

Eficacia de herbicidas preemergentes y posembrantes para el control de
Oryza latifolia Desv. (“arroz pato”) bajo condiciones de invernadero

Grettel María Picado Arroyo

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AGRÓNOMO CON EL GRADO DE LICENCIADA EN AGRONOMÍA

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROALIMENTARIAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

2020

Eficacia de herbicidas preemergentes y posembrantes para el control de
Oryza latifolia Desv. (“arroz pato”) bajo condiciones de invernadero

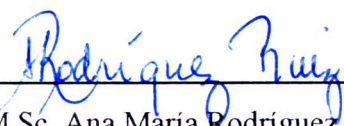
Grettel María Picado Arroyo

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGRÓNOMO
CON EL GRADO DE LICENCIADA EN AGRONOMÍA



Ph.D. Franklin Herrera Murillo

DIRECTOR DE TESIS



M.Sc. Ana María Rodríguez Ruiz

MIEMBRO DEL TRIBUNAL



M.Sc. Griselda Arrieta Espinoza

MIEMBRO DEL TRIBUNAL



M.Sc. Israel Garita Cruz

MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Ph.D. Luis Gómez Alpizar

DIRECTOR DE ESCUELA



B.Sc. Grettel María Picado Arroyo

SUSTENTANTE

Dedicatoria

A Dios por todas las grandes bendiciones que me ha dado en este trayecto de vida.

A mi madre Adela Arroyo Fernández por siempre ser un apoyo incondicional y la persona más amorosa que Dios me dio. A mi padre Leonardo Picado Solórzano por su amor, esfuerzo y apoyo. A mis hermanos Ronald, Sandra y JoHanna, y a mis sobrinos Emily y Yeltsin.

Al Ph.D Franklin Herrera Murillo por su amistad, paciencia, apoyo, consejos y acompañamiento durante todo este proceso. Muchas gracias por las enseñanzas que me brindaron crecimiento personal y profesional.

A Estela Herrera Salas porque sin su ayuda, llegar a la Universidad de Costa Rica seguiría siendo un sueño muy lejano.

Agradecimientos

A Juan Carlos Alfaro Morera, Gerardo García López y Mauricio Matamoros Vega del Programa de Malezas de la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno (EEAFBM), por toda su ayuda y colaboración en la parte práctica de esta investigación.

Al M.Sc. Hernán Rodríguez Arias por su disposición y colaboración en información y materiales que fueron importantes en la realización de esta investigación.

Al M.Sc. Juan Ramón Navarro Flores por su paciencia y disposición en colaborar con las dudas estadísticas que se presentaron durante esta investigación.

A la M.Sc. Ana María Rodríguez Ruiz por su apoyo como miembro del Comité Asesor; gracias por su conocimiento, observaciones, consejos y amistad.

A la M.Sc. Griselda Arrieta Espinoza por su apoyo como miembro del Comité Asesor, por su interés en esta investigación, observaciones, consejos y aportes de conocimiento.

Al M.Sc. Israel Garita Cruz por su apoyo como miembro del Comité Asesor, por mostrar interés en participar como revisor externo de esta investigación, por sus consejos y aportes de gran conocimiento.

A mis amigos y colegas más cercanos, por ser parte esencial durante toda mi carrera universitaria. Gracias por su amistad, por darme ánimo y esperanza en los momentos que más lo necesité.

A todas las personas que de una u otra forma me ayudaron a alcanzar el sueño de ser una profesional en Agronomía.

Índice general

Resumen	xii
1. Introducción	14
2. Marco teórico.....	16
2.1. Especies no cultivadas del género <i>Oryza</i> en Costa Rica	16
2.2. <i>Oryza latifolia</i> Desv.....	17
2.2.1. Descripción y taxonomía	17
2.2.2. Características genéticas.....	18
2.3. Daños causados por <i>O. latifolia</i> en el arroz comercial	19
2.4. Estrategias de manejo sobre <i>O. latifolia</i>	20
2.5. Herbicidas utilizados en la investigación	21
2.5.1. Oxifluorfen	21
2.5.2. Pretilaclor.....	22
2.5.3. Acetoclor	23
2.5.4. Atrazina	24
2.5.5. Oxadiargil.....	25
2.5.6. Imazapir e imazapic.....	26
2.5.7. Quizalofop-p-etil	26
2.5.8. Fenoxaprop-p-etil	27
2.5.9. Profoxidim.....	28
2.5.10. Setoxidim.....	29
2.6. Arroz variedad Palmar 18.....	29
2.7. Justificación.....	30
3. Materiales y métodos.....	31
3.1. Ubicación de los experimentos.....	31

3.2. Obtención de la semilla de <i>O. latifolia</i> utilizada en los experimentos 1 y 3, y tratamientos para la ruptura de latencia	32
3.3. Características del suelo utilizado y manejo general de los experimentos.....	33
3.4. Experimento 1. Eficacia de herbicidas preemergentes no selectivos en el control de <i>O. latifolia</i>	35
3.5. Experimento 2. Determinación del tiempo de espera para la siembra de arroz Palmar 18, luego de la aplicación de los herbicidas preemergentes no selectivos	36
3.6. Experimento 3. Eficacia en el control de <i>O. latifolia</i> , de herbicidas posemergentes con selectividad limitada al arroz comercial	37
3.7. Experimento 4. Efecto en la variedad de arroz Palmar 18, de los herbicidas posemergentes con selectividad limitada, seleccionados en el experimento 3	39
3.8. Análisis estadístico	40
4. Resultados.....	40
4.1. Experimento 1. Eficacia de herbicidas preemergentes no selectivos en el control de <i>O. latifolia</i>	40
4.2. Experimento 2. Determinación del tiempo de espera para la siembra de arroz Palmar 18, luego de la aplicación de los herbicidas preemergentes no selectivos	45
4.3. Experimento 3. Eficacia en el control de <i>O. latifolia</i> , de herbicidas posemergentes de selectividad limitada al arroz comercial	50
4.4. Experimento 4. Efecto en la variedad de arroz Palmar 18, de los herbicidas posemergentes con selectividad limitada, seleccionados en el experimento 3	54
5. Discusión	60
5.1. Tratamientos para la ruptura de latencia.....	60
5.2. Experimento 1. Eficacia de herbicidas preemergentes no selectivos en el control de <i>O. latifolia</i>	60
5.3. Experimento 2. Determinación del tiempo de espera para la siembra de arroz Palmar 18, luego de la aplicación de los herbicidas preemergentes no selectivos	61

5.4. Experimento 3. Eficacia en el control de <i>O. latifolia</i> , de herbicidas posemergentes de selectividad limitada al arroz comercial	64
5.5. Experimento 4. Efecto en la variedad de arroz Palmar 18, de los herbicidas posemergentes con selectividad limitada, seleccionados en el experimento 3	67
6. Conclusiones	69
7. Sugerencias	70
8. Literatura citada	70
9. Anexos	80

