una de las malezas graves del cultivo. En los últimos años se han encontrado varias poblaciones resistentes al imazamox, lo que se ha relacionado con la introducción de variedades tolerantes a IMI (Scarabel et al., 2012), porque nunca antes se encontró resistencia a la imidazolinona en las poblaciones de arroz rojo italianas (Andres et al., 2013; 2014). Este fenómeno no parece haber empeorado, ya que hasta ahora los agricultores no lo han percibido como una amenaza real.

Las poblaciones de arroz rojo diseminadas en Italia se pueden dividir en grupos en función de las características de la arista. La mayoría tiene arista (56 %), seguido por aquellas sin arista (27 %), con las variantes de aristas pajizas, negras y puntiagudas (17 %, con arista muy corta y oscura).

La ausencia de arista se asocia con algunas otras diferencias morfológicas: las poblaciones con aristas tienen semillas más largas y la emisión de panícula es más temprana, las puntiagudas tienen semillas más livianas y las plantas son más pequeñas, las poblaciones con aristas tienen el menor número de semillas por panícula (Fogliatto et al., 2012). El origen del arroz rojo italiano no está completamente claro, pero parece que existe una relación genética significativa con las variedades antiguas. Usando marcadores microsatélites de la distancia genética entre germoplasmas, se encontró que varias poblaciones de arroz rojo se agrupan con algunas variedades antiguas (Ranghino, Ostiglia, Bertone y Carnaroli) y con una sola variedad moderna (Flipper) (Grimm et al., 2013).

### **Malezas de siembra en seco**

Como en este caso el cultivo de arroz se divide en dos fases, la primera en condiciones secas y la segunda en condiciones inundadas, generalmente se pueden encontrar dos comunidades de malezas diferentes, relacionadas con el ambiente seco o inundado. Las principales malezas en el suelo seco son *Echinochloa* spp., *Panicum dichotomiflorum* Michx., *Bidens* spp., *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop., *Polygonum* spp., *Chenopodium album* L., y *Amaranthus retroflexus* L. Otro grupo de malezas se desarrolla después de la inundación del cultivo que comienza cuando éste está en la etapa de macolla e incluye las mismas especies acuáticas o semiacuáticas mencionadas anteriormente. En estas condiciones culturales se requieren programas específicos de control de malezas para ambos grupos de malezas.

### **Programas de manejo de malezas**

De acuerdo con el sistema de cultivo adoptado (siembra pre-germinada en campos inundados o siembra en seco), las especies de malezas presentes en el campo (y en particular la presencia/ausencia de arroz rojo), y las variedades (convencionales o tolerantes a IMI), se pueden adoptar varios programas de manejo de malezas.

El primer caso corresponde a cuando el arroz se siembra en los campos inundados que es la condición más común. En el caso de que no haya arroz rojo, generalmente se requiere de uno a tres tratamientos con herbicidas. El primero está dirigido principalmente a controlar *Heterantera* y parcialmente *Echinochloa* y se realiza pocos días antes de la siembra, usando oxadiazon.

Luego, en post-emergencia, se realizan uno o dos tratamientos para controlar *Echinochloa*, *Ciparaceae* y *Alismataceae* mediante el uso de inhibidores de la ALS, solos o en mezcla con cyhalofop o propanilo. Si no hay *Heteranthera*, entonces sólo se requieren tratamientos post-emergentes.

El segundo caso corresponde a cuando también hay arroz rojo. Si se usan variedades convencionales (no tolerantes a IMI), el arroz rojo puede controlarse con flufenacet aplicado antes de la siembra del arroz (unos 30 d antes de la siembra), o adoptando la técnica de semillero. En esta condición, el campo se irriga una vez para promover la germinación de las malezas y luego las plántulas se destruyen utilizando glifosato, cicloxidim o propaquizafop (Fogliatto et al., 2013). En la post emergencia del cultivo, un método para limitar la entrada del banco de semillas es usar una barra de cuerda embebida con glifosato que toque sólo las partes apicales de las plantas de arroz rojo, como las plantas de *Echinochloa* que generalmente son más altas que el arroz. Usando un enfoque similar, las barras de cuerda se pueden sustituir por barras de corte (Foto 1).



**Foto 1.** Barra de corte producida por un fabricante italiano, trabajando en un campo de arroz para eliminar los órganos reproductores de las malezas más altas que el arroz (en particular, el arroz malezas y *Echinochloa* spp.) Desde <https://www.meneguzzo.eu/>.

