Agronomía Mesoamericana

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Artículo científico
Volumen 33(2): Artículo 47610, 2022
e-ISSN 2215-3608, doi:10.15517/am.v33i2.47610

Eficacia de herbicidas preemergentes en el control de *Oryza latifolia* Desv. (arroz pato)[1]

Efficacy of pre-emergent herbicides on the control of *Oryza latifolia* Desv. (broadleaf rice)

Grettel Picado-Arroyo[2], *Franklin Herrera-Murillo*[2]

[1] Recepción: 8 de julio, 2021. Aceptación: 29 de octubre, 2021. Este trabajo formó parte de la tesis de Licenciatura del primer autor, denominada "Eficacia de herbicidas preemergentes y posemergentes para el control de *Oryza latifolia* Desv. (arroz pato) bajo condiciones de invernadero", realizada y financiada por el proyecto 736-A2-801 "Desarrollo de estrategias para el manejo de arvenses" de la Universidad de Costa Rica.

[2] Universidad de Costa Rica, Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno (EEAFBM), Programa de Manejo Integrado de Malezas. Alajuela, Costa Rica. grettel.picadoarroyo@ucr.ac.cr (autora para la correspondencia, https://orcid.org/0000-0002-0251-2224), franklin.herrera@ucr.ac.cr (https://orcid.org/0000-0001-5106-7940).

Resumen

Introducción. *Oryza latifolia* es una especie silvestre en plantaciones de arroz comercial, su control es difícil dada la poca disponibilidad de herbicidas eficaces y selectivos al arroz cultivado. **Objetivo.** Identificar herbicidas preemergentes para controlar *O. latifolia* y estimar el tiempo de espera para sembrar arroz comercial. **Materiales y métodos.** De abril a octubre del 2019 se realizaron dos experimentos en la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica. Se utilizaron macetas plásticas de 3 L de capacidad, llenas con suelo arcilloso. En cada maceta se sembraron treinta semillas de *O. latifolia*. En el primer experimento se evaluó el oxifluorfen (480, 720 y 960 g i.a. ha^{-1}), oxadiargil (300, 400 y 500 g i.a. ha^{-1}), pretilaclor (1000, 1500 y 2000 g i.a. ha^{-1}), atrazina (1500, 2000 y 2500 g i.a. ha^{-1}), acetoclor (1500, 2000 y 2500 g i.a. ha^{-1}) y un testigo sin herbicida. En el segundo experimento se evaluaron el oxifluorfen (480 g i.a. ha^{-1}) y la atrazina (2000 g i.a. ha^{-1}) aplicados a las 0, 1, 2, 3 y 4 semanas antes de sembrar la variedad de arroz Palmar 18. En ambos experimentos se utilizó un diseño irrestricto al azar con cinco repeticiones. Se evaluó el control y biomasa aérea seca de *O. latifolia* y la variedad Palmar 18. **Resultados.** El oxifluorfen en las dosis evaluadas mostró la mayor eficacia con 100 % de control de *O. latifolia*, seguido de la atrazina a 2000 g i.a. ha^{-1} con 80 %; sin embargo, ambos herbicidas causaron daños de leves a moderados en la variedad de arroz cuando se aplicaron entre 0 y 4 semanas antes de la siembra. **Conclusión.** El oxifluorfen fue el herbicida preemergente más eficaz para el control de *O. latifolia*, pero no se determinó con exactitud el tiempo de espera para sembrar la variedad Palmar 18.

Palabras clave: arroz silvestre, selectividad, fitotoxicidad, efecto residual.

Abstract

Introduction. *Oryza latifolia* is a wild species in commercial rice plantations, its control is difficult given the limited availability of effective and selective herbicides for commercial rice. **Objective.** To identify pre-emergent

Agronomía Mesoamericana es desarrollada en la Universidad de Costa Rica bajo una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. Para más información escriba a pccmca@ucr.ac.cr o pccmca@gmail.com

herbicides to control *O. latifolia* and to estimate the waiting time before planting commercial rice. **Materials and methods.** Two experiments were conducted from April to October 2019 at the Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica. Plastic pots of 3 L capacity, filled with clay soil, were used. In each pot, 30 seeds of *O. latifolia* were sown. In the first experiment, oxyfluorfen (480, 720, and 960 g a.i. ha^{-1}), oxadiargil (300, 400, and 500 g a.i. ha^{-1}), pretilachlor (1000, 1500, and 2000 g a.i. ha^{-1}), atrazine (1500, 2000, and 2500 g a.i. ha^{-1}), acetochlor (1500, 2000, and 2500 g a.i. ha^{-1}), and a control without herbicide were evaluated. In the second experiment, oxyfluorfen (480 g a.i. ha^{-1}) and atrazine (2000 g a.i. ha^{-1}) applied at 0, 1, 2, 3, and 4 weeks before sowing the Palmar 18 rice variety were evaluated. An unrestricted randomized design with five replications was used in both experiments. The control and dry aerial biomass of *O. latifolia* and Palmar 18 variety were evaluated. **Results.** Oxyfluorfen in the doses evaluated showed the highest efficacy with 100 % control of *O. latifolia*, followed by atrazine at 2000 g a.i. ha^{-1} with 80 %; however, both herbicides caused mild to moderate damage to the rice variety when applied between 0 and 4 weeks before planting. **Conclusion.** Oxyfluorfen was the most effective pre-emergent herbicide for the control of *O. latifolia*, but the waiting time to sow the Palmar 18 variety was not accurately determined.

Keywords: wild rice, selectivity, phytotoxicity, residual effect.

Introducción

Oryza latifolia Desv. (Poaceae), conocida en Costa Rica como arroz pato o arrozón (La Selva Florula Digital, s.f) y broadleaf rice en inglés (Encyclopedia of Life, 2018), es una especie silvestre del género *Oryza*, perenne y originaria de América, se comporta como arvense en ambientes húmedos y pantanosos, en la mayoría de los países tropicales de América (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 2009; Encyclopedia of Life, 2018). En Costa Rica, es común en las áreas bajas y húmedas del pacífico norte, pacífico central, pacífico sur, zona norte y zona atlántica (Sánchez et al., 2003; Zamora et al., 2003).

Algunas características que diferencian a *O. latifolia* del arroz cultivado (*Oryza sativa* L.) y de otras especies silvestres de *Oryza* son: su porte alto (hasta 4 m), hojas pubescentes, hasta 3,5 cm de ancho y 55 cm de largo, con lígulas truncadas, panículas abiertas hasta de 40 cm de largo y alta latencia de sus semillas (Flora de Nicaragua, 2021). Sin embargo, pueden presentarse variaciones morfológicas entre poblaciones de diferentes zonas (Zamora et al., 2003).