Índice de cuadros

Cuadro 1: Porcentaje de germinación, según tratamiento de ruptura de latencia aplicado sobre la semilla de <i>O. latifolia</i> , población Hacienda Mojica, Guanacaste. Abril, 2019.....	33
Cuadro 2: Análisis de textura del suelo utilizado durante la investigación, proveniente de Hacienda Mojica, Guanacaste, 2019.....	34
Cuadro 3: Análisis químico del suelo utilizado durante la investigación, proveniente de Hacienda Mojica, Guanacaste, 2019.....	34
Cuadro 4: Análisis de materia orgánica del suelo utilizado durante la investigación, proveniente de Hacienda Mojica, Guanacaste, 2019.....	34
Cuadro 5: Herbicidas preemergentes no selectivos utilizados en el control de <i>O. latifolia</i> y sus respectivas dosis. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.....	36
Cuadro 6: Herbicidas posemergentes utilizados en el control de <i>O. latifolia</i> y sus respectivas dosis. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.....	38
Cuadro 7: Peso seco de las plantas vivas de <i>O. latifolia</i> a los 30 dda, según tratamiento herbicida preemergente y dosis correspondiente, incluido el testigo sin aplicación de herbicidas. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.....	43

Cuadro 8: Peso seco de plantas vivas de arroz Palmar 18 a los 30 dds, según tratamiento herbicida preemergente y tiempo de espera, incluido el testigo sin aplicación de herbicidas. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.....	48
Cuadro 9: Cantidad de plantas vivas y peso seco (g) de <i>O. latifolia</i> a los 30 dda, según tratamientos con herbicidas posemergentes y el testigo sin herbicida. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.....	50

Índice de figuras

Figura 1: Cantidad de plantas vivas de <i>O. latifolia</i> a los 30 dda, según tratamientos con herbicidas preemergentes. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.....	41
Figura 2: Porcentaje de control de <i>O. latifolia</i> a los 30 dda, según tratamientos con herbicidas preemergentes. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.....	42
Figura 3: Efecto del oxifluorfen en <i>O. latifolia</i> a los 30 dda. El orden de las macetas plásticas, de izquierda a derecha, corresponde al testigo y las dosis 480, 720 y 960 g ia/ha. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.....	44
Figura 4: Efecto de la atrazina en <i>O. latifolia</i> a los 30 dda. El orden de las macetas plásticas, de izquierda a derecha, corresponde al testigo y las dosis 1500, 2000 y 2500 g ia/ha. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.....	44
Figura 5: Cantidad de plantas vivas de arroz Palmar 18 a los 30 dds, según tratamiento herbicida preemergente y tiempo de espera, incluido el testigo sin aplicación. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.....	46
Figura 6: Grado de daño (medido con la escala HOECOL) de las plantas de arroz Palmar 18 a los 30 dds, según tratamiento herbicida preemergente y tiempo de espera. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.....	47
Figura 7: Efecto de la atrazina en el arroz Palmar 18 aplicado en diferentes momentos antes de la siembra. Fotografía tomada a los 30 dds. El orden de las macetas plásticas de izquierda a derecha: testigo, y siembra del arroz Palmar 18 a las semanas 4, 3, 2, 1 y 0 después de la aplicación. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.....	49

Figura 8: Efecto del oxifluorfen en el arroz Palmar 18 aplicado en diferentes momentos antes de la siembra. Fotografía tomada a los 30 dds. El orden de las macetas plásticas de izquierda a derecha: testigo, y siembra del arroz Palmar 18 a las semanas 4, 3, 2, 1 y 0 después de la aplicación. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.....	49
Figura 9: Porcentaje de control de <i>O. latifolia</i> a los 30 dda, según tratamiento con herbicidas posemergentes. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.....	51
Figura 10: Efecto del imazapir + imazapic en <i>O. latifolia</i> a los 30 dda. El orden de las macetas plásticas, de izquierda a derecha, corresponde al testigo y las dosis 120, 160 y 200 g ia/ha. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.....	52
Figura 11: Efecto del quizalofop-p-etil en <i>O. latifolia</i> a los 30 dda. El orden de las macetas plásticas, de izquierda a derecha, corresponde al testigo y las dosis 70, 100 y 130 g ia/ha. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.....	52
Figura 12: Efecto del fenoxaprop en <i>O. latifolia</i> a los 30 dda. El orden de las macetas plásticas, de izquierda a derecha, corresponde al testigo y las dosis 50, 70 y 90 g ia/ha. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.....	53
Figura 13: Efecto del setoxidim en <i>O. latifolia</i> a los 30 dda. El orden de las macetas plásticas, de izquierda a derecha, corresponde al testigo y las dosis 125, 225 y 325 g ia/ha. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.....	53
Figura 14: Efecto del profoxidim en <i>O. latifolia</i> a los 30 dda. El orden de las macetas plásticas, de izquierda a derecha, corresponde al testigo y las dosis 150, 200 y 250 g ia/ha. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.....	54
Figura 15: Altura del dosel de plantas de arroz Palmar 18 a los 30 dda, según tratamiento herbicida posemergente y fenología. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.....	56
Figura 16: Peso seco de plantas vivas de arroz Palmar 18 a los 30 dda, según tratamiento herbicida posemergente y testigo sin aplicación. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.....	57

Figura 17: Grado de daño (medido con la escala HOECOL) en plantas de arroz Palmar 18 a los 15 (A) y 30 (B) dda, según tratamiento herbicida posemergente y fenología. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.....	58
Figura 18: Efecto del profoxidim 150 g ia/ha (Pro), setoxidim 125 g ia/ha (Set) y fenoxaprop 50 g ia/ha (Fen) aplicados en estado fenológico de 2-3 (A) y 4-5 (B) hojas en el arroz Palmar 18, en comparación con el testigo sin aplicar. Fotografías tomadas a los 30 dda. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.....	59

Índice de anexos

Anexo 1: Escala de la Asociación Latinoamericana de Malezas para la evaluación visual sobre el porcentaje de control de malezas (ALAM, 1974).....	80
Anexo 2: Escala HOECOL de evaluación cualitativa para el índice de daño causado por herbicidas en plantas (Pavón, 1992).....	81
Anexo 3: Efecto del preemergente pretilaclor en <i>O. latifolia</i> a los 30 dda. El orden de las macetas plásticas, de izquierda a derecha, corresponde al testigo y las dosis 1000, 1500 y 2000 g ia/ha. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.....	82
Anexo 4: Efecto del preemergente acetoclor en <i>O. latifolia</i> a los 30 dda. El orden de las macetas plásticas, de izquierda a derecha, corresponde al testigo y las dosis 1500, 2000 y 2500 g ia/ha. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.....	82
Anexo 5: Efecto del preemergente oxadiargil en <i>O. latifolia</i> a los 30 dda. El orden de las macetas plásticas, de izquierda a derecha, corresponde al testigo y las dosis 300, 400 y 500 g ia/ha. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.....	83
Anexo 6: Datos de la medición de sensores de radiación PAR ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$), temperatura del suelo ($^{\circ}\text{C}$) y contenido de agua (m^3/m^3) en el establecimiento del experimento 1: Eficacia de herbicidas preemergentes no selectivos en el control de <i>O. latifolia</i> . EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.....	84
Anexo 7a: Datos de la medición de sensores de radiación PAR ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$), temperatura del suelo ($^{\circ}\text{C}$) y contenido de agua (m^3/m^3) en el establecimiento del experimento 2:	

