

Capítulo 21. Control de malezas del arroz en Chile

Alejandro Toro Y., Mario Paredes C., Jorge Nitsche M., Fernando Pardo del C., Gabriel Donoso Ñ., Viviana Becerra V.

En Chile, las malezas constituyen el principal problema agronómico en la producción del arroz (Foto 1). La presencia de malezas afecta en forma importante el rendimiento del arroz (Sims y Alvarado, 1972; Ormeño, 1983a; Alvarado et al., 1985; Ormeño, 1992; Alvarado y Hernaíz, 2001; Pedreros y Kramm, 2007) y la calidad del grano (Sims, 1959; Alvarado y Lobos, 1986). En diferentes ensayos de campo se han cuantificado pérdidas de hasta 100 % de la producción, dependiendo, principalmente, del grado infestación, especialmente en los primeros estados del cultivo.

Para lograr un buen control de malezas es importante considerar los siguientes aspectos: 1) rotación de cultivos (Sims, 1983); 2) buena preparación de suelos (Hernaíz, 1986a; Alvarado y Pedreros, 1992); 3) nivelación de los suelos (Grau y Cisternas, 1986); 4) uso de semilla mejorada (Sims, 1959) o certificada (Alvarado y Hernaíz, 2007; Pedreros y Kramm, 2007); 5) siembra en la fecha recomendada (Alvarado y Hernaíz, 2007); 6) fertilización (Bertín et al., 1984; Alvarado et al., 1985; Alvarado y Lobos, 1986; Hernaíz, 1986a; Pedreros y Kramm, 2007); 7) densidad de plantas recomendada (Alvarado y Hernaíz, 2007); 8) manejo adecuado de la altura del agua en siembras con semilla pregerminada (Pedreros y Alvarado, 1994; Hernaíz y Alvarado, 2007; Pedreros y Kramm, 2007) y; 9) uso adecuado de herbicidas (Hernaíz, 1986b; Pedreros y Kramm, 2007).

Malezas presentes en el arrozal

En siembras de arroz inundado, con semilla germinada, se presentan una serie de malezas típicas del cultivo del arroz que están adaptadas a la vida acuática, por lo que el manejo de las malezas bajo estas circunstancias es diferente al de otros cultivos de primavera regados (Sims y Alvarado, 1972). Sin embargo, en las siembras directas de arroz, las malezas que compiten con el cultivo en sus primeros estados de desarrollo, son malezas similares a las que se presentan en cultivos que se siembran en suelos no inundados, y como en aquellos cultivos, es importante tener un especial cuidado con su control (Henríquez et al., 2018).



Foto 1. Infestación de arrozal con pasto cabezón.

Evolución de la presencia de malezas y su control en el cultivo del arroz

Siembras de arroz pregerminado

En la primera década de siembras de arroz en Chile el problema de las malezas fue limitado, ya que se usaron suelos 'vírgenes', en los cuales no se había sembrado arroz previamente. Sin embargo, a medida que se fue intensificando el uso de los suelos arroceros, las malezas típicas que crecen en 'suelos inundados' comenzaron a constituir un problema económico-cultural, lo que se vio favorecido, también, por un deficiente control de malezas y por la ausencia de rotaciones con otros cultivos (Sims, 1959; 1969; Sims y Alvarado, 1972). La primera referencia de las malezas como un factor limitante en el cultivo de arroz, alude a una siembra realizada en el Fundo 'El Arrozal', ubicado a tres kilómetros de la localidad de Graneros, en la Región Metropolitana. Al respecto, se informa que en esa siembra se detectaron 22 tipos de malezas diferentes, de las cuales la más abundante y perjudicial era el hualcacho (*Echinochloa* spp.) (Foto 2), al ser una planta de difícil control debido a su parecido con la planta de arroz, especialmente en sus primeros estados de desarrollo (Anríquez, 1934).



Foto 2. El Hualcacho (*Echinochloa* spp.) está entre las especies más perjudiciales en arroz. Gentileza R. Henríquez.

En aquella época, algunas de las recomendaciones más importantes para mantener el cultivo de arroz libre de malezas, era realizar un control previo a la siembra a través del pastoreo de las malezas con animales, la aplicación de riegos que favorecieran la emergencia temprana de malezas, las que se eliminaban con rastrajes previo a la siembra, y el uso de semilla limpia (libre de malezas). De esta manera se lograba reducir la infestación de las malezas en el cultivo, sin aumentar significativamente el costo de producción del arroz (Silva, 1937). Posterior a la siembra, el control de las malezas se realizaba a mano, con la presencia del agua en los cuarteles o sin ella, dependiendo de la disponibilidad de trabajadores. La principal maleza presente en el arrozal era la planta leguminosa conocida como 'frijolillo', representada por diversas especies y variedades que producían una semilla pequeña de colores negro o crema (carmelita o amarillo), muy difícil de separar del grano de arroz, y que reducía su valor comercial. Otras malezas presentes en los arrozales eran diferentes especies de *Carex*, juncos, gramíneas acuáticas, entre las cuales se destacaba la maleza conocida como 'barbarroja', por el color rojo de su espiga (Silva, 1937).

A fines de la década de 1930, las principales malezas que competían con el arroz eran la chépica (*Paspalum* spp.), juncos, *Carex* y *Typhas* (totoras), entre otras. Los métodos de control de las malezas

más recomendados eran la preparación del suelo, el uso de cultivadores en las siembras que utilizaban el sistema de almácigo-trasplante, y la limpia a mano de las malezas en siembras al voleo. Asociado al problema de malezas, el cultivo de arroz presentaba a menudo la presencia de algas, las que se podían eliminar con rastras livianas y/o con la aplicación de sulfato de cobre en solución al 10 % (Opazo, 1939).

Una preocupación de aquella época, asociada a la presencia y el control de las malezas, era la calidad de la semilla utilizada por los agricultores. Al respecto, un estudio taxonómico del arroz o semilla nacional determinó la presencia de 11 tipos de plantas de arroz con características morfológicas diferentes, y 13 tipos de plantas de arroz con granos rojos, cuyo posible origen sería el cruzamiento natural de la maleza conocida como 'arroz rojo', con el arroz comercial (Theune, 1941).

En 1940, el control de malezas continuaba siendo una de las prácticas culturales más importantes en el arrozal, ya que los diferentes grados de infestación significaban pérdidas económicas importantes, por lo cual, la recomendación era iniciar el control de las malezas temprano, para reducir la competencia de la planta y no afectar el rendimiento y la calidad del grano producido. El método de control de malezas utilizado era manual y consistía en cuadrillas de obreros que arrancaban todas las malezas presentes en el cultivo, las que depositaban posteriormente en los pretiles. Este control se repetía una o dos veces, de acuerdo a la cantidad de malezas presentes en el arrozal (Villalobos, 1941). Las principales malezas presentes en el cultivo del arroz eran el arroz rojo, hualcacho, chépica, totora, estoquilla y la hualtata, siendo las tres últimas de menor importancia, por el daño que causaban en el arrozal (Foto 3) (Villalobos, 1941).

Además del daño causado en el campo, las malezas continuaban siendo un problema posterior a la cosecha del arroz, ya que su presencia implicaba un castigo económico al arroz comprado por la industria. El análisis realizado por la industria consideraba los siguientes parámetros: rendimiento grano paddy (kg), rendimiento industrial (%), humedad (%), impurezas (%), granos rojos (%), granos verdes, (%), granos fallos (%), entre otros (Astorga, 1944). Las malezas más comunes en este período eran: *Paspalum vaginatum* (Chépica), *Oenothera* spp. (Don Diego de la noche), *Vicia* spp. (arvejillas), *Medicago* spp. (hualputras), *Anoda hastata* (malvilla) y *Echinochloa crus-galli* (hualcacho) (Astorga, 1944).

En la década de 1940, la hualtata era la maleza más importante en el cultivo de arroz (Foto 3). Sin embargo, la presencia del hualcacho fue aumentado progresivamente debido al uso de métodos de control (manual) poco adecuados, llegando en algunos casos a pérdidas importantes en el cultivo (Sims, 1969). En este aspecto, se plantea que el hualcacho fue introducido al país alrededor de 1940 (Matthei, 1963), aunque otro autor señala que esta maleza estaba presente en los cultivos de arroz en la década de 1930 (Anríquez, 1934).



Foto 3. Infestación del arrozal con hualtata (Alimastáceas). Gentileza A. Toro.

A fines de esta década, dado el aumento de la infestación de malezas en el cultivo, se empezó a crear conciencia de la necesidad de incorporar, con mayor frecuencia en las labores del cultivo, la práctica del control de malezas, aunque esta labor encareciera los costos de producción. Esta labor incluía la eliminación de las plantas en forma manual de los cuadros, especialmente de hualcacho (*Echinochloa* spp.), totora (*Eleocharis* spp.) y hualtata que eran muy perjudiciales para el cultivo (Gemién, 1946; Olate, 1950). A pesar de esta situación, en algunos casos la infestación de malezas de hualcacho era tan grande al momento de la cosecha que los agricultores se veían obligados a abandonar el cultivo (Gemién, 1946).

Estudios realizados en hualcacho indican que esta planta posee una mayor capacidad competitiva que la planta de arroz, debido a que es una planta C_4 comparada con el arroz que es una planta C_3 . Por ello, esta maleza es más eficiente fotosintéticamente que el arroz, aún en condiciones de menor luminosidad y temperatura, generando una mayor tasa fotosintética por unidad de área foliar y mayor materia seca por unidad de agua utilizada, lo que se traduce en un mayor crecimiento de la planta en condiciones óptimas para la fotosíntesis. Estas características explican, en gran parte, la mayor agresividad de estas malezas, especialmente en sus primeros estados de desarrollo (Bouhache, 1993; Gibson y Fisher, 2001; Covshoff et al., 2016).

A partir de 1950 se empezaron a usar los primeros herbicidas sintéticos en el arroz (Sotomayor, 1954; Elgueta, 1955). Es así como se realizaron las primeras experiencias en el uso de herbicidas, para el control de las malezas de hoja ancha (Sims, 1969). Para lograr este objetivo, se utilizó MCPA amina en dosis de 2 L ha^{-1} , diluidos en 180 L de agua. El herbicida controló la hualtata (*Alisma* spp.) (Foto 4) y la hierba de la rana (*Ludwigia peploide*), pero no controló hualcacho (*Echinochloa* spp.). Para realizar la aplicación del herbicida, se bajó el nivel del agua y se volvió a inundar el suelo después de 2 d desde la aplicación, para reducir el efecto de la clorosis en las plantas (Elgueta, 1955). En el año 1953, el Plan Chillán, a través de su Programa de Extensión, organizó una campaña para demostrar el efecto del control de malezas de hoja ancha, mediante el uso de herbicidas, en la localidad de San Carlos. Producto de este trabajo, en la temporada siguiente (1954-1955), se aplicó herbicida (MCPA) a 350 ha de arroz con buenos resultados (Elgueta, 1955).



Foto 4. Control de hualtata con MCPA. Gentileza F. Pardo.