Esta especie se ha difundido en las áreas dedicadas al cultivo de arroz, hasta convertirse en un problema en varias fincas del pacífico central y sur de Costa Rica. En las áreas afectadas, los productores de arroz la consideran indeseable por sus características de crecimiento agresivo, formación de macollos con varios hijos y producción escalonada de semillas que caen al madurar.

No se dispone de información específica del impacto negativo del arroz pato en el arroz cultivado, debido a que la mayoría de las investigaciones no hacen separación entre *O. latifolia* y los otros tipos de arroz maleza (*Oryza* spp.). Sin embargo, el arroz maleza a una densidad de una planta por metro cuadrado puede reducir el rendimiento hasta en 1543 kg ha^{-1} en variedades Clearfield (Durand-Morat et al., 2018).

Otro problema que enfrentan los productores es la escasa disponibilidad de herbicidas que controlen el arroz pato y que sean selectivos al arroz cultivado, ya que ambas especies comparten genes de los complejos enzimáticos que incentivan la degradación de los herbicidas. La literatura acerca del control del arroz pato con herbicidas es limitada. La mayoría de investigaciones se refieren al arroz contaminante o arroz maleza, sin separar de ellos a *O. latifolia*.

Una posibilidad para el manejo de *O. latifolia* es el uso del sistema Provisia que utiliza variedades de arroz resistentes a quizalofop (Lancaster et al., 2018), pero este sistema aún no está registrado en Costa Rica. Otra

estrategia registrada para el manejo de arroces maleza, es el sistema de producción Clearfield, que utiliza variedades de arroz comercial resistentes a herbicidas imidazolinonas (IMI) (Fleck et al., 2001; Noldin et al., 2007; Sha et al., 2007; Shaner, 2014; Lancaster et al., 2018), herbicidas que pueden eliminar arroces contaminantes que no tengan el gen de resistencia, por lo cual pueden resultar eficaces para el combate de *O. latifolia*.

El sistema Clearfield podría utilizarse para eliminar a *O. latifolia*, con bajo riesgo de que aparezcan biotipos resistentes a los herbicidas IMI, dado que es un tetraploide con barrera reproductiva con el arroz cultivado (diploide). Sin embargo, este sistema tiene el inconveniente que ya se han generado biotipos de arroz rojo (*O. sativa*) con resistencia a los herbicidas imidazolinonas, producto del flujo de genes entre los cultivares IMI y los biotipos de arroz rojo (ambos diploides), condición que limita el uso de este sistema en aquellas situaciones donde estén presentes ambas especies de arroz.

En el pacífico central y sur de Costa Rica, hay productores dedicados a la siembra de variedades mejoradas, pero sin genes de resistencia a herbicidas, donde los sistemas antes descritos no pueden utilizarse y tienen presencia de *O. latifolia*, por lo que es necesario buscar otras alternativas de manejo. En estas condiciones, una posible estrategia es el uso de herbicidas preemergentes residuales no selectivos al arroz, y dejar un período de espera tal, que, al momento de sembrar el arroz comercial, ya haya pasado el efecto residual del herbicida.

Algunos herbicidas residuales no selectivos al arroz que se han utilizado para el combate de arroces maleza bajo esta estrategia son: el oxifluorfen (Arce-Cascante, 2014), pretilaclor (Chauhan et al., 2015), butacloro (Ortiz & López, 2011), acetoclor (Norsworthy et al., 2019), atrazina (Andres et al., 2012) y oxadiargil (Ahmed & Chauhan, 2015; Ortiz & López, 2011). Sin embargo, en estos estudios no se separó a *O. latifolia* de *O. sativa*, razón por la cual es necesario valorar la eficacia de herbicidas residuales para el control de *O. latifolia* en siembras convencionales de arroz.

En este estudio, el uso de oxifluorfen está dirigido a variedades mejoradas de arroz sin genes de resistencia a herbicidas, sembradas con maquinaria en condiciones de secano, que es el sistema más común utilizado en las fincas arroceras del pacífico central y sur de Costa Rica, donde se ha incrementado la incidencia de *O. latifolia* como maleza. En esta condición de secano y dependiente de las lluvias, no se puede sembrar al voleo con semilla pregerminada, como se hace cuando se dispone de riego, razón por la cual, en la siembra convencional con uso previo del oxifluorfen se debe considerar el período de espera para que no haya efectos negativos en la siembra del arroz.

El objetivo de este estudio fue identificar herbicidas preemergentes para controlar *O. latifolia* y estimar el tiempo de espera para sembrar arroz comercial.

Materiales y métodos

La investigación consistió en dos experimentos que se llevaron a cabo de abril a octubre del 2019, en el invernadero "D" de la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno (EEAFBM) de la Universidad de Costa Rica, ubicada en el distrito de San José de Alajuela, Costa Rica.

El propósito del primer experimento fue identificar herbicidas preemergentes no selectivos al arroz cultivado que mostraran no menos de 80 % de control de arroz pato (se considera que, un herbicida que controle más del 80 % de la población de malezas objetivo tiene buena eficacia). Se utilizaron macetas plásticas de 3 L de capacidad, llenas con suelo arcilloso procedente de un lote sin presencia de esta maleza, ubicado en la finca arrocera Mojica, Bagaces, Guanacaste, Costa Rica. Las características químicas del suelo se indican en el Cuadro 1. El contenido de materia orgánica del suelo fue de 2,2 %. Los contenidos de arena, limo y arcilla fueron 22 %, 16 % y 62 %, respectivamente.

En cada maceta plástica se sembraron treinta semillas de *O. latifolia* a 1 cm de profundidad. Las semillas se recolectaron en un lote de arroz que tuvo 40 % de infestación (latitud 10° 23' 28'' y longitud 85° 12' 11'') en la Finca

Cuadro 1. Análisis químico del suelo utilizado en los experimentos del efecto de herbicidas preemergentes en *O. latifolia*. Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica. 2019.

Table 1. Chemical analysis of the soil used in the experiments of the effect of pre-emergent herbicides on *O. latifolia*. Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica. 2019.

	pH	cmol (+) L^{-1}					%	mg L^{-1}				
	H_2O	Acidez	Ca	Mg	K	CICE	SA	P	Zn	Cu	Fe	Mn
Nivel crítico	5,5	0,50	4,00	1,00	0,20	5,00		10,00	3,00	1,00	10,00	5,00
Suelo	6,5	0,11	16,19	8,37	0,32	24,99	0,40	49,00	7,20	19,00	166,00	2,00

H_2O: agua, Ca: calcio. Mg: magnesio. K: potasio, CICE: capacidad de intercambio catiónico, SA: saturación de acidez, P: fósforo, Zn: zinc, Cu: cobre, Fe: hierro, Mn: manganeso.
H_2O: water, Ca: calcium. Mg: magnesium. K: potassium, CICE: cation exchange capacity, SA: acid saturation, P: phosphorus, Zn: zinc, Cu: copper, Fe: iron, Mn: manganese.