Determinación del tiempo de espera para la siembra de arroz Palmar 18 luego de la aplicación de los herbicidas preemergentes no selectivos. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.....	85
Anexo 7b: Datos de la medición de sensores de radiación PAR ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$), temperatura del suelo ($^{\circ}\text{C}$) y contenido de agua (m^3/m^3) en el establecimiento del experimento 2: Determinación del tiempo de espera para la siembra de arroz Palmar 18 luego de la aplicación de los herbicidas preemergentes no selectivos. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.....	86
Anexo 8: Datos de la medición de sensores de radiación PAR ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$), temperatura del suelo ($^{\circ}\text{C}$) y contenido de agua (m^3/m^3) en el establecimiento del experimento 3: Eficacia de herbicidas posemergentes de selectividad limitada en el control de <i>O. latifolia</i> . EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.....	87
Anexo 9: Datos de la medición de sensores de radiación PAR ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$), temperatura del suelo ($^{\circ}\text{C}$) y contenido de agua (m^3/m^3) en el establecimiento del experimento 4: Efecto de los herbicidas posemergentes de selectividad limitada en la variedad Palmar 18. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.....	88

Resumen

Oryza latifolia Desv. se considera una maleza de importancia en varias fincas arroceras del Pacífico Sur, Central y Zona Norte de Costa Rica. Su manejo ha sido poco exitoso debido a la escasa disponibilidad de herbicidas eficaces para su control y selectivos al arroz comercial, debido a que ambos pertenecen al género *Oryza*. Con el propósito de generar información para el posible uso de herbicidas preemergentes y posembrantes para el control de esta maleza, de enero a octubre del 2019, se realizaron cuatro experimentos en el invernadero “D” de la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica. Debido a que la semilla de *O. latifolia* presentó latencia, fue necesario establecer un experimento previo para seleccionar el tratamiento que permitiera la mayor germinación (65%) y utilizarlo en los experimentos 1 y 3. Éste consistió en colocar la semilla 1 h a 40 °C, luego sumergirla en una solución de KNO₃ al 0,5% durante 24 h y dejarla reposar fuera de la solución 2 h antes de la siembra. En todos los casos se utilizaron macetas plásticas de 3 litros de capacidad, llenas con suelo arcilloso extraído de lotes sin presencia de *O. latifolia* en Hacienda Mojica, Guanacaste. Estas macetas se mantuvieron en un invernadero sobre bancales con lámina de agua de 5 cm. En el primer experimento se evaluó la eficacia del oxifluorfen (480, 720 y 960), oxadiargil (300, 400 y 500), pretilaclor (1000, 1500 y 2000), atrazina (1500, 2000 y 2500) y acetoclor (1500, 2000 y 2500), todas las dosis en g ia/ha, y un testigo sin herbicida, bajo un diseño irrestricto al azar con 16 tratamientos y cinco repeticiones. Se encontró que el oxifluorfen aún en la dosis más baja evaluada de 480 g ia/ha controló en 100% a *O. latifolia*, y atrazina a 2000 g ia/ha tuvo un 80% de control; por lo cual fueron incluidos en el segundo experimento, cuyo objetivo fue determinar los tiempos de espera para sembrar arroz variedad Palmar 18, luego de aplicar estos herbicidas. Se utilizó un diseño irrestricto al azar con cinco tiempos de espera, dos herbicidas (oxifluorfen 480 y atrazina 2000 en g i.a/ha), un testigo sin herbicida y cinco repeticiones. No se determinó con claridad el tiempo de espera debido a que en el período evaluado siempre se presentaron daños entre el 25 y 40%, según escala HOECOL, en las plantas de arroz comercial. En el tercer experimento se evaluó la eficacia en el control *O. latifolia* de los herbicidas posembrantes imazapir + imazapic [(90 + 30), (120 + 40), (150 + 50)], quizalofop-p-etil (70, 100, 130), profoxidim (150, 200, 250), setoxidim (125, 225, 325) y fenoxaprop-p-etil (50, 100, 130) en g ia/ha, y un testigo sin herbicida, dispuestos en un diseño irrestricto al azar

con 16 tratamientos y cinco repeticiones. Todos los herbicidas posemergentes en el rango de dosis evaluados, dieron un 100% de control de *O. latifolia*. De ellos se incluyeron en el cuarto experimento el profoxidim, setoxidim y fenoxaprop-p-etil en la dosis efectiva más baja; donde se evaluó su efecto sobre la variedad Palmar 18 en dos estados de desarrollo (2-3 y 4-5 hojas). En este caso se utilizó un diseño irrestricto al azar con arreglo factorial 3x2 más el testigo correspondiente y seis repeticiones. El profoxidim 150 g ia/ha y setoxidim 125 g ia/ha aplicados en los estados de desarrollo evaluados, no causaron daños al Palmar 18 a los 30 dda, siendo herbicidas con potencial de uso en variedades convencionales de arroz. El fenoxaprop-p-etil causó daños severos entre 70 y 80% a los 30 dda en ambos estados de desarrollo, por lo cual no es recomendable su uso en esta variedad de arroz. El quizalofop-p-etil podría ser utilizado en variedades Provisia y el imazapir + imazapic en variedades Clearfield para el control de *O. latifolia*, pero no en variedades convencionales debido a que no son selectivos a éstas. Los resultados obtenidos en esta investigación constituyen un importante primer aporte de conocimiento para el diseño de alternativas de manejo de *O. latifolia* en el cultivo de arroz.

1. Introducción

El arroz (*Oryza sativa* L.) es uno de los cultivos de mayor importancia en el mundo al ser una de las principales fuentes alimenticias para los seres humanos. La FAO (2020) estimó que para el período 2019-2020 se necesita producir para consumo humano 513 millones de toneladas métricas de arroz. En Costa Rica la producción local de arroz no satisface la demanda, ya que en el último ciclo de siembra (2019-2020) solo se logró satisfacer el 43% del consumo nacional, que equivale a 103 188 toneladas métricas de arroz pilado, para un consumo per cápita de 47,7 Kg; por lo que hubo necesidad de importar 136 784 toneladas métricas de arroz pilado (CONARROZ 2020).

Algunos factores que dificultan la producción arroceras nacional son, la variabilidad en el área sembrada, efectos negativos del clima, problemas de manejo agronómico, altos costos y poca disponibilidad de variedades de arroz, según la zona de siembra (Sánchez y Vega 2018). Los eventos ambientales como sequías e inundaciones, influyen en la aparición de nuevas plagas, malezas y enfermedades en el campo, los cuales disminuyen el rendimiento del arroz comercial, siendo necesario aplicar estrategias que ayuden a minimizar el efecto sobre el cultivo (Hoyos *et al.* 2017).

Dentro de las malezas que interfieren en la producción de arroz comercial, se encuentran las especies de arroz maleza, las cuales disminuyen el rendimiento del cultivo a través de la competencia y contaminación de la cosecha. En Costa Rica, dentro de este grupo, se han reportado dos especies: *O. sativa* (arroz rojo) y *Oryza latifolia* Desv. (arroz pato o arrozón), las cuales, al ser del mismo género del arroz comercial, dificultan la implementación de estrategias de manejo en campo (Soto y Agüero 1992; Castro 1999).