En aquella década, se señala que las principales malezas presentes en el cultivo de arroz eran hualcacho (*Echinochloa* spp.), hualtata (*Alisma* spp.), batro, totora (*Typha* spp.), junquillo (*Juncus* spp.), duraznillo (*Polygonum persicaria*), lengua de vaca (*Sagittaria chilensis*), hierba de la rana (*Ludwigia peploides* ssp. *montividentis*), quilinen (*Eleocharis palustris*), chépica (*Paspalum distichum*) y la lama (Koller, 2018).

En la década de 1960 aparecen los primeros graminicidas selectivos para el control de malezas en arroz, como el molinate, herbicida del grupo de tiocarbamatos, inhibidor de la síntesis de lípidos y de aplicación en pre-emergencia, aún con registro en Chile, aunque en California sus fabricantes optaron por eliminar su uso la década pasada, después de más 30 años de aplicación en el cultivo de arroz.

A partir de 1970 se empiezan a evaluar algunos herbicidas como el 2,4-D, en sus formas de amina, ácido o ésteres. Sin embargo, sus resultados no fueron los esperados, ya que esta molécula producía fitotoxicidad y su rango de dosis selectiva era muy estrecho. También se evaluó el MCPA que en su formulación amina fue más selectivo, es decir, producía buen control de malezas de hoja ancha y algunas ciperáceas, sin causar daño a la planta, teniendo en cuenta la época bien precisa de aplicación en relación al desarrollo del cultivo. En la actualidad se continúa utilizando el MPCA, especialmente para el control del pasto cabezón (*Schoenoplectus mucronatus*). Por su parte, el 2,4,5 -T (Arbustox), que se recomendaba especialmente para el control de malezas arbustivas, fue evaluado en arroz y mostró un buen control de malezas de hoja ancha y ciperáceas y una excelente selectividad. Sin embargo, por problemas de toxicidad y residualidad, se prohibió su uso a nivel mundial. Otros herbicidas evaluados en esa época fueron: oxadiazón, tiobencarb, penoxalín, fluorodifén, dimetametrina, drepamon, clomazone y pendimetalina, varios de los cuales no cumplieron los requisitos de selectividad. Pero dentro de este grupo de herbicidas, es importante destacar a pendimetalina, por sus buenos resultados de selectividad y control, aunque el producto no se llegó a comercializar, ya que en aquella época predominaba el sistema de siembra inundado. Actualmente, esta molécula es empleada como herbicida pre-emergente para el control de malezas en el sistema de siembra directa del arroz (Henríquez et al., 2018), aunque aún no se encuentra bajo registro en Chile.

Durante este período, otro de los problemas que enfrentaba el control de malezas era la escasa nivelación de los suelos, situación que producía grandes diferencias en la altura de agua en los cuadros sembrados con arroz, lo que influía en la eficacia del control químico de las malezas y también sobre las especies de malezas que afectaban al cultivo. De hecho, muchos herbicidas que eran efectivos en el control de hualcacho (*Echinochloa* spp.) y malezas de hoja ancha a nivel de ensayos experimentales, donde se tenía una buena nivelación y preparación de los suelos, no eran efectivos bajo las condiciones de los agricultores, debido al deficiente manejo de sus suelos. De esta manera, herbicidas como tiobencarb, oxadiazon y otros, fueron descartados para su comercialización por su eficiencia errática en el control de malezas, debido a las deficientes condiciones existentes en el manejo del suelo por parte de los productores.

La mayoría de los herbicidas recomendados se aplicaban a las malezas expuestas, pero muchas de estas malezas quedaban bajo el nivel del agua. Para solucionar este problema se cerraba la entrada y salida del agua por lo menos por 48 h, para permitir que al bajar el nivel del agua por evaporación las malezas pudieran exponer su follaje a los herbicidas y así favorecer su acción. Los herbicidas más recomendados eran el MCPA, propanil, molinate y bentazon. Después de un período de poco uso, molinate volvió a ser una molécula recomendada por su efectividad y rol dentro de las estrategias de control, para evitar el desarrollo de resistencia en las malezas, a otros productos químicos.

En 1970, el hualcacho y la hualtata eran las malezas más importantes en el cultivo del arroz (Sims y Alvarado, 1972). Sin embargo, el uso de los herbicidas selectivos para controlar las malezas de hoja ancha había reducido la importancia de la hualtata, favoreciendo una mayor infestación de hualcacho (Sim y Alvarado, 1972).

En 1972 el INIA presenta el primer 'Manual de Producción del Arroz', con una sistematización de la información sobre el manejo de malezas (Sims y Alvarado, 1972). Las principales malezas presentes en el cultivo se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Principales malezas presentes en el cultivo del arroz en 1972.

Familia	Nombre científico	Nombre común
Gramíneas	<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) Beauv.	hualcacho
	<i>E. crus-galli</i> var. <i>mitis</i> (Pursh) Peterm.	hualcacho
	<i>E. crus-galli</i> var. <i>frumentacea</i> (Roxb) Wight.	hualcacho
	<i>E. crus-galli</i> var. <i>zelayensis</i> (HBK) Hitchc.	hualcacho nortino
	<i>Paspalum distichum</i> L.	chépica
Ciperáceas	<i>Cyperus esculentus</i> L.	chufa, coquillo, llaivún
	<i>Cyperus rotundus</i> L.	chufa, coquillo, llaivún
	<i>Carex brongniartii</i> Kunth.	cortadera
	<i>Eleocharis palustris</i> (L.) Roem. et Schultes.	quilenen
Alismatáceas	<i>Alisma plantago</i> L.	Hualtata
	<i>Sagittaria chilensis</i> Ch. et Schl.	lengua de vaca
Tifáceas	<i>Typha latifolia</i> L.	tatora, batro, hinea
	<i>Typha angustifolia</i> L.	tatora, batro, hinea

Fuente: Sims y Alvarado, 1972.

Para el control químico del hualcacho se utilizaba propanil (Stam F-34) y molinate (Ordram 6E y G) (Sims, 1969; Sims y Alvarado, 1972; Ormeño, 1981). El propanil es un herbicida de contacto, recomendado para aplicación de post-emergencia, en dosis de 4 a 6 kg ha⁻¹ y con malezas de 3 a 4 hojas. Su aplicación se realizaba desaguando el arrozal para exponer las malezas al producto, debiéndose llenar el cuadro en un plazo no inferior a 48 h. El propanil no controlaba el hualcacho nortino, pero tenía un excelente control de malezas de hoja ancha. El molinate es un herbicida sistémico, recomendado para aplicarlo de pre-siembra en dosis de 3 a 4 kg ha⁻¹, y su incorporación al suelo con un rastraje. El llenado de los cuadros debía realizarse en un plazo no superior a las 48 h, después de la aplicación. Este producto sólo controlaba malezas gramíneas y su aplicación se complementaba con MCPA para el control de malezas de hoja ancha, pudiendo aplicarse desde principios de la macolla hasta antes del encañado (Ormeño, 1981). Para el control de la hualtata se recomendaba el uso del MCPA sal potásica, en dosis de 500 a 800 g de ingrediente activo por hectárea, aplicado de post-emergencia entre los 42 y 52 d después de la siembra. Para su aplicación era necesario desaguar los cuadros y permitir la exposición de la planta al herbicida, debiéndose llenar los cuadros 24 h después de la aplicación (Pardo y Cisternas, 1989).

Los equipos utilizados en la aplicación de los herbicidas eran los trineos, la bomba de espalda y los aviones (Foto 5). Estudios realizados para medir el efecto de las malezas en el rendimiento del grano de arroz, en condiciones experimentales, indicaban pérdidas que entre un 15 % a un 40 %, dependiendo del grado de infestación de las malezas (Sims, 1969; Sims y Alvarado, 1972). Ninguno de estos herbicidas (propanil y molinate), que eran los más utilizados en aquella época, era recomendado para controlar las malezas en arroz trasplantado, ya que ambos producían daños a la planta (Sims, 1969).



Foto 5. Aplicación de herbicidas mediante bomba de espalda y por avión. Gentileza F. Pardo y A. Toro.

A fines de esta década los herbicidas de mayor uso eran propanil, MCPA, bentazón, molinate y diferentes combinaciones de ellos. Las dosis usadas eran de 1 L de MCPA ($750 \text{ g i.a. ha}^{-1}$) y 30 a 40 kg ha^{-1} (3-4 kg i.a. ha^{-1}) de molinate (Ordram 10 G). Las combinaciones de molinate y propanil (Ordram + Stam) y la mezcla propanil + bentazón-sodio (Basagran) presentaban un control efectivo del hualcacho y algunas malezas de hoja ancha y ciperáceas, en aplicaciones en los primeros estados de desarrollo de la maleza. Para complementar el control de malezas de hoja ancha se utilizaba, principalmente, MCPA en su formulación amina o sal potásica, aplicado desde mitad de macolla hasta inicio del encañado, para evitar daños a la planta de arroz (Pardo y Cisternas, 1989; Kogan et al., 2011).

A partir de 1980 se empiezan a realizar diversos estudios tendientes a conocer la importancia de las malezas presentes en el cultivo y a abordar, en forma más integral, su control.

En relación con el conocimiento de la importancia de las malezas en el sector arrocero y el cultivo, se realizaron dos prospecciones. La primera de ellas permitió identificar la presencia de malezas en los diferentes lugares en el arrozal, tales como cuarteles, pretiles, canales y bocatomas. En este estudio se identificó a 119 especies de malezas presentes en el arrozal, las que pertenecían a 29 familias. De estas malezas, un 93,3 % eran introducidas y sólo un 6,7 % nativas (San Martín y Ramírez, 1983). El segundo trabajo tuvo como objetivo conocer las malezas presentes sólo en el cultivo del arroz (Ormeño, 1983b). Este estudio permitió detectar a 25 especies de malezas que podrían causar pérdidas en la producción de arroz, de las cuales nueve fueron identificadas por primera vez en el país (Cuadro 2).

Cuadro 2. Principales malezas presentes en el cultivo del arroz en 1983.

Clase/Familia	Maleza
Monocotiledoneae	
Alismateceae	<i>Alisma plantago</i> L.
	<i>Sagittaria chilensis</i> Ch. et Echl.
Cyperaceae	<i>Carex brongniartii</i> Kunth
	<i>Cyperus difformis</i> L.*
	<i>Cyperus eragrostis</i> Lam.
	<i>Cyperus strigosus</i> L.*
	<i>Cyperus</i> aff. <i>megapotamicus</i> Spr.*
	<i>Eleocharis ovata</i> (Roth.) Roem. et Schutt.*
	<i>Eleocharis palustris</i> (L.) R. Br.
	<i>Scirpus mucronatus</i> (L.)*
Gramineae (Poaceae)	<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) Beauv.
	<i>Panicum dichotomiflorum</i> Michx.*
	<i>Paspalum dilatatum</i> Poir.
	<i>Paspalum distichum</i> L.
Juncaceae	<i>Juncus bufonius</i> L.
	<i>Juncus involucratus</i> Steud. Ap. Buchenau.*
	<i>Juncus procerus</i> E. Mey.
Typhaceae	<i>Thypha angustifolia</i> L.
Dicotiledoneae	
Heliantheae	<i>Bidens laevis</i> (L.) Br. Stern. & Pogg.*
Lythraceae	<i>Ammania coccinea</i> Rottb.*
	<i>Lythrum hyssopifolia</i> L.
Onagraceae	<i>Jussieua repens</i> var. <i>montevidensis</i> (Spreng) Munz.
Polygonaceae	<i>Polygonum persicaria</i> L.
	<i>Polygonum lapathifolium</i> L.