Mojica, Bagaces, Guanacaste. Debido a que estas semillas, aún cinco meses después de la cosecha, mostraron latencia, se sometieron a un proceso de ruptura de latencia, se colocaron por 1 h a 40 °C de temperatura en una estufa, luego se embebieron durante 24 h en una solución de nitrato de potasio al 0,5 % y se secaron durante 2 h antes de sembrarlas, según la metodología descrita por Picado (2020).

Se evaluaron cinco herbicidas preemergentes en tres dosis cada uno, más un testigo sin aplicación de herbicidas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Herbicidas preemergentes y sus dosis, evaluadas para el control de *O. latifolia*. Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica. 2019.

Table 2. Pre-emergent herbicides and their doses evaluated for the control of *O. latifolia*. Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica. 2019.

Tratamiento herbicida	g ingrediente activo ha^{-1}
Oxifluorfen	480, 720, 960
Pretilaclor	1000, 1500, 2000
Acetoclor	1500, 2000, 2500
Atrazina	1500, 2000, 2500
Oxadiargil	300, 400, 500
Testigo sin herbicida	0, 0, 0

La dosis del ingrediente activo (i.a.) evaluado para cada herbicida consideró como límite inferior la recomendación de su etiqueta para el control preemergente de poáceas. La aplicación de los herbicidas se hizo un día después de la siembra, con suelo húmedo y en una zona protegida del viento, en las afueras del invernadero "D". Se utilizó un aspersor eléctrico modelo KB-16E-4 con boquilla 8002, calibrado para aplicar 300 L ha^{-1}. Las macetas plásticas se colocaron dentro del invernadero en mesas con una estructura plástica que permitió mantener una lámina de agua de 5 cm durante el desarrollo de la investigación, de manera que el suelo siempre se mantuvo saturado por capilaridad.

El diseño experimental utilizado fue irrestricto al azar con dieciséis tratamientos (quince tratamientos herbicidas y un testigo sin herbicida) y cinco repeticiones.

Cuatro semanas después de la aplicación de los herbicidas se evaluaron en las plantas de *O. latifolia*: número de plantas vivas por maceta, porcentaje de control y biomasa aérea seca. Para el porcentaje de control, se utilizó una escala propia de 0 a 100, donde 0 correspondió a plantas sin daños y similares a los testigos sin herbicidas, los restantes valores se asignaron en orden creciente conforme el efecto sobre la maleza fue mayor, hasta 100 % que correspondió a la muerte de todas las plantas de *O. latifolia*. Para la biomasa aérea seca se cortaron las plantas a nivel del suelo, se secaron en una estufa a 70 °C y se pesaron en una balanza analítica hasta alcanzar un peso constante.

El análisis de los datos se realizó con el software estadístico Infostat. Los datos se sometieron a un análisis para verificar el cumplimiento de los supuestos del análisis de variancia, cuando estos se cumplieron se procedió con el análisis de variancia y comparación de medias mediante la prueba de Tukey al 5 % de significancia. Cuando los supuestos no se cumplieron, se realizó un análisis no paramétrico mediante Kruskal-Wallis y comparación de pares.

El segundo experimento fue con el propósito de observar el efecto de los herbicidas preemergentes más efectivos en el primer experimento, en el cual se utilizó como criterio de selección aquellos que alcanzaran un porcentaje de control igual o superior al 80 %. Se utilizó el mismo tipo de macetas plásticas, suelo y manejo dentro del invernadero descrito para el primer experimento. Los tratamientos incluyeron los herbicidas oxifluorfen a 480 g i.a. ha^{-1} y atrazina a 2000 g i.a. ha^{-1}, aplicados 0, 1, 2, 3 y 4 semanas antes de la siembra de la variedad de arroz Palmar 18 [ciclo 110 días, altura 105 cm, tolerante al acame, *Pyricularia oryzae* Cav., *Helminthosporium oryzae* L. y hoja blanca, pero susceptible a *Rhizoctonia solani* Kühn., *Pseudomonas* y *Sarocladium* W. Gams & D. Hawksworth (Oficina Nacional de Semillas, 2020)]. Se sembró esta variedad por ser una de las más utilizadas en el pacífico central y sur de Costa Rica (Corporación Arrocera Nacional, 2019), donde *O. latifolia* es problemática en el cultivo de arroz.

La aplicación se hizo con un aspersor eléctrico de espalda con boquilla anti deriva 110015, calibrado para una descarga de 300 L ha^{-1}. A la cuarta semana después de iniciadas las aplicaciones, se sembró la variedad de arroz Palmar 18, para lo cual se colocaron 20 semillas por maceta en tres pequeños surcos, enterradas a una profundidad aproximada de 1 cm.

Se utilizó un diseño experimental irrestricto al azar con 11 tratamientos (dos herbicidas y cinco tiempos de aplicación antes de la siembra de la variedad) más un testigo sin herbicida, hubo cinco repeticiones.

Las variables evaluadas fueron: fitotoxicidad (grado de daño a las plantas de la variedad Palmar 18) a las 2 y 4 semanas después de la siembra, para lo cual se utilizó una escala propia ajustada a la sintomatología de los herbicidas en evaluación (0 correspondió a plantas sanas, 1-20 % daños leves, 21-40 % daños moderados, 41-80 % daños severos, 81-99 % daños muy severos y 100 % muerte de todas las plantas); número de plantas vivas y biomasa aérea seca a la cuarta semana después de la siembra. Para determinar la biomasa seca, se cortaron las plantas de arroz a nivel del suelo, se introdujeron en bolsas de papel y se colocaron en una estufa a 70 °C. Se pesaron en una balanza analítica hasta alcanzar un peso constante. Para el análisis de los datos se siguió la misma metodología del experimento uno.

En ambos experimentos los sensores en el invernadero mostraron que siempre se presentaron condiciones adecuadas para el crecimiento de *O. latifolia* y Palmar 18, entre ellas, contenido de agua en el suelo (0,38 m^3/m^3), temperatura mínima nocturna de 18 °C y máxima diurna de 37 °C y radiación PAR suficiente, con valores máximos diarios entre 1100 y 1400 μmol m^{-2} s^{-1}.