Cabe indicar que, dentro de la categoría de arroces rojos o arroces maleza, en muchas ocasiones se incluye ambas especies *O. sativa* y *O. latifolia* (Delouche *et al.* 2007). Según Castro (1999) se tiene poca información en el país que indique el grado de afectación de esta maleza sobre el arroz comercial, sin embargo, se sabe que *O. latifolia* al igual que el arroz rojo (*O. sativa*), compete con el cultivo y contamina la cosecha. También indica que la utilización de herbicidas selectivos al cultivo hace que la población de esta maleza aumente, ya que al controlarse otras poáceas queda “el espacio libre” para que *O. latifolia* genere mayor competencia.

O. latifolia es una planta silvestre y su crecimiento es tanto en suelo inundado como en seco. Tiene características que en campo pueden hacer que se confunda con el arroz comercial, principalmente en estados iniciales de desarrollo; sin embargo, cuando la planta es adulta, se diferencia con variedades comerciales en que sus hojas son más anchas, tiene floración escalonada, el tamaño de la panícula es variable (en comparación a todas las especies del género *Oryza*), la semilla tiene aristas largas, y su morfología, tanto en el tamaño de la planta como en la semilla, es cambiante según el área geográfica donde se encuentre (Zamora 2003; Delouche *et al.* 2007; Urbina 2018).

A inicios de los 90's se registró presencia de *O. latifolia* en el 27,7% de los campos para la producción de arroz del país (Vega 1990). Sin embargo, productores como Hernán Rodríguez (Comunicación personal 2018)¹ indican que el problema para controlar *O. latifolia* en el cultivo de arroz ha estado presente desde hace años y que, en la actualidad, técnicas como cortar las espigas de la maleza antes de que maduren y la rotación con caña de azúcar no han sido suficientes para disminuir el banco de semillas, dando como resultado que los lotes de las fincas se estén contaminando considerablemente.

En México, en lotes con infestaciones de arroz rojo (*O. sativa*), se acostumbra realizar la rotación del arroz comercial con caña de azúcar, ya que se disminuyen las poblaciones de esta maleza debido a los métodos mecánicos y químicos utilizados en la producción de caña (Esqueda *et al.* 2010). Sin embargo, en Hacienda Mojica y Taboga, Guanacaste, Costa Rica, esta técnica no ha sido eficaz contra *O. latifolia*, aunque sí para el control de otros arceses maleza de la especie *O. sativa*. En esta zona se indica la presencia abundante de esta maleza en lotes que recién venían de la rotación con caña de azúcar (Rodríguez, Comunicación personal 2018)¹.

Para productores nacionales que llevan a cabo el proceso de primera siembra y segunda soca (retoño) en el cultivo de arroz, el aumento en la aparición de *O. latifolia* ha provocado la aplicación de altas dosis de herbicidas posemergentes para disminuir las poblaciones en campo, afectando negativamente el rendimiento del arroz comercial (Rodríguez, Comunicación personal 2018)¹.

¹ Rodríguez, H. 27 set. 2018. Problemática del arroz pato (*Oryza latifolia*) en Hacienda Mojica. Guanacaste, Costa Rica, Hacienda Mojica.

Según Castro (Comunicación personal 2018)², se han dado observaciones en campo sobre posibles productos que favorecen el control de *O. latifolia*, sin embargo, esta información aún no ha sido documentada; razón por la cual en la presente investigación se determinó la eficacia de herbicidas preemergentes y posembrantes para el control de *O. latifolia*, que permitan avanzar en el diseño de estrategias para el manejo de esta maleza en las plantaciones de arroz.

2. Marco teórico

2.1. Especies no cultivadas del género *Oryza* en Costa Rica

Al género *Oryza* pertenecen tres especies silvestres que han sido localizadas y reportadas en Costa Rica, *O. latifolia*, *Oryza grandiglumis* (Doell) Prod. y *Oryza glumaepatula* Steud. Las dos primeras especies son tetraploides o genoma CCDD (48 cromosomas) y la última, genoma diploide o AA (24 cromosomas). Dentro de los humedales del país se han reportado un total de 312 poblaciones silvestres del género *Oryza*, de las cuales el 75% son *O. latifolia*, 10,6% *O. grandiglumis* y 3,1% *O. glumaepatula* (Vaughan 1994; Zamora 2001).

O. latifolia es una especie que se distribuye en casi todo el continente americano; en Costa Rica se ubica en distintos sitios, principalmente en las zonas bajas (por debajo de los 650 m.s.n.m) como en parques nacionales (Tortuguero, Palo Verde, Santa Rosa, Hitoy Cerere y Cahuita), sabanas, bosques secundarios, bordes de ríos y caminos, suelos inundados y áreas de terreno que tienen años de ser cultivadas con arroz comercial (Quesada *et al.* 2002; Zamora *et al.* 2003). Entre las especies de arroz silvestre, *O. latifolia* es la especie más abundante, de mayor extensión y variabilidad morfológica de las zonas bajas del territorio nacional (Vaughan 1994; Zamora 2001).

² Castro, H. 27 set. 2018. Observaciones sobre posibles herbicidas para el manejo de arroz pato (*Oryza latifolia*). Guanacaste, Costa Rica, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

2.2. *Oryza latifolia* Desv.

2.2.1. Descripción y taxonomía

Se ha indicado que *O. latifolia* tiene características morfológicas similares al arroz comercial, sin embargo, en un estudio realizado con tres poblaciones de *O. latifolia* ubicadas en las Zonas del Pacífico Sur (Carara) y Norte (Cañas y Liberia) de Costa Rica, se identificaron diferencias entre las poblaciones, como la forma de la vena central, los tricomas en los bordes de las hojas, las aurículas y la lígula (Sánchez *et al.* 2003).

Según Zamora *et al.* (2003), las características morfológicas de *O. latifolia* varían según el área geográfica donde se encuentre, por lo que plantas del área de Guanacaste tienen menor altura que las de la Vertiente Atlántica; y semillas de poblaciones de la Península de Osa, son más grandes que las de otras poblaciones. También indicaron estos autores, que existe una correlación entre la longitud de la semilla de *O. latifolia* con la altura total y ancho de la hoja bandera.

Las plantas de *O. latifolia* pueden tener alrededor de los 2 m de altura en etapa de floración, sin embargo, se han encontrado plantas entre 0,5 y 4 m de altura (incluyendo el tamaño de la panícula) y con variabilidad en el tamaño de la semilla entre 4,8 y 7,2 mm en una misma población (Zamora *et al.* 2003). Además, esta especie tiene vainas glabras, lígulas ciliadas con longitud de hasta 6 mm, hojas con un tamaño aproximado de 55 cm de largo y 3,5 cm ancho, panículas largas y abiertas de hasta 40 cm, aristas que pueden llegar a los 3,5 cm y espiguillas de hasta 7 mm; los lemas estériles pueden tener hasta 2 mm de largo y 2 mm de ancho y los fértiles 7 mm de largo y 2,5 de ancho (Flora de Nicaragua 2020).