En el arroz sembrado en seco, durante la fase inicial del cultivo seco, es importante controlar las malezas típicas de otros cultivos anuales de verano, como *Panicum* o *Echinochloa*. Para este propósito, clomazone, pendimetalina (generalmente en mezcla) con o sin oxadiazon, se aplican en la preemergencia de cultivos. Entonces, puede ser suficiente un tratamiento adicional posterior a la emergencia (principalmente con inhibidores de ALS) realizado inmediatamente antes de comenzar la fase de inundación. A veces se puede requerir un segundo tratamiento posterior a la emergencia.

Con el uso de variedades tolerantes a IMI es posible simplificar el manejo completo de las malezas. En condiciones de siembra seca, se requiere un tratamiento de preemergencia con oxadiazon, clomazone y pendimetalina. Además de este tratamiento, todo el manejo se basa en una doble aplicación de imazamox a 35 g i.a. ha<sup>-1</sup>. El intervalo entre los tratamientos es de 2 a 3 semanas. El segundo tratamiento está dirigido a controlar las plantas de arroz rojo que podrían haber escapado del primer tratamiento y las que surgieron más tarde.



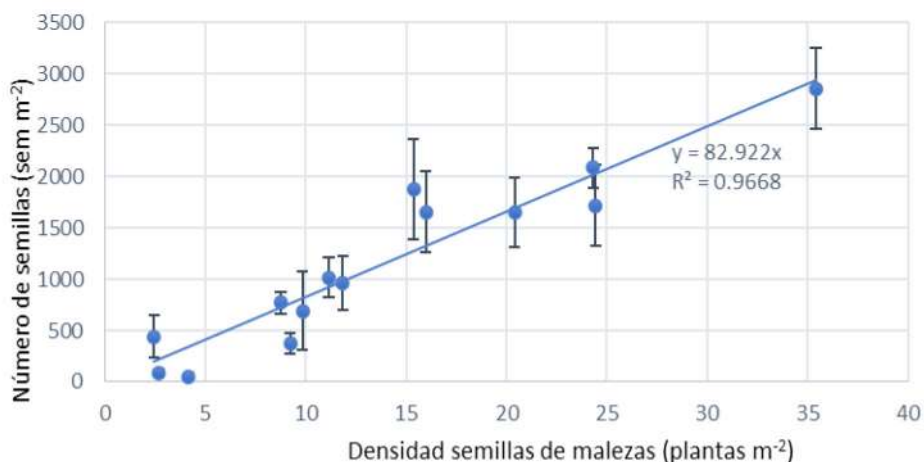
## Manejo del banco de semillas de malezas

Aunque todos son conscientes de la importancia del banco de semillas de malezas, su manejo se percibe como una piedra angular en el control de malezas en el arroz, generalmente sólo cuando los programas convencionales de control de malezas son defectuosos, poco efectivos o no pueden aplicarse por alguna razón.

Algunos ejemplos en los que pueden ocurrir una o más de estas condiciones son: manejo de malezas de difícil control (como el arroz rojo), problemas emergentes (como resistencia a herbicidas, reducción en el número de herbicidas disponibles, etc.), manejo de malezas en sistemas específicos de cultivo de arroz, como ejemplo, el arroz orgánico.

Varios estudios han señalado que el control de malezas en general y el manejo del banco de semillas de malezas en particular, necesitan la combinación de varias prácticas, ya que las prácticas de control de malezas individuales tienen un efecto parcial en el banco de semillas (Ferrero et al., 1999; Vidotto et al., 2001).

El problema es que el banco de semillas es difícil de manejar, porque sólo una pequeña proporción de semillas se convierte en plántulas cada año. Por ejemplo, en el arroz rojo sólo alrededor del 5 % de las semillas en la capa de 0 a 20 cm dan origen a plántulas (Vidotto y Ferrero, 2000). Esto puede considerarse un valor pequeño, e incluso puede reducirse mediante el control de las plántulas, pero debe tenerse en cuenta que la lluvia de semillas ('rain seed') puede ser muy alta y anular parcialmente los efectos del control de malezas. En la misma especie, la lluvia de semillas puede corresponder a más de 80 veces la densidad final de las plantas maduras (Figura 3). En otras palabras, no importa cuán precisa sea la gestión de malezas, pocos escapes pueden ser suficientes para mantener el banco de semillas en niveles altos.