Fuente: Ormeño, 1983b. (*) Especies descritas por primera vez en el cultivo de arroz en Chile.

Las especies que presentaron una mayor frecuencia en el arrozal fueron *E. crus-galli*, *A. plantago*, *C. difformis*, *C. eragrostis*, *C. palustris*, *P. distichum*, y *J. repens* var. *montevidensis* (Ormeño, 1983b), donde el hualcacho era considerada como la maleza más importante en el cultivo del arroz (Ormeño, 1983a; 1983b; San Martín y Ramírez, 1983; Hernaiz, 1986a; 1986b; Grau et al., 1987; Ormeño y Grau, 1988).

Estudios realizados en el INIA indicaron que el período crítico de competencia de las malezas con el cultivo, es decir, el período en que la maleza produce el mayor daño por competencia, es aquel donde la planta de arroz tiene su máxima tasa de crecimiento, correspondiente al período que va desde la macolla a inicio de panícula (Ormeño, 1983a). Por lo tanto, durante ese período, las plantas del cultivo debían permanecer libres de malezas para que pudieran expresar su máximo potencial de rendimiento (Ormeño, 1983a; Pedreros y Alvarado, 1994).

La alta infestación de malezas y su control deficiente estaba asociada a diferentes prácticas culturales, como el uso del monocultivo, una deficiente preparación de los suelos (Alvarado y Pedreros, 1992) (Foto 6), escasa nivelación de los suelos que impedían un adecuado manejo del agua (Grau y Cisternas, 1986) y el uso deficiente del equipo de aplicación (bomba de espalda).



Foto 6. Deficiente preparación de suelo con uso de caballo y arado. Gentileza F. Pardo.

Asociado a esta situación, estaba el alto costo de los productos químicos que no permitía un uso más racional de los herbicidas (Grau et al., 1987). Además estaba el bajo contenido nutricional de los suelos (Araos y Rojas, 1976; Rojas et al., 1983) producto del uso intensivo de los mismos, ausencia de rotaciones (Rojas et al., 1991; 1992) y el tipo de cosecha realizada, donde se retiraba prácticamente todo el material (grano y paja) del campo para realizar la trilla con máquinas estacionarias, lo que significaba la imposibilidad de la incorporación de materia orgánica (rastrero) al suelo, con la consiguiente pérdida de nutrientes, especialmente potasio. La situación se agudizaba debido al escaso uso de fertilizantes por parte de los agricultores.

En esa época, el agricultor sabía que las aplicaciones de fertilizantes, especialmente nitrógeno, aumentaba el rendimiento del cultivo, pero en el escenario de un deficiente control de malezas (Foto 7), la aplicación de nitrógeno implicaba un aumento de las malezas y una reducción del rendimiento y calidad del producto cosechado (Hernaíz, 1986a; Grau et al., 1987). A pesar de ello, los investigadores destacaban que el país poseía condiciones excepcionales para producir altos rendimientos de arroz, debido a la ausencia de plagas y enfermedades, alta luminosidad durante el desarrollo del cultivo y buena disponibilidad de agua (Grau et al., 1987).



Foto 7. Desuniformidad de aplicación de los herbicidas. Gentileza F. Pardo.

Ante esta situación, INIA planteó la necesidad de establecer un programa de trabajo que permitiera realizar un manejo técnico-económico más integral del cultivo. Para abordar ese programa, INIA y CIAT establecieron un Convenio de cooperación que permitió ejecutar el 'Plan nacional para el desarrollo de la producción de arroz en Chile' (Grau et al., 1987). Una de las actividades importantes consistía en evaluar la eficiencia de los herbicidas de bajo costo, que pudieran incentivar el mayor uso de ellos, y complementar a los productos recomendados en el país, además de incorporar otros factores agronómicos que permitieran abordar en forma integral el programa de producción de arroz a nivel nacional. Para ello se seleccionaron algunos productos que presentaron buena selectividad al arroz, como Saturno (benthiocarb) y propanil que expresaron una buena selectividad a temperaturas menores a 16 °C, además de Rainbow (flurocloridona), un inhibidor de carotenoides y Furore (fenoxaprop) inhibidor de la enzima ACCasa que afectaba el metabolismo de lípidos que, a pesar de su menor selectividad, ofrecían un buen control de malezas a bajas temperaturas (13-16 °C) (Grau et al., 1987). El trabajo estuvo acompañado de un fuerte componente de difusión que permitió mejorar las condiciones productivas del cultivo.

Durante la década de 1980 se introdujo una nueva familia de herbicidas al país, las sulfonilureas, que presentaron varias ventajas: buena selectividad en aplicaciones de post-emergencia, alta eficacia, uso de dosis bajas y amplio espectro de control. Los primeros productos fueron el pyrazosulfuron-etil (Sirius) y ciclosulfamuron (Orisa), los que, además de controlar hualcachos, controlaban malezas de hoja ancha (Kogan et al., 2011). Sirius se podía mezclar con Molinate (Ordram) en dosis de 2,5 a 3,5 L ha⁻¹, con aplicaciones al agua 10 a 20 d después de la siembra (Alvarado y Hernaíz, 1995).

Entre 1980 y 1987, se introdujo al país una nueva molécula, también de la familia de las sulfonilureas, llamada bensulfurón (Londax) que marcó un hito en el control de malezas ciperáceas y de hoja ancha, en dosis de 60-72 g i.a. ha⁻¹ (100 a 120 g ha⁻¹ de Londax), aunque también realizó un control de hualcacho (Pardo y Cisternas, 1990), esta dosis, considerada baja para los agricultores en la época, produjo también un cambio importante en la cultura de los agricultores, acostumbrados a la aplicación de kilogramos por hectárea de productos. Una vez que se logró introducir esta molécula al país, hubo un gran avance en el control de malezas en el cultivo del arroz. Dado los buenos resultados de control, los agricultores comenzaron a usar este producto en forma continuada hasta el año 2000, lo que generó una gran presión de selección sobre este mecanismo de acción (ALS), hasta que se comenzó a notar una reducción en la efectividad del producto, lo que muy probablemente se debió a la aparición de biotipos de hualcachos resistentes al herbicida.

Adicionalmente, desde 1988-1989 se empezó a introducir al sector arrocero la práctica de la nivelación de suelos (Foto 8). Ello permitió habilitar terrenos, diseñar cuadros más amplios y hacer un mejor manejo del agua, lo que contribuyó a mejorar la eficiencia de los herbicidas y aumentar los rendimientos unitarios obtenidos por los agricultores y, consecuentemente, el rendimiento promedio del país. A pesar de que la nivelación de los suelos tomó varios años en ser adoptada masivamente por los agricultores, hoy día prácticamente un alto porcentaje de los suelos sembrados con arroz están nivelados. Ello permitió el uso más masivo de las sulfonilureas, aunque el sistema de aplicación más comúnmente utilizado, la bomba de espalda, no era el más adecuado ya que las bajas dosis recomendadas eran de compleja adopción en la práctica. Por otro lado, los herbicidas bensulfurón (Londax), pyrazosulfuron-etil (Sirius) y Cyclosulfamuron (Orisa) vieron reducida su efectividad. El uso continuado de las sulfonilureas originó el efecto de 'resistencia' de las malezas a este grupo de herbicidas en los años 2000, lo que implicó una reducción en su eficiencia del control.



Foto 8. Barbecho químico en arroz en suelo nivelado. Gentileza F. Pardo.

A principios de 1990, las principales malezas presentes en el cultivo del arroz eran las que se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Principales malezas presentes en el cultivo del arroz en 1995.

Familia	Nombre científico	Nombre común
Alismateaceae	<i>Alisma plantago-aquatica</i>	hualtata
	<i>Sagittaria montevidensis</i> spp. <i>chilensis</i>	lengua de vaca, rosa de agua
Cyperaceae	<i>Carex brongniartii</i>	cortadera
	<i>Cyperus difformis</i>	cortadera, lleivún
	<i>Cyperus eragrostis</i>	cortadera, lleivún
	<i>Eleocharis palustris</i>	quilenen
	<i>Eleocharis ovata</i>	pasto del agua
	<i>Scirpus californicus</i>	totorilla, estoquillo
	<i>Cyperus strigosus</i>	cortadera
Poaceae	<i>Echinochloa crus-galli</i>	hualcacho
	<i>Paspalum distichum</i>	chépica
Thyphaceae	<i>Thypha augustifolia</i>	batro, totora
Zannichelaceae	<i>Zannichellia palustris</i>	cachaguita
Lythraceae	<i>Lythrum hyssopifolia</i>	romerillo
Onagraceae	<i>Ludwigia peploides</i> ssp. <i>montividenis</i>	pasto de la rana

Fuente: Alvarado y Hernaíz, 1995.

En esta década, las malezas más importantes, por las graves pérdidas que causaban en rendimiento del arroz, eran hualcacho, hualtata, quilenen y chépica (Alvarado y Hernaíz, 1995).

Durante este período se pudo distinguir la presencia de varias especies de hualcachos en el país como *Echinochloa crus-galli* var. *crus-galli*, *E. crus-galli* var. *mitis*, *E. colonum*, y *E. crus-pavonis* (Mar-

ticorena y Quezada, 1985). Sin embargo, un estudio permitió identificar a las siguientes especies: *E. oryzoides* (hualcacho nortino o blanco), *E. crus-pavonis* (hualcacho o hualcacha), *E. crus-galli* var. *crus-galli* (hualcacho común) y *E. crus-galli* var. *mitis* (hualcacho negro o morado) (Ormeño y Reyes, 1989).

Entre las especies identificadas, el hualcacho común y el hualcacho nortino o blanco, eran las más frecuentes en los arrozales del país (Ormeño, 1992). Estas especies por sí solas pueden causar pérdidas importantes en el rendimiento, las que pueden variar entre un 25,5 % y un 49,1 % (Ormeño, 1992).

Los herbicidas recomendados en el año 1995 para el control de malezas en arroz se presentan en el Cuadro 4, junto con su época y forma de aplicación y dosis.

Cuadro 4. Herbicida, forma de aplicación, dosis, volumen de agua y época de aplicación. 1995.