Zamora (2001) indica que la principal característica física que diferencia la especie diploide *O. glumaepatula* de las tetraploides *O. latifolia* y *O. grandiglumis* es la longitud de la lígula, sin embargo, entre las mismas especies tetraploides *O. grandiglumis* y *O. latifolia* se presentan diferencias no sólo en el tamaño de la lígula, sino también en el tamaño de la semilla, número de ramificaciones en la panícula, y la altura y tamaño de la lema estéril; siendo *O. grandiglumis* superior en todas estas características que *O. latifolia*.

2.2.2. Características genéticas

La especie *O. latifolia* es alotetraploide, es decir, cuenta con un genoma CCDD ($4n = 48$) a diferencia de la especie *O. sativa* que es diploide o genoma AA ($2n = 24$). Según Samuel (1988), se puede dar un proceso de diferenciación genética entre poblaciones de una misma especie, lo cual conlleva a cambios morfológicos y fisiológicos debido a la adaptación de la especie a la variabilidad ambiental donde se desarrolle. Esto fue confirmado por Thomas *et al.* (2017) quienes encontraron claras diferencias genéticas en poblaciones de especies del género *Oryza* con genoma CCDD.

Thomas *et al.* (2017) señalan que las diferencias genéticas entre las especies tetraploides, se deben probablemente al aislamiento y sobrevivencia de distintas especies con genoma CCDD a períodos de tiempo prolongados en áreas de terreno adecuadas para su conservación. También indicaron que las especies tetraploides poseen una alta variabilidad alélica, y que en el caso de *O. latifolia*, la especie cuenta con 117 alelos y una alta heterocigosidad en sus loci (promedio de 0,57) debido a sus cuatro loci (CCDD) que los diferencian de las especies diploides que solo tienen dos loci (AA).

Las especies de arroz comercial tienen mayor posibilidad de flujo de genes con especies silvestres de genoma AA que con tetraploides, ya que un posible híbrido entre ellas tendría alta esterilidad híbrida, lo cual hace difícil que se origine un nuevo individuo entre una especie diploide y una tetraploide en su ambiente natural (Vaughan *et al.* 2003).

Yi *et al.* (2015) indicaron que se pueden obtener híbridos interespecíficos entre especies con genoma AA y CCDD del género *Oryza* por medio de técnicas como cultivo de tejidos o duplicación cromosómica, tratando previamente los cromosomas con el agente mutagénico colchicina. Los autores, por medio de la segunda técnica, obtuvieron híbridos interespecíficos alohexaploides entre *O. sativa* y *O. latifolia*, sin embargo, de aproximadamente 3000 espigas de arroz polinizadas sólo lograron adquirir cinco plantas híbridas, quedando en evidencia la necesidad de utilizar gran cantidad de material vegetal para conseguir pocos individuos.

Caicedo (2008) en Colombia, por medio del retrocruce de líneas interespecíficas de *O. sativa* y *O. latifolia*, logró adquirir plantas con características agronómicas deseadas para la comercialización de arroz, como menor altura, bajo porcentaje de esterilidad, menor cantidad de días para la floración, mayor peso de semilla y mayor rendimiento.

O. latifolia posee resistencia al saltamontes marrón *Nilaparvata lugens*, al saltamontes de espalda blanca *Sogatella furcifera* y al tizón bacteriano causado por *Xanthomonas oryzae*, además, tiene alta producción de biomasa para el rendimiento. Estas características hacen que *O. latifolia* sea considerada una maleza con potencial para el mejoramiento genético de variedades de arroz comercial (Jena 2010; Ángeles-Shim *et al.* 2014; Ángeles-Shim *et al.* 2020).

2.3. Daños causados por *O. latifolia* en el arroz comercial

Se tiene poca información a nivel nacional e internacional sobre la afectación que genera *O. latifolia* (conocido como arroz pato) en el cultivo del arroz, dado que la literatura disponible no separa claramente los efectos en campo entre *O. latifolia* y las variantes de arroz rojo. Sin embargo, al igual que el arroz rojo (*O. sativa*), ésta especie compite por nutrientes, luz, agua, y contamina la cosecha del arroz comercial, tanto para el consumo como para la producción de semilla certificada y, en caso de que se presenten infestaciones en el campo, los lotes de siembra deben ser abandonados (Castro 1999). Productores costarricenses de arroz indican que es difícil controlar a *O. latifolia* en campo, ya que, resiste métodos de control como la corta y quema de la planta y la aplicación de algunos herbicidas (sin especificar), lo cual provoca que el valor de la cosecha sea penalizado, según el porcentaje de *O. latifolia* que contenga (Zamora 2001).

Se ha reportado que el arroz rojo (*O. sativa*) puede reducir el rendimiento del arroz comercial hasta en un 80%, ya que compite con el cultivo, reduce la cantidad de hijos y panículas por metro cuadrado y pequeñas cantidades de semilla de arroz rojo al momento de realizar la cosecha, son suficientes para contaminar y reducir la calidad del grano comercial para la venta (Castro 1999; Shivrain *et al.* 2010; Chauhan *et al.* 2015b).

Se estima que con más de 10 plantas/m² de arroz maleza (*O. sativa* y *O. latifolia*) en el campo, cada planta disminuye el rendimiento del arroz comercial en 0,09 t/ha (Castro 1999). En estas condiciones, no solo el rendimiento del grano disminuye, sino que aumenta el costo de producción y la posibilidad de que se presenten fluctuaciones en el precio de la cosecha (Chauhan *et al.* 2015a).

Burgos *et al.* (2008) determinaron que 1 planta de arroz rojo por metro cuadrado representa una infestación leve en el cultivo de arroz comercial, 4 plantas se considera una infestación moderada y 10 plantas sería una infestación pesada. Durand-Morat *et al.* (2018) indicaron que la clasificación leve, moderada y pesada de infestación de arroz rojo, significa una reducción en el rendimiento en variedades Clearfield de 1543, 2545 y 3152 Kg/ha/año respectivamente, según el rendimiento de 9165 Kg/ha/año reportado para esta variedad en los Estados Unidos.

2.4. Estrategias de manejo sobre *O. latifolia*

Para el caso concreto de *O. latifolia* o arroz pato no se reportan técnicas de control específicas en campo, por tanto, las estrategias que se mencionan a continuación, son las que se utilizan a nivel nacional para el control o disminución de la incidencia de arroz rojo (*O. sativa*). Además, la mayoría de información encontrada no distingue entre especies de arroces maleza, clasificando al arroz rojo (*O. sativa*) y arroz pato (*O. latifolia*) dentro de un mismo grupo y utilizando nombres comunes como “arroz contaminante”, “arroz maleza”, “arroz silvestre” o “arroz rojo”.