Resultados

En el primer experimento el herbicida más eficaz para el control de *O. latifolia* fue oxifluorfen, ya que en el rango de dosis de 480 a 960 g i.a. ha^{-1} causó muerte de todas las plantas (Figura 1), por lo tanto, presentó un 100 % de control de esta maleza (Figura 2) y los valores de peso seco fueron cero (Cuadro 3). La atrazina a 2000 g i.a. ha^{-1} fue

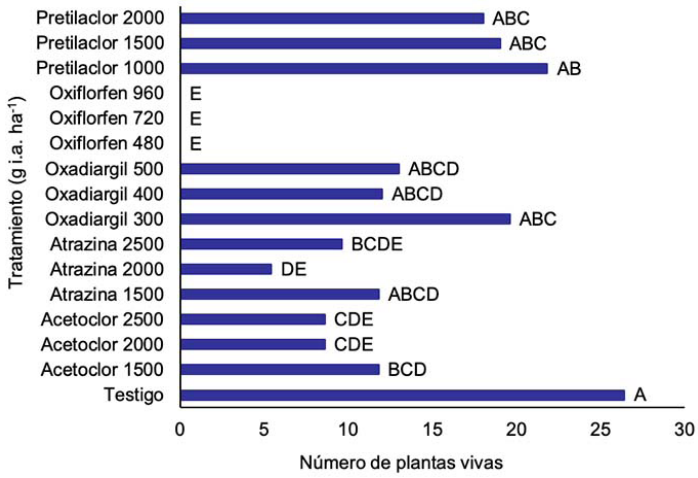

Figura 1. Cantidad de plantas de *Oryza latifolia* a los 30 días después de la aplicación de los herbicidas preemergentes. Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica. 2019.

Medias reales con letras iguales no son significativamente diferentes entre sí, según prueba de comparación de pares (p>0,05).

Figure 1. Amount of *Oryza latifolia* plants at 30 days after the application of the pre-emergent herbicides. Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica. 2019.

Real means with the same letters are not significantly different from each other, according to the paired comparison test (p>0.05).

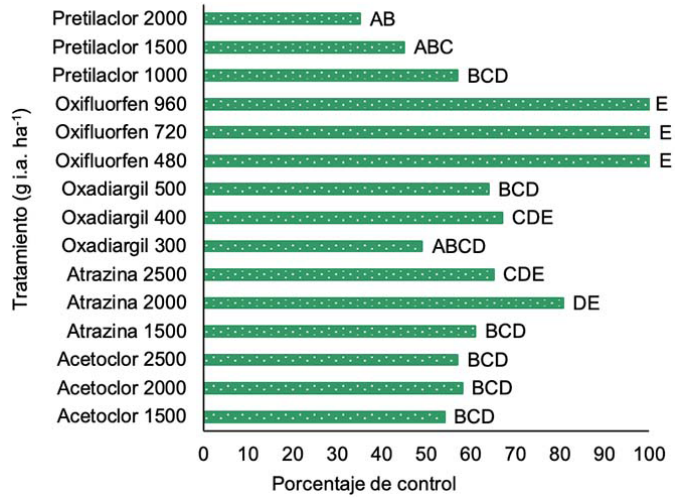

Figura 2. Porcentaje de control de *Oryza latifolia* a los 30 días después de la aplicación de los herbicidas preemergentes. Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica. 2019.

Medias reales con letras iguales no son significativamente diferentes entre sí, según prueba de comparación de pares (p>0,05).

Figure 2. *Oryza latifolia* control percentage at 30 days after the application of the pre-emergent herbicides. Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica. 2019.

Real means with the same letters are not significantly different from each other, according to the pair comparison test (p>0.05).

Cuadro 3. Biomasa aérea seca (g) de plantas vivas de *O. latifolia* a los 30 días después de la aplicación de los herbicidas preemergentes, según tratamiento. Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica. 2019.

Table 3. Dry aerial biomass (g) of *O. latifolia* live plants at 30 days after the application of the pre-emergent herbicides, according to treatment. Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica. 2019.

Herbicida (g i.a. ha^{-1})	Biomasa aérea seca (g)
Testigo sin herbicida	0,89 D
Acetoclor 1500	0,30 BC
Acetoclor 2000	0,20 ABC
Acetoclor 2500	0,26 BC
Atrazina 1500	0,21 ABC
Atrazina 2000	0,09 AB
Atrazina 2500	0,24 BC
Oxadiargil 300	0,59 CD
Oxadiargil 400	0,27 BC
Oxadiargil 500	0,31 BCD
Oxifluorfen 480	0 A
Oxifluorfen 720	0 A
Oxifluorfen 960	0 A
Pretilaclor 1000	0,44 CD
Pretilaclor 1500	0,55 CD
Pretilaclor 2000	0,54 CD

Medias con letras iguales no son significativamente diferentes entre sí, según prueba de Tukey (p>0,05). / Means with the same letters are not significantly different from each other, according to Tukey's test (p>0.05).

el segundo tratamiento que redujo significativamente el número de plantas y al menos 80 % de control de *O. latifolia* a los 30 días después de la aplicación (Figuras 1 y 2). Por esta razón, se decidió utilizar en el segundo experimento, el oxifluorfen en la dosis efectiva más baja (480 g i.a. ha^{-1}) y la atrazina a 2000 g i.a. ha^{-1}, por ser los tratamientos que cumplieron con el criterio propuesto de al menos 80 % de eficacia en el control de *O. latifolia* a los 30 días después de la aplicación.

Los herbicidas pretilaclor, acetoclor y oxadiargil, no fueron eficaces en el control de *O. latifolia* a los 30 días después de la aplicación (Figuras 1 y 2).

En el segundo experimento, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos con oxifluorfen y atrazina en el porcentaje de plantas vivas respecto al testigo. Sin embargo, estos herbicidas causaron fitotoxicidad en la variedad de arroz Palmar 18, en comparación con el testigo sin herbicida, con mayor daño cuando la siembra del arroz se hizo el día siguiente a la aplicación. Este daño disminuyó cuando la siembra se hizo una o más semanas después de la aplicación de los herbicidas (Figura 3 y Cuadro 4).

A los 30 días después de la siembra de la variedad de arroz Palmar 18, en todos los herbicidas aún se podían percibir daños leves en las plantas, pero estaban recuperándose (Figuras 4 y 5).