Herbicida (i.a./nombre comercial)	Forma de aplicación	Dosis (i.a.)	Volumen de agua (L ha ⁻¹) terrestre/aéreo	Época de aplicación
Propanil (Stam)	Bomba de espalda o avión	4,0-5,6 kg i.a. ha ⁻¹	200-400/50-80	Post-emergencia (40 d después de siembra)
Molinate (Ordram)	Riego inundación	3,7 kg i.a. ha ⁻¹	-	Pre-siembra
	Bomba de espalda o avión	3,7 kg i.a. ha ⁻¹	150-200/40	10 a 30 DDS; malezas de 2 a 10 cm de altura
	Manual o avión arroz inundado	3,0-4,0 kg i.a. ha ⁻¹	-	a) 10-30 DDS, maleza 2-10 cm de altura b) presiembra incorporado
Propanil + Molinate (Arrosolo 3-3E)	Bomba espalda, o avión	2,5 +2,5 kg i.a. ha ⁻¹	100-200/40	Post-emergencia, malezas 2-10 cm de altura
Bensulfuron metil (Londax)	Bomba espalda, o avión sobre lámina de agua de 10 cm por 6 d	60 g i.a. ha ⁻¹	50/30	10 DDS
Pirazosulfuron (Sirius)	Bomba espalda, o aérea	50 g i.a. ha ⁻¹	80-150/40-60	10-20 DDS

Fuente: Alvarado y Hernaiz, 1995.; i.a.= ingrediente activo; p.c.= producto comercial; DDS= días después de la siembra.

A finales del 2007, se ve que las principales malezas presentes en el cultivo de arroz fueron cambiando en el tiempo y se presentan en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Principales malezas y algas presentes en el cultivo del arroz. 2007.

Familia	Nombre científico	Nombre común	Reproducción
Poaceae	<i>Echinochloa crus-galli</i> var. <i>mitis</i>	hualcacho morado o negro	Semillas
	<i>E. crus-galli</i> var. <i>crus-galli</i>	hualcacho común	Semillas
	<i>E. oryzoides</i>	hualcacho blanco	Semillas
	<i>E. crus-pavonis</i>	hualcacho	Semillas
	<i>Paspalum paspalodes</i>	chépica	Semillas, rizomas, esto- lones
	<i>Oryza sativa</i>	arroz rojo	Semillas
Alismataceae	<i>Alisma plantago-aquatica</i>	hualtata	Semillas, bulbos
	<i>Alisma lanceolatum</i>	hualtatilla	Semillas, bulbos
	<i>Sagittaria montevidensis</i> subsp. <i>chilensis</i>	lengua de vaca	Semillas, bulbos
Ciperaceae	<i>Cyperus difformis</i>	cortadera, lleivún	Semillas
	<i>Cyperus eragrostis</i>	cortadera, lleivún	Semillas
	<i>Scirpus mucronatus</i>	pasto cabezón, totorilla, estoquillo	Semillas, rizomas
	<i>Eleocharis palustris</i>	quilenen	Semillas, rizomas
	<i>Eleocharis ovata</i>	pasto de agua	Semillas, rizomas
Onagraceae	<i>Ludwigia peploides</i> ssp. <i>mon- tevidensis</i>	pasto de la rana	Semillas, tallos, raíces
Algas	<i>Chara braunii</i>	chara	Esporas, división celular
	<i>Nitella acuminata</i>	nitela	Esporas, división celular
		lama	Esporas, división celular

Fuente: Pedreros y Kramm, 2007.

Las principales malezas que estaban presentes en el cultivo eran el hualcacho común, negro y blanco, los que podían causar pérdidas que variaban entre un 2,5 % a un 49,1 % en el rendimiento del cultivo. El segundo grupo de malezas correspondía a las ciperáceas que aumentaron su importancia en las zonas donde había un buen control de hualcacho. Estas malezas podían causar pérdidas en el rendimiento del cultivo que fluctuaban entre un 15,6 % y un 44,7 %. El tercer grupo de malezas eran las alismatáceas que podían generar pérdidas en rendimiento entre un 11 % y un 67 % con poblaciones de 100 plantas m⁻² (Pedreros y Kramm, 2007). Otros trabajos señalaban que un deficiente control de malezas podía reducir el rendimiento entre un 23 a 52 % (Ormeño, 1983a; 1992; Alvarado et al., 1985; Ormeño, 1992; Alvarado y Hernaiz, 2001).

Un estudio posterior logró determinar que las especies de hualcacho tienen diferentes requerimientos de temperatura y que respondían diferencialmente a distintas alturas de la lámina de agua (Pedreros y Alvarado, 1994). Es así como el hualcacho blanco presentó una mayor emergencia a 24 °C comparada con 18 °C y su crecimiento no se afectó con una altura de agua de 18 cm. Por el contrario, el hualcacho común disminuyó en un 50 % su emergencia con una altura de agua de 10 cm y a 18 °C, pero no afectó su crecimiento con 24 °C. Todo ello indicaba que el hualcacho blanco necesitaba mayor temperatura para crecer y que era menos afectado por la altura de la lámina de agua (Pedreros y Kramm, 2007).

Durante el año 2003 se introdujo al país el herbicida Ricer (penoxsulam) como producto experimental, el cual fue lanzado comercialmente en 2006. El Penoxsulam es miembro de la familia de sulfonamida triazolopyrimidine, de acción sistémica que se absorbe principalmente por las hojas, y secundariamente por las raíces. Su modo de acción es la inhibición de la enzima Acetolactasa (ALS) que impide la síntesis de varios aminoácidos y controla, principalmente, *Echinochloa* spp. (100 %), *A. plantago-acuatica* (80 % - 100 %), *Schoenoplectus mucronatus* (50 % - 80 %) y *Cyperus difformis* (80 % - 100 %) (Kogan et al., 2011). Estudios realizados sobre su persistencia indican que se disipa rápidamente del agua y más lentamente de los sedimentos (Kogan et al., 2012). Puede ser aplicado en siembras inundadas sobre el agua, solo o en mezcla con molinate, o en aplicaciones de post-emergencia del cultivo y de las malezas.

A fines de la década del 2000, los principales herbicidas disponibles en el mercado para el control de malezas en el cultivo de arroz se indican en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Mecanismo de acción de los herbicidas utilizados en el control de malezas en el cultivo del arroz. Año 2007.

Mecanismo de acción	Ingrediente activo	Nombre comercial	Principales malezas afectadas
Inhibidores de enzima Acetolactato Sintetasa (ALS): Sulfonilureas, Sulfonamidas, Pirimidinilbenzoato.	bensulfuron	Londax, Stoke	Alimastáceas y Ciperáceas
	ethoxysulfuron	Sunstar	
	metsulfuron	Ajax (sólo Ajax conta- ba con registro para arroz)	
	pyrazosulfuron-ethyl	Sirius	
	cyclosulfamuron	Oryza	
	penoxsulam	Ricer	
	bispiribac-sodio	Nominee	hualcacho y algunas Ciperáceas
piribenzoxima	Pyanchor		
Inhibidores de acetil coenzima carboxilasa (ACCasa)	cyhalofop-butil	Clincher	Gramíneas
Inhibidores de fotosíntesis	bentazona-sodio	Basagran, Bentax	Ciperáceas y Alismatáceas
	propanil	Stam	
Reguladores de crecimiento (auxínicos)	MCPA amina y sal potásica	MCPA 750 Weedout	hualtata
	2,4 D amina	2,4 D amina	hualtata, Lengua de vaca
	quinolin carboxílicos		
	quinclorac	Facet, Exocet	hualcachos
Inhibidor de síntesis de lípidos	molinate	Molirox	hualcachos

Fuente: Pedreros y Kramm, 2007.

A partir de la década del 2000, el control de las malezas ha ido evolucionando hacia la incorporación del concepto de 'manejo integrado', iniciado en la década de 1980, donde el barbecho químico, la preparación de suelo oportuna, la siembra en la fecha adecuada, el uso de semilla certificada, la introducción de nuevos herbicidas con diferentes mecanismos de acción, la rotación de herbicidas, el uso de mezclas de herbicidas y las épocas de aplicación de herbicidas, juegan un papel importante.

Incluso se han desarrollado cambios muy importantes en la forma de aplicar los herbicidas como, por ejemplo, la aplicación de combinaciones de molinate + Kixor (Saflufenacilo), o quinclorac + Kixor, complementado con aplicaciones de MCPA, donde la aplicación de los herbicidas se realiza directamente al agua. Esto permite una mejor distribución y contacto del herbicida con las malezas, aumentando la eficiencia del control de todas las malezas y la selectividad del MCPA al cultivo de arroz (Foto 9). Por otro lado, estas mezclas son una buena herramienta anti-resistencia, pues utilizan herbicidas de diferentes mecanismos de acción, manteniendo el nivel del agua en los cuadros después de la siembra, lo que reduce la germinación de malezas, especialmente hualcacho, permitiendo el ahorro de agua y evitando rellenar los cuadros con agua fría, lo que afecta el crecimiento del cultivo.



Foto 9. Foto que muestra un buen control de malezas en arroz con una mezcla de molinate, bensulfuron, byspiribac y MCPA.

Actualmente, la siembra directa ha producido un cambio fundamental en la estrategia de control de malezas en el cultivo del arroz. Por un lado, se han mejorado las condiciones de la siembra propiamente tal, al incorporar mayores grados de mecanización del cultivo y, por otro, ha permitido la aplicación de herbicidas pre-emergentes que han ayudado a mejorar el control temprano de las malezas y a reducir el riesgo de aparición de la resistencia a herbicidas. El sistema de siembra directa también ha contribuido a mejorar el sistema de aplicación, de uno manual a uno mecanizado, lo que permite un mejor manejo de los productos y aumenta la eficacia del control, todo lo cual favorece el incremento en los rendimientos.

En el año 2018, se actualiza y resume la situación actual de las especies de malezas más frecuentes en siembra semilla pregerminada (Cuadro 8) en el mercado nacional (Henríquez et al., 2018).

Cuadro 8. Principales malezas presentes en el cultivo de arroz en 2018.

Familia	Nombre científico	Nombre común	Ciclo	Reproducción
Poaceae	<i>Echinochloa crus-galli</i> var. <i>crus-galli</i>	hualcacho común	Anual	semillas
	<i>E. oryzoides</i>	hualcacho nortino	Anual	semillas
	<i>E. crus-galli</i> var. <i>mitis</i>	hualcacho negro o morado	Anual	semillas
	<i>E. colona</i>	hualcacho morado	Anual	semillas
	<i>E. crus-pavonis</i>	hualcacho blanco	Anual	semillas
	<i>Paspalum distichum</i>	chépica	Perenne	semillas, estolones, rizomas
Ciperáceae	<i>Cyperus difformis</i>	cortadera	Anual	semillas
	<i>Shoenoplectus mucronatus</i>	pasto cabezón	Perenne	semillas, rizomas
	<i>Eleocharis palustris</i>	quilenen	Perenne	semillas, rizomas
Alismataceae	<i>Alisma plantago-aquatica</i>	hualtata	Perenne	semillas, rizomas
	<i>Alisma lanceolatum</i>	hualtatilla	Perenne	semillas, rizomas
	<i>Sagittaria montevidensis</i> spp. <i>chilensis</i>	lengua de vaca	Perenne	semillas, rizomas
Onagraceae	<i>Lutwigia peploides</i> spp. <i>montividenis</i>	pasto de la rana	Perenne	semillas, rizomas
Especies más frecuentes en siembra directa				
Poaceae	<i>Leptocloa</i> spp.	cola de buey		
	<i>Eragrostis pilosa</i>	panicela pilosa	Perenne	semillas
	<i>Lachnagrostis filiformis</i>	pajamon		
	<i>Leptochloa</i> spp.	pasto moro	Anual	semillas
Polygonaceae	<i>Polygonum persicaria</i>	duraznillo	Anual	semillas
Lytracaeae	<i>Lythrum hyssopifolia</i>	hierba del toro	Anual	semillas

Fuente: Henríquez et al., 2018.