El control de arroces maleza es complejo al ser una especie del mismo género *Oryza*, por lo que requiere de técnicas y momentos adecuados para su control. Dentro de las principales estrategias aplicadas a nivel nacional e internacional se encuentran: rotación de cultivos, prevenir la infestación de lotes, utilizar maquinaria limpia, usar semilla certificada, agotar el banco de semillas del suelo y eliminar las espigas de las plantas presentes en el campo antes de que maduren (Delouche *et al.* 2007). Se utilizan también técnicas como nivelación de terrenos, fanguero antes de la siembra, aplicación de herbicidas preemergentes y posembrantes selectivos o no selectivos, voleado de semilla pregerminada e inundación del terreno sembrado (bancales) (Soto y Agüero 1992; Castro 1999; Ortiz y López 2011).

Según Fischer (1999) y Armenta y Coulombe (1993) la técnica de fanguero del suelo con presencia de una lámina de agua y siembra de semilla certificada pregerminada, 20 días después de haberse tratado el suelo, permiten generar condiciones anaeróbicas en la superficie que logran evitar la germinación del arroz maleza. Català (1995), indicó que el fanguero del suelo en combinación con los herbicidas tiobencarbo y molinato produjo un buen

control (88%) del arroz rojo (*O. sativa*) y disminuyó la presencia de panículas en plantas sobrevivientes.

Una de las técnicas más utilizadas por los arroceros para el control de arroz maleza (*O. sativa* y *O. latifolia*) es el sistema Clearfield, el cual consiste en la utilización de variedades mejoradas con resistencia a herbicidas imidazolinonas (como son las variedades Puitá y CFX18), siendo la mezcla comercial de imazapir e imazapic la más utilizada (Fleck *et al.* 2003; Noldin *et al.* 2007; Sha *et al.* 2007). Estos herbicidas del sistema Clearfield, tendrían también el potencial de afectar al arroz pato (*O. latifolia*), pero cada día se utilizan en menor escala debido a que se generaron poblaciones de arroz rojo (*O. sativa*) resistentes a este grupo químico, al cruzarse con las variedades comerciales conteniendo el gen de resistencia. De ser efectivos contra *O. latifolia* se podrían utilizar en las áreas más afectadas y donde no haya presencia de arroz rojo (*O. sativa*) con resistencia a estos herbicidas (Gealy *et al.* 2003; Ortiz y López 2011).

Otra técnica utilizada por los productores es el agotamiento del banco de semillas de arroz maleza en el campo, utilizando herbicidas preemergentes y posembrantes de amplio espectro en presiembra del arroz comercial. De esta manera, se disminuye la cantidad de arroz maleza y arroz voluntario que germina en los lotes contaminados, sin embargo, con el uso de esta técnica es necesario esperar un tiempo prudencial para la siembra del cultivo, ya que el efecto residual de algunos herbicidas podría causar daños en el arroz comercial (Herrera y Cruz 2011; Ortiz y López 2011).

2.5. Herbicidas utilizados en la investigación

2.5.1. Oxifluorfen

El oxifluorfen es un herbicida que es absorbido principalmente por las hojas de especies en estado de plántula o al emerger, por lo que puede ser utilizado en el control de malezas anuales poáceas y de hoja ancha en preemergencia, es aplicado en distintos cultivos incluyendo el arroz, en el cual se requiere de un tiempo de espera antes de la siembra (Shaner 2014). Según el Herbicide Resistance Action Committee (HRAC, por sus siglas en inglés), este producto inhibe la protoporfirinógeno oxidasa en la planta, la cual es una enzima de

importancia en la biosíntesis de clorofila, al catalizar la oxidación del protoporfirinógeno a protoporfirina (HRAC 2020a). De esta manera, si el proceso de oxidación en la planta se ve interrumpido, inicia una reacción de peroxidación lipídica que genera la pérdida de clorofila y carotenoides, por lo que las células de la planta se secan y desintegran rápidamente (Shaner 2014). Perteneció al grupo E de la HRAC y 14 de la WSSA (Weed Science Society of America) (HRAC 2020b).

Arce (2014) encontró que poblaciones de *Echinochloa colona* (L.) resistentes a los herbicidas imazapir + imazapic fueron controladas con oxifluorfen en dosis de 360 g ia/ha en preemergencia. Herrera y Cruz (2011) indicaron que para el control de arroz rojo el oxifluorfen en dosis de 1000 g ia/ha y con tiempo de espera (10 días) para la siembra de arroz comercial, tuvo un bajo efecto debido a las condiciones de suelo y presencia de terrones, lo cual pudo afectar la eficacia del herbicida. No obstante, en otro estudio similar para determinar ventanas de espera, se indicó que a 960 g ia/ha de oxifluorfen aplicado en preemergencia de la maleza y con lámina de agua, mostró un alto control de arces rojos en Hacienda Mojica en Guanacaste (Herrera, Comunicación personal 2019)³. Lo anterior, hace suponer que para el control de *O. latifolia* en campo, el oxifluorfen podría tener potencial de uso.

2.5.2. Pretilaclor

El pretilaclor es un producto que se absorbe por la raíz, puede ser utilizado en aplicaciones preemergentes y posemrgentes para el control de malezas poáceas y hoja ancha en el cultivo de arroz. Perteneció a la familia química de las alfa-cloroacetamidas y su mecanismo de acción consiste en inhibir la síntesis de ácidos grasos de cadena muy larga (VLCFA, por sus siglas en inglés), al afectar la acción de las enzimas elongasas, encargadas de la polimerización de los ácidos grasos para la formación de lípidos (Shaner 2014). Perteneció al grupo K₃ de la HRAC y 15 de la WSSA (HRAC 2020a; HRAC 2020b).

En un estudio realizado por Ferrero y Vidotto (2000) encontraron que la aplicación de la mezcla de dimetenamida (1250 g ia/ha) y pretilaclor (640 g ia/ha) en preemergencia del

³ Herrera, F. 2 feb. 2019. Eficacia del oxifluorfen para el control de arroz maleza y determinación de los tiempos de espera para a siembra de arroz comercial. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

cultivo de arroz y en suelo inundado, inhibió la germinación de arroz rojo en un 90%. También indicaron que el pretilaclor en dosis de 1500 g ia/ha mostró una eficacia para el control de arroz maleza entre el 80 y 90% (Ferrero y Vidotto 2002).

Chauhan *et al.* (2015a) encontraron que al aplicar pretilaclor (600 g ia/ha), seguido de la mezcla fenoxaprop + etoxisulfuron (45 g ia/ha) y el pretilaclor (600 g ia/ha) seguido de la mezcla fenoxaprop + etoxisulfuron (45 g ia/ha) + 2,4-D (500 g ia/ha) a los 2 y 21 días después de la siembra respectivamente, produjo un efectivo control de malezas y un alto rendimiento del arroz comercial. También, Awan *et al.* (2016) indicaron que el pretilaclor a 600 g ia/ha + protector, aplicado en preemergencia del arroz y las malezas, controló en forma efectiva a *E. colona* y *Echinochloa crus-galli* (L.), sin que causara síntomas de fitotoxicidad en las plantas de arroz comercial.