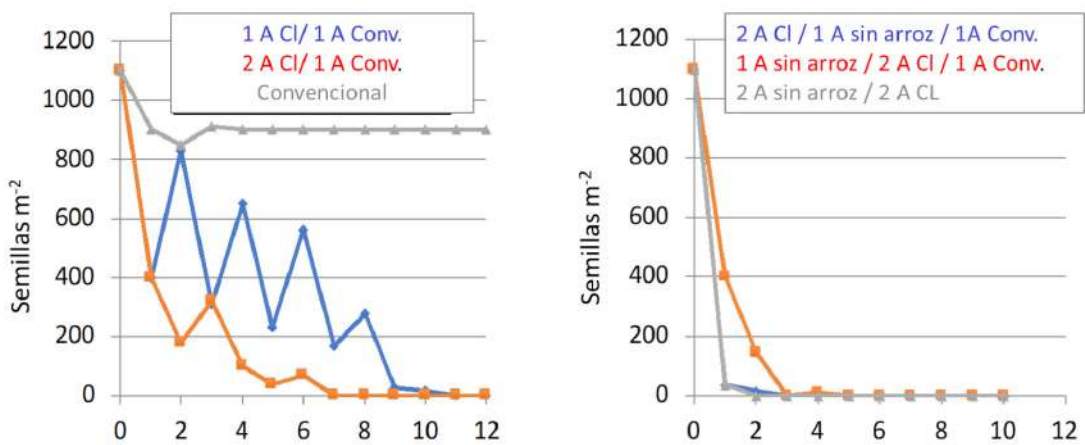


Fuente: Vidotto et al., 2007.

**Figura3.** Relación entre densidad de plantas maduras de arroz maleza y 'lluvia de semillas'.

Un sistema que puede ser útil para comprender dónde es posible realizar acciones para administrar el banco de semillas, consiste en modelar el ciclo de vida de las malezas en relación con las prácticas agronómicas. El diagrama de flujo de un modelo hipotético para el arroz de malezas se representa en la Figura 4. El modelo está básicamente construido alrededor de la dinámica del banco de semillas de arroz rojo. El banco de semillas se considera un reservorio y su tamaño está regulado por salidas y entradas. Como resultados se consideran la mortalidad de las semillas y las emergencias que ocurren inmediatamente antes de la siembra de arroz o durante el cultivo de arroz. Otros elementos incluidos en el modelo son los efectos de las medidas de control que influyen en el número de plantas sobrevivientes. El modelo calcula la biomasa de arroz rojo por m<sup>2</sup> y las semillas producidas que representan el insumo principal del banco de semillas. Otra entrada





**Figura 5.** Ejemplos de simulaciones de la dinámica de bancos de semillas de arroz rojo, calculados utilizando el modelo representado en la Figura 4 en monocultivo de arroz y en un sistema de cultivo rotativo. Banco de semillas inicial: 1.100 semillas m<sup>-2</sup> en los 5 cm superiores del suelo. CL: Arroz Clearfield (variedad tolerante a imidazolinonas [IMI]); Conv.: variedad de arroz convencional (no tolerante a IMI). Las simulaciones suponen que no hay resistencia a IMI que se seleccione ni se transfiera a arroz rojo.

### Inundación invernal

En Europa, y particularmente en Italia, la labranza del suelo se realiza principalmente en otoño, cuando el contenido de humedad del suelo suele ser más adecuado. A pesar de que esta labranza mejora la degradación de los residuos del cultivo y la estructura del suelo, la labranza realizada inmediatamente después de la cosecha del cultivo, tiene como consecuencia la incorporación de semillas de malezas en el suelo, incluidas las semillas de arroz rojo a profundidades variables, de modo que baja la liberación de la dormancia y prolonga su longevidad (Delouche et al., 2007).

Las inundaciones de invierno se pueden utilizar para mejorar la descomposición de los residuos y se adoptan en algunas áreas como una práctica alternativa a la quema de la paja de arroz y labranza de otoño (van Groenigen et al., 2003). Esto puede actuar como un semillero para promover la germinación de las semillas de malezas, incluido el arroz rojo.

Las inundaciones de invierno comienzan inmediatamente después de la cosecha de arroz, sin la labranza de otoño, y terminan antes de que ocurra la labranza del semillero en la primavera. En un estudio de 3 años realizado en Italia, se observó que las inundaciones de invierno causaron casi un 100 % de agotamiento del banco de semillas superficial de malezas (la lluvia de semillas se produjo en el verano anterior). Las razones de por qué sucedió esto no estaban claras, pero se puede suponer que las inundaciones invernales aumentaron la depredación, aceleraron los procesos de descomposición y favorecieron la germinación suicida de algunas especies y del arroz rojo en particular (Fogliatto et al., 2010).