Una nueva prospección sobre las malezas presentes en el sistema de siembra inundado y directa determinó un total de 26 taxa (un alga y 25 angiospermas). En la Clase Monocotiledoneae, las familias más representadas fueron Cyperaceae y Poaceae, mientras que en la Clase Dicotiledoneae fueron Asteraceae y Polygonaceae. Las especies introducidas predominaron sobre las nativas, donde el componente europeo representó un 53 %. Las plantas acuáticas fueron un 50 %, las sumergidas un 11 % y las de hojas flotantes un 8 %. En la siembra inundada se encontraron 15 malezas y 22 en siembra directa, con once malezas que comparten ambos sistemas. Se detectaron también nueve especies nuevas para los arrozales y un nuevo registro para la flora chilena (*Bacopa rotundifolia*, Plantaginaceae) (Vallejos, 2018).

Actualmente, el control de malezas usando herbicidas se puede realizar en uno o más de estos momentos: 1) en pre-siembra o barbecho químico, 2) en pre-emergencia o en 'punto de aguja', y 3) en

post-emergencia. Las aplicaciones se realizan utilizando bomba pulverizadora de espalda, equipo pulverizador hidráulico conectado al tractor con rueda lenteja, avión o drones (Foto 10) (Henríquez et al., 2018). Los productos disponibles en el mercado nacionales se presentan en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Herbicidas disponibles para el control de malezas en arroz en 2018.

Mecanismo de control	Ingrediente activo	Nombre comercial	Dosis (i.a. ha ⁻¹)	Época de aplicación	Maleza controlada
Inhibidores de Aceto-lactato Sintetasa (ALS)	penoxsulam	Ricer	40-50 g i.a. ha ⁻¹	Post-emergencia	hualcacho, hualtata
Inhibidores de Acetil Coenzima Carboxilasa (ACCasa)	cyhalofop-butil	Clincher	550-720 g i.a. ha ⁻¹	Post-emergencia	hualcacho
Inhibidores de fotosíntesis	bentazon	Basagran, Bentax	1,0-1,5 kg i.a. ha ⁻¹	Post-emergencia	hualtata, lengua de vaca, cortadera, pasto cabezón
	saflufenacilo	Heat	52-70 g i.a. ha ⁻¹	Post-emergencia	hualtata, cortadera, pasto cabezón
Inhibidores de crecimiento	florpyrauxifen-benzil (Rinskor™)	Loyant	30 g i.a. ha ⁻¹	Post-emergencia	hualcacho, hualtata, cortadera
	quinclorac	Facet, Exocet	400-500 g i.a. ha ⁻¹	Post-emergencia	hualcacho
	MCPA sal Amina/MCPA sal K	MCPA, U-46 M-Fluid/ MCPA 400 sal K	0,75/0,6-0,9 kg i.a. ha ⁻¹	Post-emergencia	hualtata, lengua de vaca, cortadera, pasto cabezón
	triclopyr	Garlon-4	200-400 g i.a. ha ⁻¹	Post-emergencia	pasto cabezón
Inhibidores de ácidos grasos	molinate	Brioso/Molirox	3,0-4,5 kg i.a. ha ⁻¹	Post-emergencia	hualcacho
Inhibidores de carotenoides	clomozona	Dakota 48EC, Command 4 EC	240-480 g i.a. ha ⁻¹	Pre-emergencia	hualcacho
Inhibidores de crecimiento (mitosis)	pendimetalina	Espada, Espectro, Herbadox	0,6-1,0 kg i.a. ha ⁻¹	Pre-emergencia	hualcacho
Inhibidores de EPSPs	glifosato (varias formulaciones)	Varios	0,7-3,0 kg i.a. ha ⁻¹	Pre-siembra; pre-emergencia	amplio espectro

Fuente: Henríquez et al., 2018.



Foto 10. El uso de dron en aplicaciones de herbicidas ha mostrado una alta eficiencia. Gentileza A. Toro.

A pesar de los avances logrados, todavía persisten algunos problemas prácticos, como es el caso de la época oportuna de la aplicación de MCPA. Entre los años 1970 a 1990 se recomendaba realizar la aplicación del MCPA entre los 40 a 45 d después la siembra, lo cual está muy arraigado en los productores y técnicos arroceros, por lo que la recomendación actual de aplicarlo a mediados de macolla, ha sido de compleja adopción. La aplicación en la época no recomendada, antes del inicio de la macolla, produce daño al arroz, pues el MCPA es fitotóxico al cultivo de arroz y puede producir graves pérdidas en rendimientos (Foto 11).



Foto 11. Aplicaciones de MCPA fuera de la época recomendada han causado daño al arroz. Gentileza F. Pardo.

El registro en Chile del herbicida Triclopyr (Garlon 4) con mayor selectividad que MCPA en los primeros estadios a partir de dos a tres hojas del cultivo, siguiendo el uso del mismo activo en California (Grandstand), permite el control de ciperáceas y alismatáceas en infestaciones tempranas después emergencia del cultivo.

Malezas resistentes a herbicidas en el cultivo arroz

Se entiende por resistencia la habilidad de ciertos biotipos de no afectarse y reproducirse, aún después de estar expuestos a una dosis de etiqueta de un determinado herbicida que normalmente los controla. Esta característica se hereda a su progenie, lo que quiere decir que las plantas originadas por sus semillas también resistirán los tratamientos a estos mismos herbicidas (HRAC).

En el desarrollo de la resistencia de los herbicidas se debe considerar, por un lado, que los herbicidas pueden actuar en un sitio específico, por ejemplo, las sulfonilureas que afectan una proteína

(enzima) específica (Acetato lactato sintetasa), o aquellos de acción múltiple, como los herbicidas reguladores de crecimiento (MCPA, Garlon, Loyant) que pueden afectar más de un sitio. Por otro lado, también se debe tener en cuenta que los herbicidas poseen un mecanismo de acción (afectando síntesis de aminoácidos, de lípidos, o síntesis de clorofila, entre otros) que se refiere al sitio de acción, como ejemplo Cyhalofop metil (Clincher) que inhibe la enzima Acetil coenzima A, la cual actúa en la síntesis de lípidos (HRAC).

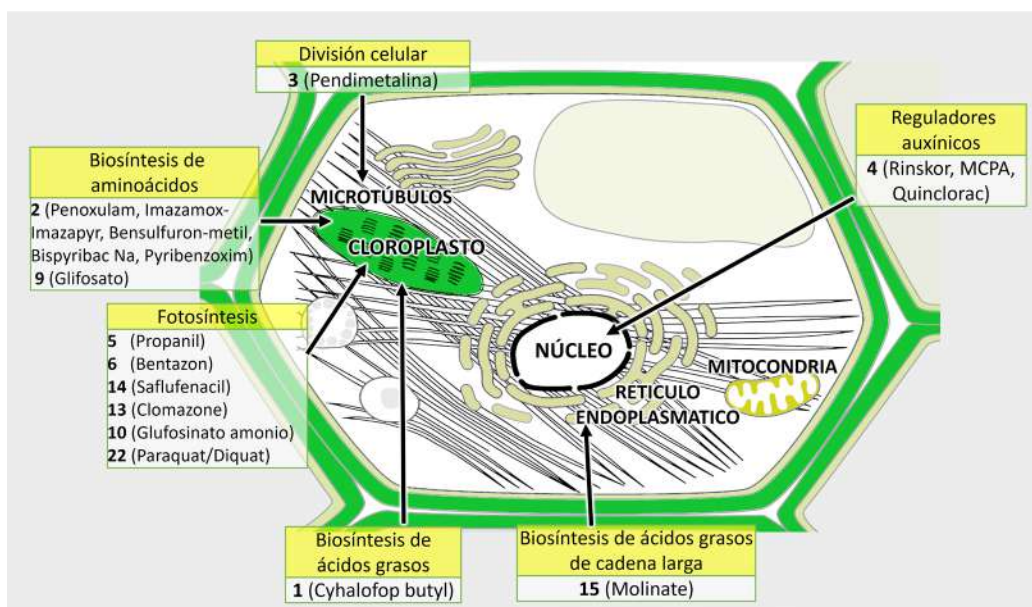
A nivel global existen, aproximadamente, 300 ingredientes activos y 28 mecanismos de acción. Sin embargo, en el cultivo de arroz el número de moléculas es limitado (Cuadro 10).

Cuadro 10. Herbicidas de uso actual en el cultivo arroz en Chile.

Espectro/ Mecanismo de acción	Ingrediente activo	Marca	Clasifica- ción HRAC/ WSSA	Grupo químico	Acción
Control de malezas gramíneas					
Inhibidor de ACCasa	cyhalofop	Clincher	1	Aryloxyphenoxypropionates	Sistémico
Inhibidor de ALS	penoxulam	Ricer	2	Triazolopirimidinas	Sistémico
	imazamox + imazapyr	Euroligtning	2	Imidazolinonas	Sistémico
	bispiribac Na	Nominee	2	Pyrimidilbenzoatos	Sistémico
	pyribenzoxin	Pyanchor	2	Pyrimidilbenzoatos	Sistémico
Imitador de auxinas (AIA)	florpyrauxifen-benzyl (Rinskor™)	Loyant	4	Arylpicolinatos	Sistémico
Inhibidores de síntesis de lípidos	mollinate	Brioso	8	Thiocarbamatos	Contacto
Inhibidores síntesis membrana celular	quinclorac	Facet, Exocet	4	Quinoline carboxylic acids	Sistémico
Control de malezas latifoliadas					
Imitador de auxinas (AIA)	triclopyr	Garlon	4	Pyridyloxy carboxylates	Sistémico
	MCPA	MCPA/U46	4	Phenoxy carboxylic acid	Sistémico
Inhibidor sistema foto-sistema II	bentazon	Bentax, Basagran	6	Benzothiadiazinone	Contacto
Inhibidor de Protox (PPO)	saflufenacil	Heat	14	N phenil imidas	Contacto

Fuente: www.weedscience.org/ / HRAC es la clasificación de los MOA del HRAC y de la WSSA.

Para ejemplificar los sitios de acción de los herbicidas utilizados en arroz, es posible usar el siguiente esquema (Figura 1).



Adaptado: Délye et al., 2013; Heap, 2020; Binder et al., 2014.

Figura 1. Clasificación de herbicidas según sitio de acción. Comité Global de Manejo de Resistencia (Herbicide Resistance Action Committee, HRAC).