2.5.3. Acetoclor

El acetoclor es un herbicida preemergente utilizado en el control de la mayoría de poáceas anuales y ciertas malezas de hoja ancha, especialmente en el cultivo de caña de azúcar, maíz, maní, soya y algodón (UNA 2020). Es absorbido a través del coleóptilo, hipocótilo, epicótilo y raíces de plántulas en emergencia, y en el caso de plantas susceptibles, éstas son afectadas antes de que puedan emerger. Su mecanismo de acción es la inhibición de la síntesis de ácidos grasos de cadena muy larga (VLCFA) (Shaner 2014); se encuentra clasificado en el grupo K₃ de la HRAC y 15 de la WSSA (HRAC 2020b).

Herrera y Cruz (2011), encontraron que el acetoclor produjo un control aceptable de arroz rojo en los primeros 26 días después de su aplicación, y que el tiempo de espera para la siembra de arroz comercial fue de tres semanas después de haberse aplicado el herbicida en suelo húmedo. Además, indicaron que la dosis utilizada de 2000 g ia/ha podría ajustarse según el contenido de arcilla que tenga el suelo, para así obtener un mayor efecto residual del producto. Norsworthy *et al.* (2019) probaron el uso de acetoclor en preemergencia temprana de variedades Clearfield y Provisia para el control de *E. crus-galli* y arroz rojo resistente a imidazolinonas y quizalofop-p-etil y encontraron que el acetoclor en dosis de 1050 y 1470 g ia/ha tuvo un daño menor al 15% en las variedades de arroz comercial, dos

semanas después de la aplicación; sin embargo, con alta humedad este herbicida causó lesiones hasta del 78% en el cultivo.

Kaliq y Matloob (2012) encontraron que el acetoclor (125 g ia/ha) como preemergente y una aplicación en posemergencia de etoxisulfuron-etil (30 g ia/ha) + bispiribac sódico (30 g ia/ha) fue una técnica efectiva en el control de *E. colona* y otras malezas, además, causaron menos fitotoxicidad en las plantas de arroz comercial. También, Mickelson y Harvey (2000) indicaron que los tratamientos preemergentes y posemergentes de acetoclor (1800 g ia/ha) y nicosulfuron (35 g ia/ha) o acetoclor (1800 g ia/ha) y setoxidim (213 g ia/ha), fueron efectivos para el control de *Eriochloa villosa* (Thunb.) Kunth en un 86 y 83% respectivamente.

2.5.4. Atrazina

Este herbicida se utiliza para el control de malezas de hoja ancha y poáceas en preemergencia y posemergencia, especialmente en el cultivo de maíz (Moinuddin *et al.* 2018). En preemergencia es absorbido a través de la raíz y transportado hacia los brotes por medio del apoplasto, mientras que en aplicaciones posemergentes se absorbe de forma traslaminar y no se mueve basípetamente (Shaner 2014). Inhibe la fotosíntesis de las plantas (PSII) al interferir en el transporte de electrones de la quinona A hacia la quinona B, por lo que interrumpe la fijación de CO₂ y producción de ATP y NADPH; lo cual provoca la formación de radicales libres en la planta, que inician una reacción en cadena de oxidación de fosfolípidos de la membrana celular y posterior desecación de las hojas (Shaner 2014). Se encuentra clasificado en el grupo C₁ de la HRAC y 5 de la WSSA (HRAC 2020b).

Según Herrera y Cruz (2011), la atrazina en dosis de 1500 g ia/ha logró disminuir considerablemente la emergencia de arroz rojo los primeros 46 días después de ser aplicado en campo; sin embargo, las condiciones del experimento no permitieron determinar con exactitud cuál sería el tiempo de espera para la siembra del arroz comercial, aunque indicaron que a la cuarta semana después de la aplicación aún no se observaron plantas sanas de arroz y que en suelos con alta cantidad de arcilla, debería aumentarse la dosis del producto para obtener un mayor efecto de control sobre el arroz rojo. Andres *et al.* (2012) encontraron que, en lotes sembrados con sorgo utilizados en rotación con arroz comercial, al aplicar atrazina

en dosis en 1500 g ia/ha en preemergencia del cultivo, obtuvieron un control eficiente de arroz rojo y un alto rendimiento del sorgo.

Por otra parte, Esqueda (2000) encontró que los protectores de semilla flurazole y oxabetrinil no fueron eficientes para proteger la semilla de arroz comercial a la que se le aplicó en preemergencia atrazina en dosis de 784 y 1800 g ia/ha, ya que todas las plantas emergidas, murieron a los 10 y 18 días después de haberse realizado la aplicación.

2.5.5. Oxadiargil

Este producto se aplica en preemergencia para el control de todo tipo de malezas en arroz, tanto en secano como en inundación. Afecta el crecimiento de brotes al entrar en contacto con el suelo e inhibir la acción de la enzima protoporfirinógeno oxidasa (PPO), provocando dentro de la planta una excesiva formación de protoporfirina y una posterior destrucción de las membranas celulares (Shaner 2014). El oxadiargil pertenece al grupo E de la HRAC y 14 de la WSSA (HRAC 2020b).

Toro (2003) observó que con el uso del oxadiargil aplicado en lámina de agua 12 días antes de la siembra del arroz comercial variedad FONAIAP 1, logró una reducción del 63,4% en la cantidad de macollas de arroz rojo (*Oryza rufipogum* Griff.), lo cual permitió un rendimiento del cultivo similar al tratamiento sin presencia de esta maleza y un 68% más que el tratamiento con arroz rojo. Ortiz y López (2011) determinaron que el oxadiargil, aplicado en presiembra del cultivo y posemergencia del arroz maleza, en dosis de 428,57 g ia/ha mostró un 100% de control de esta maleza y un aumento del 14,17% en el rendimiento del arroz comercial. También, Ahmed y Chauhan (2015) señalaron que el oxadiargil aplicado dos días después de la siembra y en dosis de 160 g ia/ha, aumentó el rendimiento del cultivo en un 21% y redujo la densidad de malezas hasta en un 73%; además, indicaron que una dosis más alta del herbicida podría aumentar el rendimiento y controlar de forma más efectiva las malezas, sin embargo, podría causar toxicidad en las plantas de arroz comercial.

2.5.6. Imazapir e imazapic

Ambos son herbicidas aplicados en posemergencia, los cuales controlan malezas anuales y perennes en el cultivo de arroz. Tienen efecto residual en el suelo y son productos de rápida absorción por medio de brotes y raíces; son transportados tanto vía xilema como floema, pero principalmente por el floema. Su mecanismo de acción consiste en inhibir la enzima acetolactato sintasa (ALS) clave en la biosíntesis de aminoácidos de cadena ramificada (HRAC 2020a; Shaner 2014). Pertenecen al grupo B de la HRAC y 2 de la WSSA (HRAC 2020b).

La mezcla de herbicidas imazapir + imazapic junto con variedades de arroz resistentes a este herbicida, forman el sistema Clearfield el cual tiene un eficaz control sobre el arroz rojo (Noldin *et al.* 2007; Terano *et al.* 2016). Con este sistema, se puede presentar un porcentaje de control de arroz maleza del 99% y un aumento en el rendimiento del 55% en el cultivo, con dosis de imazapir + imazapic de 37,51 + 112,54 g ia/ha respectivamente; lo cual podría ser de gran ayuda en el manejo de arceses maleza, sin embargo, si no se toman precauciones podría darse flujo de genes entre las variedades mejoradas y el arroz maleza (Ortiz y López 2011). Las tasas de cruzamiento en el campo son muy bajas, sin embargo, se pueden presentar aproximadamente 170 plantas/ha de arroz rojo resistente, por cada ciclo de cultivo (Shivrain *et al.* 2007).