La mayoría de las poblaciones de arroz convencional italiano tienen semillas latentes y no pueden germinar en otoño, inmediatamente después de que son producidas por la planta madre. Sin embargo, si las semillas se mantienen en condiciones de inundación, la latencia se libera rápidamente, especialmente en poblaciones sin aristas. Después de 15 d de inundación, 50 % de las semillas puede germinar y originar las plántulas que serán eliminadas por las bajas temperaturas en invierno (Fogliatto et al., 2011).

## Casos especiales en sistemas europeos de cultivo de arroz: arroz orgánico

Hoy en día, en Italia el arroz se cultiva orgánicamente en aproximadamente 5 % de toda el área y con un interés creciente entre los agricultores, porque el precio del arroz orgánico es 2 a 3 veces el precio del arroz convencional.

El principal problema en el cultivo de arroz orgánico es el manejo de malezas, por lo que en los últimos años se han iniciado muchas actividades de investigación para encontrar soluciones alternativas.

Un posible sistema para favorecer el manejo no químico de las malezas es el trasplante mecánico que ya se utiliza en gran medida en otras partes del mundo. El trasplante permite una siembra tardía, que a su vez permite que crezca un cultivo de cobertura antes del trasplante, o realizar una o dos siembras falsas antes del trasplante.

Como las plantas trasplantadas se disponen en hileras separadas a 30 cm, es posible ejecutar un control mecánico de malezas entre ellas (Foto 2). Éste sigue siendo un aspecto crítico, así como todo el proceso de suministro de la planta que necesita que todos los actores involucrados (vivero, trasplantadora, agricultor) estén sincronizados.

Los primeros resultados son alentadores. Teniendo en cuenta que el rendimiento promedio de arroz en la producción orgánica se estima en alrededor de un tercio a la mitad del rendimiento obtenido en una producción convencional, el trasplante puede permitir obtener rendimientos más altos si todas las prácticas de cultivo, en especial el control mecánico de malezas, se realizan a tiempo y de buena forma. La técnica parece ser más adecuada para ciertos grupos de variedades, y en particular para el arroz híbrido (Vidotto et al., 2018). Estas variedades requieren una densidad de siembra muy baja que a veces es difícil de obtener con la sembradora tradicional que utiliza esparcidores de fertilizantes. El trasplante permite espaciar las plantas de manera uniforme en el campo y les permite producir abundantes macollas.



**Foto 2.** Trasplante mecánico de arroz orgánico en el noroeste de Italia (izquierda) y control mecánico de malezas entre hileras (derecha).

Otra técnica que varios agricultores están probando es el acolchado de plástico con películas biodegradables (Foto 3). Es una forma de siembra directa en seco y, por lo tanto, no se requiere un vivero. En la actualidad, las películas adaptadas son derivadas de almidones, celulosa, aceites vegetales y sus combinaciones (Mater-Bi de Novamont) o de una base fósil (Ecoflex y Ecovio de BASF).

Sin embargo, un aspecto crítico que aún debe resolverse es el control de malezas entre las tiras de película, lo que se puede hacer mecánicamente o con compuestos autorizados en la agricultura

orgánica. Una ventaja de la técnica es la reducción de los requisitos de riego, especialmente si se integra el riego por goteo, superficial o subsuperficial (Ferrero et al., 2018).



**Foto 3.** Acolchado plástico con películas biodegradables. En este campo, el riego se realiza mediante riego por goteo subsuperficial.

Un tercer enfoque que se está usando en Italia, es el acolchado verde. En este caso, un cultivo de cobertura se siembra en otoño, por ejemplo, centeno, triticale o mezclas. El cultivo de cobertura crece en otoño y en primavera. Alrededor de mediados de mayo, el arroz se distribuye directamente sobre el cultivo de cobertura, inmediatamente después de que finaliza la cobertura con un rolo faca, o un rodillo triturador de rastrojos. Concluida la labor mecánica, el campo se inunda y el cultivo de cobertura comienza a podrirse y el crecimiento de las malezas se inhibe, tanto por la acción física, como por la química.



**Foto 4.** Campo de arroz en el que se cultiva, desde el otoño hasta la primavera, una mezcla de ballica italiana (*Lolium multiflorum* Lam.) y arveja (*Vicia villosa* Roth), y luego se termina con un picador inmediatamente después de la siembra de arroz. Foto de fines de mayo, después de un drenaje para promover el enraizamiento del arroz.