Básicamente es posible encontrar dos tipos de resistencia:

- a) La resistencia cruzada a herbicidas en una planta o biotipo con el mismo sitio acción, pero pertenecientes a diferentes familias químicas, como se ha observado en la zona arroceras a bensulfuron metil y penoxulam. Por ello, se debe ser cuidadoso en el manejo de los herbicidas de las imidazolinonas, selectivos en los cultivos Clearfield, debido a que comparten el mismo mecanismo de acción con otros herbicidas que son inhibidores de la enzima ALS.
- b) La resistencia múltiple de una planta o biotipo a herbicidas con diferentes sitios de acción, como a quinclorac y a cyhalofop metil y/o a penoxulam (Beffa et al., 2019).

A nivel mundial, los primeros antecedentes de resistencia de malezas provienen del año 1957, cuando se reportaron los primeros casos de resistencia a 2,4 D en *Commelia difusa* en Hawái y en *Daucus carota* en Canadá (Hilton, 1957; Switzer, 1957). Actualmente, se han informado 262 especies de malezas resistentes a herbicidas (152 dicotiledóneas y 110 monocotiledóneas). Las malezas han desarrollado resistencia a 23 de los 26 sitios de acción de herbicidas conocidos y a 167 herbicidas en 92 cultivos de 70 países (www.weedscience.org 2020).

En arroz, los primeros informes de resistencia de malezas aparecieron en Filipinas en el año 1983, con la resistencia de *Sphenoclea zeylanica* al 2,4 D y en Grecia en 1986, con resistencia de *E. crus-galli* var. *crus-galli* a propanil. En la actualidad se han reportado 164 casos de resistencia a malezas (gramíneas, ciperáceas y latifoliadas) con diferentes mecanismos de acción (www.weedscience.org 2020).

En Chile, el molinate fue usado por más de una década sin reportes de fallas de control de hualcacho, incluso hasta el día de hoy, probablemente por actuar con un diferente mecanismo de acción

a los herbicidas usados en el país. Se utiliza en cultivo inundado a pocos días después de la siembra y antes de la emergencia del cultivo sobre el nivel del agua. Sin embargo, con la aparición de herbicidas del grupo de las sulfonilureas (grupo B/2, inhibidores de la enzima ALS, Acetato lactasa sintetasa que afecta síntesis de lípidos), en la década de 1980 se produjo gradualmente el reemplazo absoluto del molinate, debido al mayor espectro de control, menor olor, baja dosis y residualidad que ofrecieron ciclosulfamuron (*Oryza*), pirazosulfuron (Sirius) y posteriormente bensulfuron (Londax).

Estos herbicidas, utilizados en Chile por casi 15 años en forma repetitiva cada temporada y, en muchos casos sobre el mismo suelo en rotaciones arroz-arroz, generaron una presión de selección sobre la hualtata (*Alisma plantago-acuatica*) y hualcacho (*Echinochloa* spp.), permitiendo la sobrevivencia de ciertas plantas de estas especies (biotipos) a la aplicación de sulfonilureas. Por esta razón, se afirma que el desarrollo de resistencia en el campo es un proceso de selección que se ha generado aplicando herbicidas con el mismo o similar modo de acción, produciendo lo que se llama 'presión de selección'. Las gramíneas son el grupo de malezas donde más se han informado casos de resistencia, entre las que se encuentran las diferentes especies de hualcacho, (*Echinochloa* spp.) (Fisher et al., 1993; 2000; Valverde, 2007; Yasuor et al., 2008; Riar et al., 2013; Matzenbacher et al., 2015).

También se ha reportado resistencia en dos especies de malezas que afectan el cultivo arroz, en *Alisma plantago-acuatica* (Figueroa et al., 2008) y *Shoenoplectus mucronatus* (Cruz-Hipólito et al., 2009); ambas resisten a herbicidas inhibidores de ALS (grupo 2). Hualtata presenta resistencia a bensulfuron-metil y el pasto cabezón a bispyribac-sodium, bensulfuron-metil, pyrazosulfuron-etil, ethoxysulfuron, cyclosulfamuron e imazamox.

En el año 1998, con el lanzamiento de cyhalofop-metil (Clincher) se aporta un nuevo mecanismo de acción, inhibidor de la enzima ACCasa que afecta la síntesis de lípidos. Perteneció al grupo de los aryloxyphenoxypropionates (FOPs), clasificado por el HRAC en el grupo 1. Este herbicida sistémico necesita el follaje expuesto de las gramíneas para lograr buena cobertura y absorción. El herbicida se transloca rápidamente y aporta al control sobre chéptica, la única especie gramínea perenne en el cultivo arroz en Chile, que se multiplica por medio de semillas y rizomas. Durante los primeros años, Clincher se utilizó por su alta eficacia como tratamiento tardío; sin embargo, más adelante se incluyó en los tratamientos tempranos con malezas en los primeros estados vegetativos, donde este tipo de herbicidas presenta mayor eficacia que en estados fenológicos más tardíos. Como todos los graminicidas de este grupo, es relevante el uso de coadyuvantes.

Posteriormente, se registra un herbicida regulador de crecimiento y de gran selectividad al cultivo. Se trata de quinclorac (Facet) del grupo 4, también de actividad post-emergente con alta eficacia en control de hualcacho, sumando una nueva herramienta al control químico de malezas gramíneas con un mecanismo diferente de acción. Algunos años más tarde, en 2006, la industria lanzó un nuevo herbicida cuyo ingrediente activo penoxulam (Ricer), del subgrupo de las triazolopirimidina (diferente al subgrupo de las sulfonilureas), pero del mismo mecanismo de acción, era inhibidor de la enzima ALS y clasificado también en el grupo 2. Este producto, aunque comparte el mismo grupo, reemplazó a la última sulfonilurea (bensulfuron metil) debido al excelente control que demostró inicialmente sobre hualtatas (*Alisma plantago*) y hualcachos (*Echinochloa* spp.) que habían perdido sensibilidad a bensulfuron. Además, penoxulam ofrecía eficacia en control parcial (40 % - 60 %) de ciperáceas, como pasto cabezón (*Shoenoplectus mucronatus*) y cortadera (*Cyperus difformis*).

Otros herbicidas que también se comercializaron algunas temporadas en la década de 1990 fueron bispyribac sodio (Nominee) y pyribenzoxim (Pyanchor), ambos pertenecientes, también, al sub grupo de la clasificación del HRAC 2 'pyrimidinyl benzoatos', inhibidores de la ALS, aunque no pudo demostrar su eficacia en el control de las malezas en el sector arrocero chileno.

Sin embargo, después de una década de uso repetitivo de Ricer, al ser sometido a una condición de alta presión de uso de herbicidas ALS, comenzó a perder eficacia a nivel de campo, época en la cual se incentivó el uso en la post-emergencia del arroz y de hualcacho, mezclas de dos herbicidas, seleccionando de los siguientes tres ingredientes activos: penoxulam-quinclorac-cyhalofop

metil. Actualmente, se observaban grandes pérdidas de rendimiento debido a controles irregulares, principalmente en biotipos de hualcacho no bien controlados con los tratamientos ya mencionados.

En el año 2017 se registró en Chile Loyant, un nuevo herbicida hormonal de tipo auxínico (grupo 4/O), cuyo ingrediente activo es flopirauxifen bencilo (Rinskor), de la familia de los arilpicolinatos. Este herbicida es sistémico y selectivo a todas las variedades y tipos de arroz (híbridos, variedades clearfield, variedades *indica* y *japonica*), se aplica desde 2 a 3 hojas. En cuanto a su afinidad a sitios de acción de las auxinas sintéticas, ésta es mayor al sitio AFB5m que al sitio TIR1, en relación a otros herbicidas reguladores de crecimiento. Loyant es recomendado para el control de un amplio espectro de malezas, incluyendo ciperáceas y latifoliadas como *Alisma* spp., *Chenopodium*, *Sagitaria*, *Amarantus*, *Ambrosia*, entre otras, incluyendo las diversas especies y biotipos de hualcachos. Es muy activo con sólo 30 g i.a. ha⁻¹, esto es, utilizando menor dosis que el resto de los gramínicidas del mercado, por lo que se considera que posee un buen perfil ambiental y toxicológico (Foto 12).



Foto 12. Efecto de Loyant y Garlon sobre el control de maleza. Parral, temporada 2017-2018.

En las últimas temporadas se ha desarrollado la siembra directa que, entre otros beneficios, permite la utilización de herbicidas suelo activo, con un mecanismo de acción diferente a los post-emergentes, lo que permite apoyar el manejo anti-resistencia. Básicamente, el único ingrediente activo de contacto y residual que se encuentra registrado es el clomazone y, aunque aún no cuenta con registro oficial, la pendimetalina también es usada sola o de preferencia en mezclas. La pendimetalina pertenece al grupo de las Dinitroanilinas, y afecta el proceso mitosis en crecimiento celular. Está clasificado en el grupo 3. Su ingrediente activo es de baja movilidad en suelo y se utiliza como pre-emergente de las malezas y del cultivo, afectando principalmente malezas gramíneas y algunas latifoliadas. Clomazone pertenece al grupo de las Isoxazolidinonas. Afecta la enzima fitoeno desaturasa (PDS) e inhibe la síntesis de carotenoides (pigmentos), generando el típico 'bleaching' o blanqueamiento. Se clasifica en grupo 13 y se absorbe por brotes y raicillas, deteniendo el crecimiento de gramíneas y de algunas malezas de hoja ancha. Ambos se aplican inmediatamente después de la siembra y previo a la emergencia del cultivo y de las malezas.

El mejor control de malezas debe considerar un manejo Integral, considerando aspectos agronómicos del cultivo (manejo suelo, calidad semilla, rotaciones), donde los herbicidas sean sólo una parte de la solución y donde su manejo racional sea importante, considerando rotaciones de ingredientes activos en cada temporada y durante la misma temporada de siembra.

Presencia del arroz maleza (arroz rojo) en Chile

Las primeras referencias de la presencia del arroz rojo en Chile se remontan a los inicios del cultivo del arroz en el país (Silva, 1937; Opazo, 1939; Villalobos, 1941; Astorga, 1944), momento en el

que se identifica como una maleza muy dañina, al ser una planta muy difícil de eliminar del cultivo en las siembras realizadas al voleo. No ocurre lo mismo en las siembras ejecutadas mediante el sistema almacigo - trasplante, donde se le podía eliminar en forma mecánica (Opazo, 1939). Esta situación indicaba la probabilidad de que el arroz rojo haya sido introducido al país en las primeras importaciones de semillas realizada por los agricultores.

Un análisis de la calidad de la semilla de arroz, llamada 'semilla nacional' utilizada en el país, demostró que además de ser una mezcla de genotipos, poseía prácticamente un 50 % de plantas que producían granos de color rojo, señalándose que la presencia de arroz rojo en el campo había ido aumentando año tras año, llegando a producir una importante contaminación en las variedades comerciales a principios de 1940. Ésta podía llegar a un 4 % a 5 %, aunque su presencia no debería ser superior al 0,5 % (Theune, 1941; Astorga, 1944).