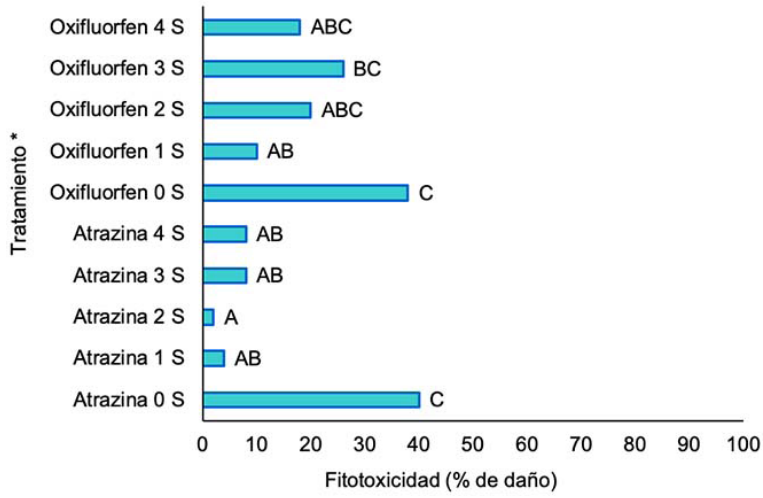

Figura 3. Porcentaje de fitotoxicidad observado en las plantas de arroz Palmar 18 (*Oryza sativa* L.), con oxifluorfen y atrazina a los 30 días después de la siembra. Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica. 2019.

* Atrazina (2000 g i.a. ha^{-1}), oxifluorfen (480 g i.a. ha^{-1}). S = semanas antes de la siembra del arroz en que fue aplicado el herbicida. Medias con letras iguales no son significativamente diferentes entre sí, según prueba de Tukey (p>0,05).

Figure 3. Phytotoxicity percentage observed in the Palmar 18 rice (*Oryza sativa* L.) variety plants, with oxyfluorfen and atrazine at 30 days after sowing. Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica. 2019.

*Atrazine (2000 g a.i. ha^{-1}), Oxyfluorfen (480 g a.i. ha^{-1}). S = weeks before sowing the rice in which the herbicide was applied. Means with the same letters are not significantly different from each other, according to Tukey's test (p>0.05).

Cuadro 4. Biomasa aérea seca de las plantas vivas de la variedad de arroz Palmar 18 (*Oryza sativa* L.) a los 30 días después de la siembra. Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica. 2019.

Table 4. Dry aerial biomass (g) of Palmar 18 rice (*Oryza sativa* L.) variety live plants at 30 days after sowing. Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica. 2019.

Tratamiento	Biomasa aérea seca (g)
Testigo sin herbicida	0,89 C
Atrazina 0 S*	0,42 A
Atrazina 1 S	0,86 BC
Atrazina 2 S	0,48 A
Atrazina 3 S	0,42 A
Atrazina 4 S	0,63 ABC
Oxifluorfen 0 S	0,50 A
Oxifluorfen 1 S	0,75 ABC
Oxifluorfen 2 S	0,50 A
Oxifluorfen 3 S	0,49 A
Oxifluorfen 4 S	0,52 AB

* S: Semanas antes de la siembra de la variedad de arroz Palmar 18 en que se aplicó el herbicida atrazina 2000 g i.a. ha^{-1} u oxifluorfen 480 g i.a. ha^{-1}. Medias con letras iguales no son significativamente diferentes entre sí, según prueba de Tukey (p>0,05). / *S: Weeks before sowing the Palmar 18 rice variety in which the herbicide Atrazine 2000 g i.a. ha^{-1} or Oxyfluorfen 480 g i.a. ha^{-1} was applied. Means with the same letters are not significantly different from each other, according to Tukey's test (p>0.05).

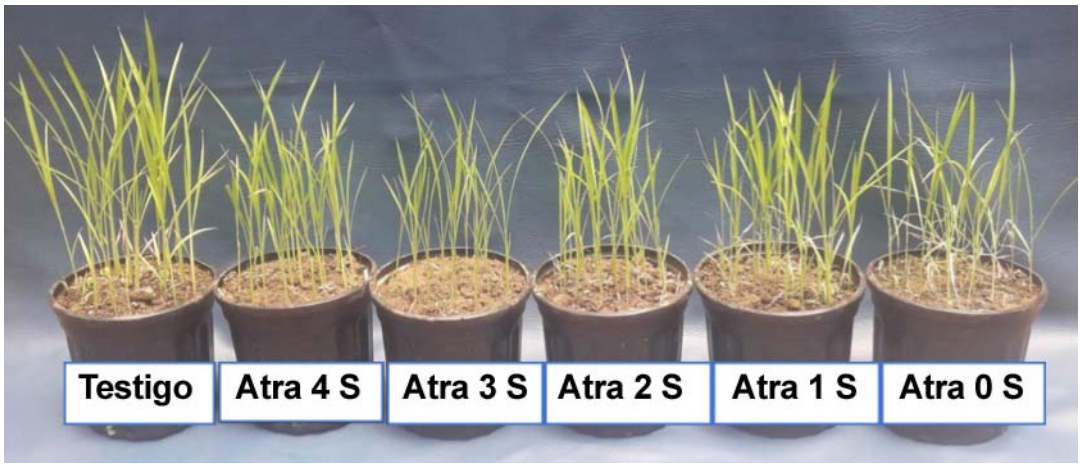

Figura 4. Efecto de la atrazina 2000 g i.a. ha^{-1} en la variedad de arroz Palmar 18 (*Oryza sativa* L.), aplicada en diferentes semanas antes de la siembra. Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica. 2019.

El orden de las macetas plásticas de izquierda a derecha: testigo, y aplicación de atrazina a las 4, 3, 2, 1 y 0 semanas antes de la siembra de la variedad de arroz Palmar 18. Fotografía tomada a los 30 días después de la siembra del arroz.

Figure 4. Effect of atrazine 2000 g a.i. ha^{-1} in the Palmar 18 rice (*Oryza sativa* L.) variety applied at different weeks before sowing. Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica. 2019.

The plastic pots order from left to right: control, and atrazine application at 4, 3, 2, 1, and 0 weeks before sowing Palmar 18 rice variety. Photography taken 30 days after sowing the rice.