La eficacia de esta técnica es variable y sólo puede tener éxito si el cultivo de cobertura está bien establecido y produce una biomasa adecuada. Algunas especies, como la arveja, se pueden congelar en parte debido a las bajas temperaturas durante el invierno, lo que proporciona una cobertura insuficiente del suelo en primavera y una baja cantidad de biomasa. El crecimiento de las plántulas de arroz puede verse afectado por la biomasa en putrefacción. Para evitar esto, los agricultores suelen secar los campos durante unos días para promover el enraizamiento (Foto 4).

## Referencias

- Andres, A., Fogliatto, S., Ferrero, A., et al. 2014. Susceptibility to imazamox in Italian weedy rice populations and Clearfield® rice varieties. *Weed Res.* 54:492-500.
- Andres, A., Fogliatto, S., Ferrero, A., et al. 2015. Growth variability of Italian weedy rice populations grown with or without cultivated rice. *Crop Sci.* 55:394-402.
- Andres, A., Vidotto, F., Fogliatto, S., et al. 2013. Assessment of weedy rice sensitivity to imazamox with a fast dose-response bioassay. p. 243-243. In 16th EWRS Symposium, Samsun, Turkey. European Weed Research Society (EWRS), Doorwerth, The Netherlands
- Biroli, G. 1807. *Del riso: trattato economico-rustico*. Tipografia Giovanni Silvestri, Milan, Italia.
- Delouche, J.C., Burgos, N.R., Gealy, D.R., et al. 2007. *Weedy rices: Origin, biology, ecology and control*. FAO, Rome, Italy.
- ENR. 2015a. *Superfici investite a riso 2015*. Ente Nazionale Risi (ENR), Milano, Italia.
- ENR. 2015b. *XLVIII Relazione Annuale Anno 2015*. Ente Nazionale Risi (ENR), Milano, Italia.
- ENR. 2016. *Superfici investite a riso 2016*. Ente Nazionale Risi (ENR), Milano, Italia.
- ENR. 2017. *Superfici investite a riso 2017*. Ente Nazionale Risi (ENR), Milano, Italia.
- FAO. 2018. *FAOSTAT-Data-Crops*. FAO, Rome, Italy. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
- Ferrero, A. 1996. Prediction of *Heteranthera reniformis* competition with flooded rice using day-degrees. *Weed Res.* 36:197-201.
- Ferrero, A. 2007. Rice scenario in the European Union. *Cahiers Agric.* 16:272-274.
- Ferrero, A., Milan, M., Fogliatto, S., et al. 2018. Subirrigazione e pacciamatura: possibili applicazioni su riso. *Informatore Agrario* 74:46-9.
- Ferrero, A., Tabacchi, M., Vidotto, F. 2002. Italian rice field weeds and their control. p. 535-544. In *Proceedings 2<sup>nd</sup> Temperate Rice Conference*. International Rice Research Institute (IRRI), Sacramento, California, USA.
- Ferrero, A., Vidotto, F. 2007. Weeds and weed management in Italian rice fields. p. 55-72. In Ferrero, A., Vidotto, F. (eds.) *Agro-economical traits of rice cultivation in Europe and India*. Edizioni Mercurio, Vercelli, Italy.
- Ferrero, A., Vidotto, F. 2010. History of rice in Europe. p. 341-372. In Sharma, S.D. (ed.) *Rice - Origin, antiquity and history*. Science Publishers-CRC Press, Enfield, New Hampshire, USA.
- Ferrero, A., Vidotto, F., Balsari, P., et al. 1999. Mechanical and chemical control of red rice (*Oryza sativa* L. var. *sylvatica*) in rice (*Oryza sativa* L.) pre-planting. *Crop Prot.* 18:245-251.
- Fogliatto, S., Vidotto, F., Andres, A., et al. 2013. Glyphosate sensitivity in Italian weedy rice. p. 242. In 16<sup>th</sup> EWRS Symposium, Samsun, Turkey. European Weed Research Society (EWRS), Doorwerth, The Netherlands.
- Fogliatto, S., Vidotto, F., Ferrero, A. 2010. Effects of winter flooding on weedy rice (*Oryza sativa* L.) *Crop Prot.* 29:1232-1240.