Otros estudios realizados tendientes a evaluar la variabilidad de muestras de arroz rojo colectadas en la zona, detectaron una amplia variabilidad fenotípica en esta maleza. Es así como en 1940, en la 'semilla nacional', se detectaron 11 tipos diferentes de plantas con granos rojos, plantas que además poseían nudos de color negro, espiguillas aristadas, panojas de color amarillo oscuro y diferentes tipos de grano (Theune, 1941). Posteriormente, otro estudio señaló la presencia de 17 ecotipos de arroz rojo que se caracterizaban por poseer diferentes tipos de grano (cortos, intermedios y largos), presencia o ausencia de coloración en los nudos, y presencia o ausencia de aristas (Alvarado et al., 2007). Este estudio detectó también un grupo específico de plantas incluidas en las variedades comerciales 'Oro', 'Diamante-INIA' y 'Brillante-INIA' que presentaban el pericarpio rojo. Ello indicaba la posibilidad de cruzamientos naturales entre la maleza y las variedades comerciales. El análisis multivariado indicó que el 95 % de la variación presente en las 232 poblaciones estudiadas era explicada por tres componentes principales (CP): la altura de plantas, el largo de los tallos de las panículas, y el largo de la hoja bandera (Becerra, 2003).

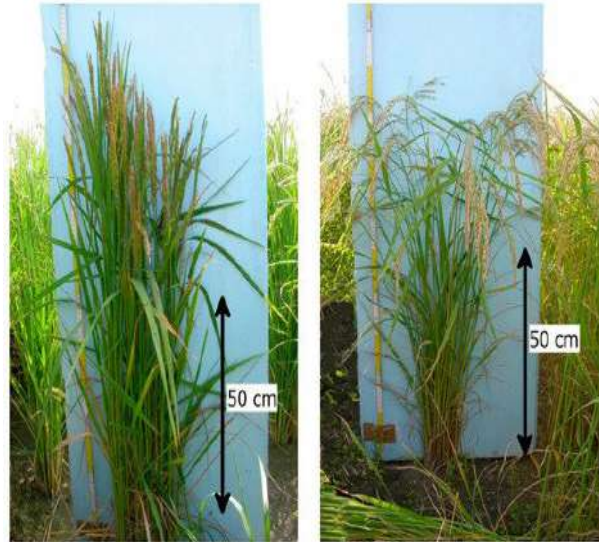
El arroz rojo es una planta similar al arroz comercial que dificulta su control, ya que madura más temprano y posee una mayor susceptibilidad al desgrane. Además, compite con el arroz comercial, disminuyendo el rendimiento del grano y aumentando los costos de producción. Produce rechazo de los semilleros infectados con esta maleza, reduce la calidad del grano y baja la calidad molinera, ya que el grano se quiebra con mayor facilidad, por lo que, finalmente, disminuye el valor comercial del arroz, por ser considerado un defecto (Alvarado et al., 2007).

En relación a su control, se ha informado de varios métodos, entre los cuales se pueden mencionar: uso de rotaciones de al menos cuatro años con pradera; uso de prácticas de manejo previo a la siembra (barbechos químicos); riegos de pre-siembra para favorecer la germinación y emergencia de las plántulas y la posterior eliminación de las plántulas emergidas a través del uso rastras o 'fanguero' superficial; limpieza de las máquinas cosechadora antes de iniciar la cosecha (Alvarado et al., 2007; Aravena, 2012); separación mecánica del arroz rojo del arroz comercial después de la cosecha mediante el uso de la luz, ya que el grano rojo es opaco y el grano comercial es transparente; uso de semilla certificada (Astorga, 1944; Alvarado et al., 2007); y producción de variedades resistentes a herbicidas que permitan proteger a la planta de arroz, pero controlar el arroz rojo, como por ejemplo, el uso de variedades Clearfield resistentes a las imidazolinonas (Paredes et al., 2019) o variedades Provisia resistentes a otros herbicidas graminicidas (www.agriculture.basf.us/crop-protection/products/provisia.html).

A pesar de la presencia del arroz rojo en las primeras siembras de arroz en el Chile, no se ha considerado como un problema de gran importancia (Sims y Alvarado, 1972; Alvarado y Hernaiz, 1995; Pedreros y Kramm, 2007; Henríquez et al., 2018), por lo cual existen pocos trabajos relacionados con esta maleza, siendo la mayoría de ellos prospectivos y descriptivos (Alvarado y Pedreros, 1991; Alvarado et al., 2007; Becerra, 2003; Aravena, 2012).

La primera prospección sobre la presencia del arroz rojo en Chile se realizó durante la temporada 1988-1989, en 13 siembras comerciales ubicadas entre las Regiones de O'Higgins y Biobío (Ñuble

desde 2018), en las variedades 'Diamante-INIA' y 'Oro'. El análisis de las muestras recolectadas señaló la presencia de plantas con grano rojo, con presencia de aristas de diferente tamaño y coloración y sin ellas, y diferentes coloraciones en los nudos de los tallos (Foto 13). Por otro lado, plantas de dos variedades presentaron presencia de granos rojos. El análisis de muestras de dos arroceras ubicadas en la Región de O'Higgins (Colchagua) y Biobío (San Carlos) indicó la presencia de arroz rojo en toda la zona arrocerá del país y que el nivel de infestación varió entre un 0,02 % y un 4,1 %, y que la mayor frecuencia se presentó en las variedades de grano corto, como 'Oro' (Alvarado y Pedreros, 1991).



Fuente: Fogliatto et al., 2020.

Foto 13. Ejemplo de plantas de arroz rojo.

Una segunda prospección realizada en el año 2000, indicó que el nivel de contaminación del arroz rojo ya había alcanzado a las variedades de grano largo ancho, ya que en las muestras analizadas se pudo detectar granos con coloraciones rojas en los granos corto, medio y largo, y en los tipos redondeado, largo ancho y largo fino. Es importante resaltar que en esa temporada se presentó arroz grano rojo incluso en la variedad 'Brillante-INIA', variedad que se sembraba por primera vez en el país. Esta situación confirma la capacidad de cruzamiento que posee el arroz rojo con el arroz comercial (Alvarado y Hernaiz, 2001; Alvarado et al., 2007).

Además de la contaminación con arroz rojo a nivel nacional de todas las variedades, la presencia de la maleza ha ido aumentando con el transcurso de los años. Es así como, el análisis de muestras cosechadas en los años 1989, 1996 y 2000, detectó un aumento desde un 39,2 % en 1989 a un 96 % en los granos cortos en el año 2000, mientras que, en el grano largo, el incremento pasó desde un 28,6 % en 1989 a un 72,4 % en 1996 y 2000, respectivamente (Alvarado et al., 2007). Al estudiar la distribución de los granos rojos en las diferentes áreas arroceras, se pudo detectar su presencia en todas las localidades estudiadas (Paredones, San Javier, Parral, Ñiquén y San Carlos). A pesar de esa situación, en el año 2000 un 88,2 % de las muestras analizadas cumplieron con la norma chilena, es decir, poseían menos de un 0,5 % de arroz con coloración roja (Alvarado et al., 2007).

Finalmente, en el año 2012 se realizó un análisis de 629 muestras pertenecientes a las Regiones de Maule y Biobío (Ñuble desde 2018). El análisis de la muestra indicó que estas regiones presentaron un 67,0 % y 75,1 % de las muestras con presencia de granos de arroz con color rojo, respectivamente. El mayor porcentaje de arroz rojo se observó en la Región del Biobío, lo que se podría explicar por el menor uso de semilla certificada (Aravena, 2012).

La distribución de la presencia de arroz rojo por comunas señaló que Linares, Longaví, Ñiquén, Parral, Retiro y San Carlos, presentaron un rango de 36 a 51 granos por muestra, a diferencia de la comuna de San Nicolás que presentó 137 granos rojos por muestra. Esta situación se podría deber a que esta comuna está conformada por pequeños agricultores arroceros que usan un bajo porcentaje de semillas certificadas. La comuna de Villa Alegre presentó el nivel más bajo promedio de infestación de arroz rojo en comparación con las demás comunas, lo que se podría deber al uso de transición en las siembras de arroz, lo que permite a los agricultores establecer rotaciones con distintas especies vegetales y, de esta manera, aminorar la infestación de esta maleza (Aravena, 2012).

Referencias

- Alvarado, R., Hernaíz, S. 1995. Control de malezas. p. 45-52. En Manual de producción de arroz. Ministerio de Agricultura, Programa de Reconversión de Suelos Arroceros. Serie Quilamapu N°62. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Chillán, Chile.
- Alvarado, R., Hernaíz, S. 2001. Arroz. p. 611-625. En Agenda del Salitre. 11^ª ed. Sociedad Química y Minera de Chile, Soquimich Comercial, Santiago, Chile.
- Alvarado, R., Hernaíz, S. 2007. Variedades, siembra, semilla certificada, dosis de semilla y época de siembra. p. 21-38. En Alvarado, R. (ed.) Arroz, manejo tecnológico. Boletín INIA N°162. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Chillán, Chile.
- Alvarado, R., Hernaíz, S., Kramm, V. 2007. Arroz rojo, un problema actual. p. 127-136. En Alvarado, R. (ed.) Arroz, manejo tecnológico. Boletín INIA N°162. p. 39-48. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Chillán, Chile.
- Alvarado, R., Lobos, C. 1986. Calidad del arroz, caracterización de tres variedades y efecto de la fertilización nitrogenada y control de malezas. *Agric. Téc. (Chile)* 46:9-14.
- Alvarado, R., Ormeño, J., Cisternas, C. 1985. Efecto de la fertilización nitrogenada y del control de malezas en el rendimiento del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) *Agric. Téc. (Chile.)* 45:9-14.
- Alvarado, R., Pedreros, A. 1991. Presencia de arroz rojo en Chile. *Agric. Téc. (Chile)*. 51:374-377.
- Alvarado, R., Pedreros, A. 1992. Preparación de suelos en arroz. *Inv. Prog. Agrop. Quilamapu (Chile)*. 52:32-35.
- Anríquez, C. 1934. El cultivo del arroz y sus posibilidades en Chile. Memoria Ingeniero Agrónomo. 204 p. Universidad de Chile, Escuela de Agronomía, Santiago, Chile.
- Araos, F., Rojas, C. 1976. Efecto de la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y azufre sobre los rendimientos de arroz. *Agric. Téc. (Chile)* 36:58-62.
- Aravena, R. 2012. Situación actual de la infestación Con arroz rojo en arroz Diamante Comercial en la región del Maule y Bío-Bío. 20 p. Seminario de título Ingeniero de Ejecución Agrícola. Universidad Católica del Maule, Facultad de Ciencias Agrarias, Curicó, Chile.
- Astorga, C.M. 1944. Elaboración industrial del arroz nacional. 129 p. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile, Facultad de Agronomía. Santiago, Chile.
- Becerra, A. 2003. Caracterización morfológica de biotipos de arroz rojo (*Oryza sativa*) presentes en Chile. 37 p. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela de Agronomía, Talca, Chile.
- Beffa, R., Menne, H., Köcher, H. 2019. Herbicide Resistance Action Committee (HRAC): herbicide classification, resistance evolution, survey, and resistance mitigation activities. p. 5-32. In Jeschke, P., Witschel, M., Krämer, W., et al. (eds.) *Modern crop protection compounds*. 3rd ed. WileyVCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany.