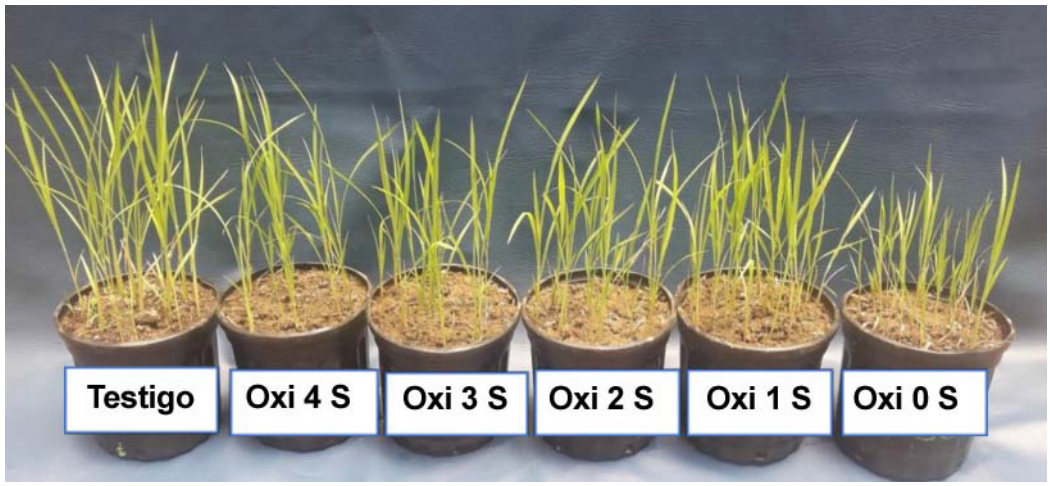

Figura 5. Efecto del oxifluorfen 480 g i.a. ha^{-1} en la variedad de arroz Palmar 18 (*Oryza sativa* L.), aplicado en diferentes semanas antes de la siembra. Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica. 2019.

El orden de las macetas plásticas de izquierda a derecha: testigo sin herbicida, y aplicación de oxifluorfen a las 4, 3, 2, 1 y 0 semanas antes de la siembra de la variedad de arroz Palmar 18. Fotografía tomada a los 30 días después de la siembra del arroz.

Figure 5. Effect of oxifluorfen 480 g a.i. ha^{-1} in the Palmar 18 rice (*Oryza sativa* L.) variety applied on different weeks before sowing. Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica. 2019.

The plastic pots order from left to right: control, and application of oxyfluorfen at 4, 3, 2, 1, and 0 weeks before sowing the Palmar 18 rice variety. Photography taken 30 days after sowing the rice.

Discusión

El oxifluorfen aplicado en preemergencia, aún en la dosis más baja evaluada (480 g i.a. ha^{-1}), fue el tratamiento más eficaz en el control de *O. latifolia* (100 % de control). Sin embargo, no se logró determinar con claridad el tiempo de espera para la siembra del arroz Palmar 18, ya que aún en la siembra cuatro semanas después de su aplicación se observaron daños leves en las plantas de esta variedad.

Al respecto, no se encontraron referencias específicas de la eficacia de este herbicida en *O. latifolia*, pero los resultados observados en este estudio, son congruentes con Yun et al. (2017), quienes indicaron entre un 87 y 93 % de control de arroz maleza con oxifluorfen a la dosis de 200 g i.a. ha^{-1}. Además, se mencionó que el oxifluorfen a las dosis de 300 y 400 g i.a. ha^{-1}, fueron eficaces contra *Echinochloa colona* (L.), *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. y *Eleusine indica* (L.) Gaertn. en el cultivo de arroz (Poddar et al., 2014).

El uso de dosis de oxifluorfen a 200 g i.a. ha^{-1} controló hasta 93 % el arroz maleza (Yun et al., 2017), por lo que se sugiere evaluar en próximas investigaciones y bajo condiciones de campo dosis menores a las consideradas en el presente estudio, en busca de mantener la eficacia del control de *O. latifolia*, reducir el tiempo de espera para la siembra del arroz comercial, costos, carga química y reducir el impacto ambiental. Asimismo, en próximas evaluaciones, se deben considerar en la reducción de las dosis del oxifluorfen las características físicas del suelo, en especial el contenido de arcillas y materia orgánica, para no perder eficacia del herbicida en el control de la maleza.

Con respecto al tiempo de espera para sembrar arroz cultivado después de aplicar oxifluorfen, los datos en este estudio difieren con lo indicado por Cuevas-Medina (2015), que mencionó un período de espera de ocho a quince días para evitar daños al cultivo de arroz, así como, con Poddar et al. (2014) quienes indicaron tiempos de espera más cortos, pero con dosis de oxifluorfen menores y en suelo limo arenoso. Este tipo de discrepancias puede deberse a las condiciones de suelo y ambiente en que se realizaron los diferentes estudios.

Se debe indicar que este estudio fue realizado bajo condiciones de invernadero y los datos de daño al arroz se registraron hasta los 30 días después de la siembra, momento en el cual las plantas se mantuvieron en crecimiento, de haberlas dejado por más tiempo es probable que habrían alcanzado una mayor recuperación. En este sentido, se mencionó que el oxifluorfen en dosis de 150 a 400 g i.a. ha^{-1} aplicado en condiciones de campo en un suelo franco limoso, tres a cuatro días antes del trasplante del arroz, causó daños iniciales a las plantas, pero estas se recuperaron y dieron un rendimiento similar al testigo sin malezas (Abraham et al., 2010; Sathya et al., 2017).

En Costa Rica, en fincas comerciales de arroz, se ha observado que los productores, luego de aplicar oxifluorfen, esperan entre dos y tres semanas para sembrar las variedades de arroz (Garita, I., comunicación personal, 15 de junio, 2020) y el efecto de este herbicida en el cultivo es menor que la atrazina, debido a que es poco móvil en el suelo y desde hace años se conoce que se absorbe poco por la raíz (Vanstone & Stobbe, 1978). Además, el arroz al emerger del suelo tiene la plúmula envuelta por el coleóptilo que le da una forma de aguja que le confiere poca superficie de contacto de las hojas con la película del herbicida.

En condiciones donde hay disponibilidad de riego y con problemas de *O. latifolia*, se podría utilizar el oxifluorfen para el control de esta maleza, mediante la técnica descrita por Soto y Agüero (1992), que consiste en aplicar el oxifluorfen sobre suelo saturado y luego sembrar al voleo la semilla pregerminada del arroz. Estos autores indicaron que, debido a la baja movilidad del oxifluorfen en el suelo y poca absorción radical, no se dan problemas de fitotoxicidad, salvo que en áreas inundadas pueden ocurrir daños a los brotes de las variedades del arroz en germinación.

Con respecto a la atrazina, en este estudio se alcanzó el 80 % de eficacia en el control de *O. latifolia* con la dosis de 2000 g i.a. ha^{-1}. Aunque no se encontraron referencias de la eficacia de la atrazina en *O. latifolia*, resultados similares fueron observados en el control de arroz maleza por Esqueda (2000), quien mencionó que la atrazina a 1800 g i.a. ha^{-1} aplicada en preemergencia, controló el arroz rojo en un 90 %.