- Fogliatto, S., Vidotto, F., Ferrero, A. 2011. Germination of weedy rice (*Oryza sativa*) in response to field conditions during winter. *Weed Technol.* 25:252-261.
- Fogliatto, S., Vidotto, F., Ferrero, A. 2012. Morphological characterization of Italian weedy rice (*Oryza sativa*) populations. *Weed Res.* 52:60-69.
- Garrity, D.P., Oldeman, L.R., Morris, R.A., et al. 1986. Rainfed lowland rice ecosystems: characterization and distribution. p. 3-23. In *Progress in rainfed lowland rice*. International Rice Research Institute (IRRI), Los Baños, Philippines.
- Grimm, A., Fogliatto, S., Nick, P., et al. 2013. Microsatellite markers reveal multiple origins for Italian weedy rice. *Ecol. Evol.* 3:4786-4798.
- ISTAT. 2018. Numero di aziende e superficie agricola. Istituto nazionale di statistica (ISTAT), Roma, Italia.
- Jacometti, G. 1912. Le erbe che infestano le risaie italiane. p. 57-93. Vol. 4. In *Atti del Congresso Riscicolo Internazionale*, Vercelli, Italia.
- Kraehmer, H., Jabran, K., Mennan, H., et al. 2016. Global distribution of rice weeds – A review. *Crop Prot.* 80:73-86.
- Kraehmer, H., Thomas, C., Vidotto, F. 2017. Rice production in Europe. p. 93-116. In Chauhan, B.S., Jabran, K., Mahajan, G. (eds.) *Rice production worldwide*. Springer International Publishing, Cham, Switzerland.
- Marnotte, P., Carrara, A., Dominati, E., et al. 2006. *Plantes des rizières de Camargue*. Éditions Quae Gie, Versailles, France.
- Panozzo, S., Scarabel, L., Tranel, P.J., et al. 2013. Target-site resistance to ALS inhibitors in the polyploid species *Echinochloa crus-galli*. *Pestic. Biochem. Phys.* 105:93-101.
- Pirola, A. 1968. *Heteranthera reniformis* Ruitz Pavon (Pontederiaceae) avventizia delle rizaie pavesi. *Il Riso*: 4:18-21.
- Scarabel, L., Cenghialta, C., Manuello, D., et al. 2012. Monitoring and management of Imidazolinone-resistant red rice (*Oryza sativa* L., var. *sylvatica*) in Clearfield® Italian paddy rice. *Agronomy* 2:371-383.
- van Groenigen, J.W., Burns, E.G., Eadie, J.M., et al. 2003. Effects of foraging waterfowl in winter flooded rice fields on weed stress and residue decomposition. *Agric. Ecosyst. Environ.* 95:289-296.
- Vidotto, F., Ferrero, A. 2000. Germination behaviour of red rice (*Oryza sativa* L.) seeds in field and laboratory conditions. *Agronomie* 20:375-382.
- Vidotto, F., Ferrero, A. 2009. Interactions between weedy rice and cultivated rice in Italy. *Ital. J. Agron.* 4:127-136.
- Vidotto, F., Ferrero, A. 2013. Weed management in Italian rice fields. p. 139-144. In *XIV Congreso de la Sociedad Española de Malherbología*. Editorial Universitat Politècnica de València, Valencia, Spain.
- Vidotto, F., Ferrero, A., Ducco, G. 2001. A mathematical model to predict the population dynamics of *Oryza sativa* var. *sylvatica*. *Weed Res.* 41:407-420.
- Vidotto, F., Fogliatto, S., Dalla Valle, N., et al. 2015. Efficacy of rice herbicides on *Echinochloa* spp. as affected by repeated use. In *17th European Weed Research Society Symposium (EWRS) 2015*. Association Française de Protection des Plantes, Montpellier, France.
- Vidotto, F., Fogliatto, S., Zafferoni, M., et al. 2018. Il trapianto meccanico, opportunità per il riso bio. *Informatore Agrario* 74:50-52.
- Vidotto, F., Tesio, F., Patracchini, C., et al. 2007a. Effects on weedy rice seeds of rice field overwinter flooding. p. 134-135. In *Proceedings of the Fourth Temperate Rice Conference*. S.I.R.F.I., Novara, Italy.

Vidotto, F., Tesio, F., Tabacchi, M., et al. 2007b. Herbicide sensitivity of *Echinochloa* accessions in Italian rice fields. *Crop Prot.* 26:285-293.

Ziska, L.H., Gealy, D.R., Burgos, N., et al. 2015. Weedy (red) rice: An emerging constraint to global rice production. *Adv. Agron.* 129:181-228.