- Bertín, P., Alvarado, R., Ormeño, J. 1984. La fertilización nitrogenada y el control de malezas en el cultivo del arroz. *Inv. Prog. Agrop. Quilamapu (Chile)* 22:6-10.
- Binder, J. X., Pletscher-Frankild, S., Tsafou, K., et al. 2014. COMPARTMENTS: unification and visualization of protein subcellular localization evidence. *Database (Oxford)* doi:10.1093/database/bau012.
- Bouhache, M. 1993. Photosynthetic response of flooded rice (*Oryza sativa*) and three *Echinochloa* species to changes in environmental factors. *Weed Sci.* 41:611-614.
- Covshoff, S., Szecowka, M., Hughes, T., et al. 2016. C4 photosynthesis in the rice paddy: insights from the noxious weed *Echinochloa glabrescens*. *Plant Physiol.* 170:57-73.
- Cruz-Hipólito, H., Osuna, M., Vidal, R., et al. 2009. Resistance mechanism to bensulfuron-methyl in biotypes of *Scirpus mucronatus* L. collected in Chilean rice fields. *J. Agric. Food Chem.* 57:4273-4278.
- Délye, C., Jasieniuk, M., Le corre, V. 2013. Deciphering the evolution of herbicide resistance in weeds. *Trends Genet.* 29:649-658.
- Elgueta, L. 1955. Organización de la cooperativa de productores de arroz de San Carlos. *Simiente* 25:80-81.
- Figueroa, R., Gebauer, M., Fisher, A., et al. 2008. Resistance to bensulfuron-methyl in water plantain (*Alisma plantago-aquatica*) populations from Chilean paddy fields. *Weed Technol.* 22:602-608.
- Fisher, A., Atech, C., Bayer, D., et al. 2000. Herbicide-resistant *Echinochloa oryzoides* and *E. phyllopopon* in California *Oryza sativa* fields. *Weed Sci.* 48:225-230.
- Fisher, A., Granados, E., Trujillo, D. 1993. Propanil resistance in populations of jungle rice (*Echinochloa colona*) in Colombia rice fields. *Weed Sci.* 41:201-206.
- Fogliatto, S., Ferrero, A., Vidotto, F. 2020. How can weedy rice stand against abiotic stresses? A Review. *Agronomy* 10:1284.
- Gemién, R. 1946. El arroz en la zona central. Consideraciones acerca de su mejor cultivo y cosecha. *Simiente (Chile)* 16:136-138.
- Gibson, K., Fisher, A. 2001. Relative growth and photosynthetic response of water-seeded rice and *Echinochloa oryzoides* (Ard.) Fritsch to shade. *Int. J. Pest Manage.* 47:305-309.
- Grau, P., Cisternas, C. 1986. Nivelación en agua en campos de arroz. *Inv. Prog. Agrop. Quilamapu (Chile)* 28:7-12.
- Grau, P., Cisternas, C., Mejía, O., et al. 1987. Plan nacional para el desarrollo de la producción de arroz en Chile. Proyecto Cooperativo INIA-CIAT, Santiago, Chile.
- Heap, I. 2020. The international herbicide-resistant weed database. Disponible en: www.weedscience.org.
- Henríquez, R., Henríquez, G., Sepúlveda, D., et al. 2018. Siembra. p. 52-58. En Manual de manejos bajo el sistema de siembra directa con taipas de arroz en Chile. Serie Estudios para la Innovación FIA. Fundación para la Innovación Agraria (FIA), Santiago, Chile.
- Hernaíz, S. 1986a. Control de malezas gramíneas en arroz. *Inv. Prog. Agrop. Quilamapu* 29:31-36.
- Hernaíz, S. 1986b. Uso de MCPA en siembras de arroz. *Inv. Prog. Agrop. Quilamapu (Chile)* 30:19-21.
- Hernaíz, S., Alvarado, R. 2007. Manejo del agua en el arrozal. p. 49-68. En Alvarado, R. (ed.) Arroz, manejo tecnológico. Boletín N°162. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Chillán, Chile.
- Hilton, H.W. 1957. Herbicide tolerant strains of weeds. Hawaiian Sugar Planters Association Annual Report, Honolulu, Hawaii.

- Kogan, M., Araya, M., Alister, C. 2012. Water and sediment dynamics of penoxsulam and molinate in paddy fields: field and lysimeter studies. *Pest Manage. Sci.* 68:399-403.
- Kogan, M., Gómez, P., Fisher, A., et al., 2011. Using penoxsulam ALS inhibitor as a broad-spectrum herbicide in Chilean rice. *Cien. Inv. Agr.* 38:83-93.
- Koller, E. 2018. El cultivo de arroz en la Provincia de Ñuble y su terminología. *Boletín de Filología* 9:87-103.
- Marticorena, C., Quezada, M. 1985. Catálogo de la flora vascular de Chile. *Gayana Bot.* 42:1-157.
- Matthei, O. 1963. Manual ilustrado de malezas de la provincia de Ñuble. Universidad de Concepción, Escuela de Agronomía, Chillán, Chile.
- Matzenbacher, F., Bortoly, E., Kalsing, A., et al. 2015. Distribution and analysis of the mechanisms of resistance of barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) to imidazolinone and quinclorac herbicide. *J. Agr. Sci.* 153:1044-1058.
- Olate, H. 1950. Industria del arroz en Chile y sus proyecciones económicas. 11:161-222. Memoria Licenciado, Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales, Universidad de Chile.
- Opazo, R. 1939. Arroz (*Oryza sativa* L.). p. 551-567. En *Agricultura. Monografía cultural de las principales plantas agrícolas susceptibles de cultivarse en Chile*. Talleres Gráficos La Nación. Santiago, Chile.
- Ormeño, J. 1981. Control de malezas en arroz. *Inv. Prog. Agrop. Quilamapu (Chile)* 5:3-6.
- Ormeño, J. 1983a. Control de malezas en el cultivo del arroz. Análisis técnico económico del cultivo del arroz. p. 30-40. En *Programa de Seminarios, Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile*.
- Ormeño, J. 1983b. Prospección de las principales malezas asociadas al cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.). *Agric. Téc (Chile)* 43:285-287.
- Ormeño, J. 1992. Efecto del hualcacho (*Echinochloa* spp.) sobre el rendimiento de arroz (*Oryza sativa* L.) en Chile. *Agric. Téc. (Chile)* 52:208-213.
- Ormeño, J., Grau, P. 1988. Las principales malezas de importancia económica en el cultivo del arroz en Chile. *Bol. Agric. Shell (Chile)* 48:6-11.
- Ormeño, J., Reyes, G. 1989. Diferentes tipos de hualcacho (*Echinochloa*) asociados al cultivo de arroz en Chile. *Simiente (Chile)* 59:122 (Resumen).
- Pardo, F., Cisternas, C. 1989. Consideraciones sobre el uso de herbicidas hormonales en el cultivo del arroz. *Bol. Agric. Shell (Chile)* 49:13-17.
- Pardo, F., Cisternas, C. 1990. Londax en arroz: resultados de dos años de uso comercial. *Bol. Agric. Shell (Chile)* 50:5-7.
- Paredes, M., Becerra, V., Donoso, G., et al. 2019. Digua CI, primera variedad de arroz Clearfield para Chile. p. 18-25. En *Becerra, V., Paredes, M., Donoso, G. (eds.) Arroz sustentable: sistema de producción de arroz Clearfield*. Boletín INIA N°397. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Chillán, Chile.
- Pedrerros, A., Alvarado, R. 1994. Efecto de la lámina de agua sobre el control de hualcacho (*Echinochloa crusgalli*) en el cultivo del arroz. *Agric. Téc (Chile)* 54: 112-117.
- Pedrerros, A., Kramm, V. 2007. Manejo de las malezas en el cultivo de arroz. p. 105-126. En *Alvarado, R. (ed.) Arroz, Manejo Tecnológico*. Boletín INIA N°162. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Chillán, Chile.
- Riar, D., Norsworthy, J., Srivastava, V., et al. 2013. Physiological and molecular basis of acetolactate synthase-inhibiting herbicide resistance in barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*). *J. Agric. Food. Chem.* 61:278-289.

- Rojas, C., Alvarado, R., Belmar, C. 1983. Fertilización nitrogenada en arroz. Efecto sobre algunos parámetros del cultivo. *Agric. Téc. (Chile)* 43:353-357.
- Rojas, C., Belmar, C., Grau, P. 1991. Diagnóstico de deficiencias nutritivas en suelos bajo monocultivo de arroz. I. Efecto sobre el desarrollo vegetativo y reproductivo. *Agric. Téc. (Chile)* 51:328-333.
- Rojas, C., Belmar, C., Grau, P. 1992. Diagnóstico de deficiencias nutritivas en suelos bajo monocultivo de arroz. II. Efecto sobre el rendimiento de grano y algunas variables agronómicas. *Agric. Téc. (Chile)* 52:181-186.
- San Martín, J., Ramírez, C. 1983. Flora de malezas en arrozales de Chile Central. *Cienc. Inv. Agr.* 10:207-222.
- Silva, C. 1937. *Cómo se cultiva el arroz. Información completa sobre siembra, cultivo y cosecha de arroz.* Ediciones Ercilla, Santiago, Chile.
- Sims, G. 1959. Esperanzas efectivas para el sembrador de arroz. *Plan Chillán N° 12:* 3-6.
- Sims, G. 1969. El cultivo del arroz. *El Campesino (Chile)* 100:43-71.
- Sims, G. 1983. Cultivo del arroz. p. 9-16. En *Análisis técnico-económico del cultivo del arroz. Programa de Seminarios Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.*
- Sims, G., Alvarado, R. 1972. Control de malezas. p. 69-78. En *Manual de producción de arroz. Boletín Técnico N°54. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Chillán, Chile.*
- Sotomayor, E. 1954. Ensayo comparativo de abonos en arroz. 50 p. Memoria Ingeniero Agrónomo. Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
- Switzer C. 1957. The existence of 2,4-D-resistant strains of wild carrot. *Proc. Northeastern Weed Control Conf.* 11:315-318.
- Theune, H. 1941. Estudio taxonómico de "nuestra semilla nacional de arroz". 109 p. Tesis Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía, Universidad de Chile., Santiago, Chile.
- Vallejos, C. 2018. Identificación y comparación de malezas presentes en paños para cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) bajo siembra inundada y directa, en Unicavén, Parral. 68 p. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela de Agronomía, Talca, Chile.
- Valverde, B. 2007. Status and management of grass-weed herbicide resistance in Latin America. *Weed Technol.* 21:310-323.
- Villalobos, E. 1941. El cultivo del arroz y su importancia económica. 81p. Memoria Ingeniero Agrónomo. Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
- Yasour, H., Tenbook, P., Tjeerdema, R., et al. 2008. Responses to clomazone and 5-ketoclomazone by *Echinochloa phyllopogon* resistant to multiple herbicides in Californian rice fields. *Pest Manag. Sci.* 64:1031-1039.