La eficacia de la atrazina en el control de arroz maleza también ha sido reportada en cultivos donde este herbicida es selectivo, tal como lo indicaron Galon et al. (2014), quienes obtuvieron 97 % de control de arroz maleza a los 30 días después de la aplicación posemergente de atrazina, en dosis de 2500 g i.a. ha^{-1} en el cultivo de maíz; también Andres et al. (2012) reportaron un 90 % de control de arroz rojo y *E. crus-galli* con atrazina 1500 a 3000 g i.a. ha^{-1}, aplicado en preemergencia de la maleza y el cultivo de sorgo en un suelo alfisol.

En este estudio se observaron daños de leves a moderados en la variedad de arroz Palmar 18, sembrado entre las 0 y 4 semanas después de la aplicación de la atrazina a 2000 g i.a. ha^{-1}. Datos que también coinciden con lo indicado por algunos autores como Cuevas-Medina (2015), quien señaló que con atrazina es necesario verificar el tiempo de espera para la siembra de cultivares de arroz, ya que podría ser superior a los 45 días según la dosis utilizada.

Cuando llueve, la atrazina podría lixiviarse en el perfil del suelo y posicionarse en la zona de crecimiento radical, por tanto, en esta condición el daño por intoxicación podría ser más severo (Garita, I., comunicación personal, 15 de junio, 2020). Dado que en esta investigación el suelo se mantuvo en saturación (anoxia) y en un sistema cerrado, donde el agua y las macetas plásticas aplicadas con atrazina estuvieron dentro del bancal creado para proporcionar riego por capilaridad, es posible que el mayor daño observado en las plantas de arroz se deba a que la atrazina no se degradó lo suficiente y fue absorbida por las raíces (Mueller et al., 2020; Wang et al., 2018).

La variabilidad observada en la literatura con respecto a los tiempos de espera para sembrar cultivares luego de la aplicación de oxifluorfen y atrazina, puede deberse a que la persistencia de estos herbicidas es afectada por el contenido de arcilla, pH, materia orgánica del suelo, actividad microbiana, condiciones climáticas, dosis del herbicida y las propiedades químicas de cada uno de ellos (Cara et al., 2017; Hansen et al., 2013; Houot et al., 2000; Shaner, 2014; Sharma et al., 2013; Wang et al., 2018).

Para determinar el tiempo de espera en condiciones de campo, se acostumbra aplicar el herbicida en el área objetivo y cada semana sembrar microparcelas de 1 m^2 con la variedad de arroz de interés en diferentes puntos del lote, monitorear el cultivo y, cuando no se presenten daños, se considera el momento óptimo para sembrar el lote (Herrera, F., comunicación personal, 20 de julio, 2020).

Una situación particular ocurre con la atrazina, ya que las plantas de arroz pueden germinar y emerger de manera normal en el suelo tratado con este herbicida y los síntomas de toxicidad pueden aparecer entre cinco a diez días después de la emergencia, por lo que se deben hacer los monitoreos durante ese período. Esto ocurre porque las plantas al inicio crecen a expensas de los nutrimentos acumulados en la semilla, pero una vez que fotosintetizan, absorben nutrientes y agua del suelo, pueden absorber la atrazina y causar daños al interferir en el proceso fotosintético (Herrera, F., comunicación personal, 20 de julio, 2020).

Con respecto a los otros herbicidas preemergentes evaluados, debido a que ninguno alcanzó 80 % de control de *O. latifolia*, no fueron incluidos en el experimento de tiempos de espera. El oxadiargil y el acetoclor, si bien no cumplieron con el criterio de selección establecido en este experimento, no deberían descartarse, por cuanto se han reportado resultados positivos en el control de arroz maleza (*O. sativa*) con estos herbicidas (Ahmed & Chauhan, 2015; Esqueda, 2000; Norsworthy et al., 2019; Ortiz & López, 2011).

Conclusión

El oxifluorfen fue el herbicida con mayor eficacia para el control de *O. latifolia*, pero no fue posible definir con claridad el tiempo de espera después de su aplicación para la siembra de la variedad de arroz Palmar 18, sin que se presenten daños al cultivo.

Referencias

Abraham, C., Prameela, P., & Priya-Lakshmi, M. (2010). Efficacy of oxyfluorfen for weed control in transplanted rice. *Journal of Crop and Weed, 6*(2), 67–71. https://www.cropandweed.com/archives/2010/vol6issue2/15.pdf

Ahmed, S., & Chauhan, B. (2015). Efficacy and phytotoxicity of different rates of oxadiargyl and pendimethalin in dry-seeded rice (*Oryza sativa* L.) in Bangladesh. *Crop Protection, 72*, 169–174. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.03.021

Andres, A., Concenço, G., Theisen, G., Galon, L., & Tesio, F. (2012). Management of red rice (*Oryza sativa*) and barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) grown with sorghum with reduced rate of atrazine and mechanical methods. *Experimental Agriculture, 48*(4), 587–596. https://doi.org/10.1017/S0014479712000671

Arce-Cascante, C. R. (2014). *Verificación de la resistencia de poblaciones de Echinochloa colona a la formulación de los herbicidas Imazapic + Imazapir que inhiben la ALS (acetolactato sintetasa) y alternativas para su control químico en arroz (Oryza sativa L.)* [Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica]. Repositorio Sistema de Bibliotecas, Documentación e Información – Universidad de Costa Rica. http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/2797

Cara, I., Lipsa, F., Cara, M., Burtan, L., Ţopa, D., & Jitareanu, G. (2017). Dissipation of acetochlor and residue analysis in maize and soil under field conditions. *AgroLife Scientific Journal, 6*(1), 48–55. http://agrolifejournal.usamv.ro/pdf/vol.VI_1/vol6_1.pdf

Chauhan, B., Awan, T., Abugho, S., Evengelista, G., & Yadav, S. (2015). Effect of crop establishment methods and weed control treatments on weed management, and rice yield. *Field Crops Research, 172*, 72–84. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.12.011

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2009, 06 agosto). *Oryza latifolia Desv*. http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/poaceae/oryza-latifolia/fichas/ficha.htm

Corporación Arrocera Nacional. (2019). *Informe estadístico período 2018-2019*. https://www.conarroz.com/userfile/file/INFORME_ANUAL_ESTADISTICO_PERIODO_2018_2019.pdf

Cuevas-Medina, A. (2015, setiembre 17). *Alternativas de manejo de poblaciones de arroz rojo en el programa AMTEC*. Engormix. https://www.engormix.com/agricultura/articulos/alternativas-manejo-poblaciones-arroz-t32473.htm

Durand-Morat, A., Lanier-Nalley, L., & Thoma, G. (2018). The implications of red rice on food security. *Global Food Security, 18*, 62–75. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2018.08.004

Encyclopedia of Life. (2018, 25 noviembre). *Broadleaf rice*. https://eol.org/pages/1115099

Esqueda, V. A. (2000). Control químico del arroz rojo (*Oryza sativa* L.) en arroz, con herbicidas no selectivos protectantes a la semilla. *Agronomía Mesoamericana, 11*(1), 57–61. https://doi.org/10.15517/am.v11i1.17344

Fleck, N., Menezes, V., & Ramirez H. (2001). *Controle químico seletivo de angiquinho e arroz-vermelho em arroz irrigado utilizando o sistema Clearfield®* [Congresso Brasileiro de arroz irrigado]. Reunião da cultura de arroz irrigado, Santa Catarina, Brasil. https://n9.cl/jk9q8

Flora de Nicaragua. (2021, 23 de junio). *Oryza latifolia Desv*. Tropicos®. http://legacy.tropicos.org/name/25512231?projectid=7

Galon, L., Concenço, G., Juárez, J., Freire, R., & Andres, A. (2014). Imidazolinone-tolerant maize as a tool for weed control in

flooded rice production systems. *Maydica, 59*(2), 129–136. http://www.maydica.org/articles/59_129.pdf

Hansen, A., Treviño Quintanilla, L., Márquez Pacheco, H., Villada Canela, M., González Márquez, L. Guillén Garcés, R., & Hernández Antonio, A. (2013). Atrazina: un herbicida polémico. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 29*, 65–84. https://bit.ly/3tlnEvI

Houot, S., Topp, E., Yassir, A., & Soulas, G. (2000). Dependence of accelerated degradation of atrazine on soil pH in French and Canadian soils. *Soil Biology and Biochemistry, 32*(5), 615–625. https://doi.org/10.1016/S0038-0717(99)00188-1

La Selva Florula Digital (s.f.). *Páginas de especies: Oryza latifolia: Taxonomía*. https://n9.cl/gy3ls

Lancaster, Z. C., Norsworthy, J. K., & Scott, C. R. (2018). Evaluation of Quizalofop-Resistant rice for Arkansas rice production systems. *International Journal of Agronomy, 2018*, Artículo 6315865. https://doi.org/10.1155/2018/6315865

Mueller, T. C., Kincer, D. R., & Steckel, L. E. (2020). Atrazine residues in flooded and nonflooded soil and effects on soybean. *Weed Technology, 35*(2), 196–201. https://doi.org/10.1017/wet.2020.107

Noldin, J., Eberhard, D., & Schiocchet, M. (2007). Nova tecnologia para o controle do arroz-vermelho: o sistema clearfield de produção de arroz irrigado, sistema pregerminado. *Agropecuaria Catarinense, 20*(2), 54–57. https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/RAC/article/view/890

Norsworthy, J. K., Fogleman, M., Barber, T., & Gbur, E. E. (2019). Evaluation of acetochlor-containing herbicide programs in imidazolinone-and quizalofop-resistant rice. *Crop Protection, 122*, 98–105. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.04.025

Oficina Nacional de Semillas. (2020). *Características Varietales y Agronómicas de los Materiales de Arroz pertenecientes al Registro de Variedades Comerciales (RVC) de la ONS*. http://ofinase.go.cr/certificacion-de-semillas/certificacion-de-semilla-de-arroz/

Ortiz, A., & López, L. (2011). Control de arroz maleza. *Agronomía Tropical, 61*(3-4), 199–214.

Picado, G. M. (2020). *Eficacia de herbicidas preemergentes y posemergentes para el control de Oryza latifolia Desv. (arroz pato) bajo condiciones de invernadero* [Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica]. Catálogo del Sistema de Bibliotecas, Documentación e Información (SIBDI).

Poddar, R., Ghosh, R., Paul, T., & Bera, S. (2014). Weed management through oxyfluorfen in direct seeded rice and its impact on soil micro-organisms and succeeding crops. *Annals of Agricultural Research, 35*(3), 337–342.

Sathya, P., Chinnusamy, C., Murali, P., & Janaki, P. (2017). Pre-emergence herbicide of oxyfluorfen on Weed control in transplanted rice. *International Journal of Chemical Studies, 5*(5), 271–275. https://bit.ly/3KVpolj

Sánchez, E., Montiel, M., & Espinoza, A. (2003). Ultrastructural morphologic description of the wild rice species *Oryza latifolia* (Poaceae) in Costa Rica. *Revista de Biología Tropical, 51*(2), 345–353. https://doi.org/10.15517/rbt.v54i2.13878

Sha, X. Y., Linscombe, S. D., & Groth, D. E. (2007). Field Evaluation of Imidazolinone-Tolerant Clearfield Rice (*Oryza sativa* L.) at Nine Louisiana Locations. *Crop Science, 47*(3), 1177–1185. https://doi.org/10.2135/cropsci2006.09.0592

Shaner, D. (Ed.). (2014). *Herbicide Handbook* (10th ed.). Weed Science Society of America.

Sharma, N., Reeetu, D., & Thakur, N. (2013). Persistence of pretilachlor in soil and its terminal residues in rice crop. *Pesticide Research Journal, 25*(2), 177–180.

Soto, A., & Agüero, R. (1992). *Combate químico de malezas en el cultivo del arroz*. Editorial Universidad de Costa Rica.

Vanstone, D. E., & Stobbe, E. H. (1978). Root Uptake, Translocation, and metabolism of nitrofluorfen and oxyfluorfen by fababeans (*Vicia faba*) and green foxtail (*Setaria viridis*). *Weed Science, 26*(4), 389–392. https://www.jstor.org/stable/4043145

Wang, H., Cao, X., Li, L., Fang, Z., & Li, X. (2018). Augmenting atrazine and hexachlorobenzene degradation under different soil redox conditions in a bioelectrochemistry system and an analysis of the relevant microorganisms. *Ecotoxicology and Environmental Safety, 147*, 735–741. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.09.033

Yun, Y., Jang, S., Kim, S., Jung, H., Hyun, K., Shin, D., & Kuk, Y. (2017). Control of red rice and sulfonylurea-resistant weeds in culture of Protox inhibitor herbicide resistant transgenic rice. *Journal of Food, Agriculture and Environment, 15*(3-4), 78–87. https://doi.org/10.1234/4.2017.5465

Zamora, A., Barboza, C., Lobo, J., & Espinoza, A. (2003). Diversity of native rice (*Oryza* Poaceae): species of Costa Rica. *Genetic Resources and Crop Evolution, 50*, 855–870. https://doi.org/10.1023/A:1025998801637