Lo anterior, da un indicio del potencial que el sistema Clearfield podría tener para el control de *O. latifolia*; ya que, al ser una especie tetraploide es casi nula la probabilidad de flujo de genes hacia variedades de arroz comercial en ambientes naturales (Vaughan *et al.* 2003; Yi *et al.* 2015).

2.5.7. Quizalofop-p-etil

El quizalofop-p-etil es utilizado para el control posemergente de poáceas anuales y perennes en cultivos como soya (Shaner 2014), trigo y mostaza, ya que no causa fitotoxicidad en estos cultivos (Mundra y Maliwal 2012). Tiene la característica de afectar primeramente los tejidos de la planta que están en crecimiento constante. Se absorbe principalmente por las hojas, por lo que las plantas presentan síntomas de clorosis, que posteriormente se volverán

lesiones necróticas entre 1 a 3 semanas después de la aplicación; este producto inhibe la acetil-CoA carboxilasa (ACCase), que se encarga de la síntesis de ácidos grasos, por lo que perjudica el crecimiento celular dentro de la planta (Shaner 2014; HRAC 2020a). Perteneció al grupo A de la HRAC y 1 de la WSSA (Shaner 2014; HRAC 2020b).

Según Noldin *et al.* (1998) el quizalofop-p-etil aplicado en posemergencia y en dosis de 70 g ia/ha controló de forma efectiva el arroz rojo hasta en un 95%. Landcaster *et al.* (2018) encontraron que 126 poblaciones de pasto, fueron controladas entre un 92 y 100% por quizalofop-p-etil en dosis de 80 g ia/ha en variedades de arroz resistentes a este herbicida, además, indicaron que el tratamiento con quizalofop-p-etil tuvo una mayor eficacia de control que tratamientos con cyhalofop o fenoxaprop. También, Landcaster *et al.* (2019) indicaron que el quizalofop-p-etil, mostró un 95% de control en arroz rojo resistente a inhibidores de la ALS.

Por otra parte, Herrera y Pineda (2017) en pruebas realizadas en arroz variedad Provisia en zonas arroceras de Costa Rica, indicaron que el quizalofop-p-etil a 100 g ia/ha fue efectivo para el control de arroz maleza y otras poáceas importantes en el cultivo de arroz. Sin embargo, Landcaster *et al.* (2018) reportan casos de arroz rojo resistentes a ACCase en los Estados Unidos, debido al flujo de genes por polinización cruzada del arroz resistente a quizalofop-p-etil y el arroz rojo, por lo que deben tomarse medidas como rotación de cultivos para minimizar el flujo de genes entre especies.

2.5.8. Fenoxaprop-p-etil

Este herbicida tiene un uso posemergente para el control de poáceas, no causa daño a las malezas de hoja ancha y es aplicado en cultivos como soya y trigo. Su mecanismo de acción consiste en inhibir la funcionalidad de la enzima acetil-CoA carboxilasa (ACCase), la cual es importante en la síntesis de ácidos grasos y crecimiento meristemático en la planta, por lo que evita que se produzcan fosfolípidos que posteriormente, serán utilizados en la construcción de las membranas celulares (Soto y Agüero 1992; Shaner 2014). Se encuentra clasificado dentro del grupo A de la HRAC y 1 de la WSSA (HRAC 2020b).

El fenoxaprop-p-etil ha sido utilizado en posemergencia para el control de poáceas como *Sorghum halepense* (L.) e *Ischaemum rugosum* (Salisb.) en etapas tempranas de desarrollo. Sin embargo, se ha reportado que algunas variedades de arroz comercial podrían tener tolerancia a este herbicida, según dosis y etapa de crecimiento de la planta, y que puede generar mayor toxicidad en el arroz comercial cuando las plantas tienen de 3 a 4 hojas (Vallejos y Soto 1995; Esqueda *et al.* 2010; Esqueda-Esquivel *et al.* 2015).

Vallejos y Soto (1995) reportaron una dosis efectiva de 90 g ia/ha de fenoxaprop-p-etil en el control de *I. rugosum* y Esqueda *et al.* (2010) indicaron que el fenoxaprop-p-etil causa daños en el arroz comercial si se aplica en plantas con menos de 4 hojas o en etapa temprana de formación de macollas; así mismo indican que se recomienda usar a 45 g ia/ha para el control de poáceas que crecen hasta los 15 cm y en dosis de 67,5 g ia/ha para poáceas de mayor altura como *S. halepense*.

2.5.9. Profoxidim

El profoxidim es un herbicida posemergente de acción sistémica, recomendado en etapas tempranas de crecimiento de la maleza (2 hojas a 1 macolla). Es selectivo al arroz comercial y controla poáceas como *E. colona*, *Leptochloa filiformis* (Lam) Beauv, *Rottboellia cochinchinensis* (Lour.) Clayton, *I. rugosum*, *Digitaria* sp. (Haller), *Eleusine indica* (L.) Gaertn, entre otras (BASF 2018b). Inhibe la función de la enzima acetil-CoA carboxilasa (ACCase), impidiendo la síntesis de ácidos grasos y producción de fosfolípidos para el crecimiento celular en la planta. Se clasifica en el grupo A de la HRAC y 1 de la WSSA (HRAC 2020a; HRAC 2020b).

En un estudio realizado con poblaciones de *E. crus-galli* resistentes a herbicidas inhibidores de la ALS, éstas fueron controladas por el profoxidim en dosis de 100 g ia/ha, sin embargo, poblaciones con resistencia múltiple a ALS y ACCase requirieron dosis más altas que la comercial para el control de la maleza (Panozzo *et al.* 2013). Resultados similares fueron obtenidos por Kanatas (2020), el cual indicó que poblaciones susceptibles de *E. crus-galli* y en estado de desarrollo de dos macollas, fueron controladas en un 100% con este herbicida en dosis de 200 g ai/ha y que, en el control de las poblaciones resistentes, fue necesario cuadruplicar la dosis recomendada. También, Vasilakoglou *et al.* (2018)

encontraron que poblaciones de *Echinochloa phyllopogon* (Stapf) Vasc. fueron controladas en un 90% al aplicar profoxidim a 200 g ia/ha + penoxsulam a 41 g ia/ha; la aplicación se realizó a los 18 días después de la siembra del arroz comercial, cuando el cultivo y *E. phyllopogon* tenían entre 3 y 4 hojas.

2.5.10. Setoxidim

Este herbicida se aplica en posemergencia para el control de poáceas anuales y perennes en cultivos de hoja ancha. Es transportado dentro de la planta por medio del xilema y floema, se acumula en brotes y raíces e inhibe la enzima acetil-CoA carboxilasa (ACCase), por tanto, interrumpe la síntesis de ácidos grasos y producción de fosfolípidos en las células (Shaner 2014). Pertenece al grupo A de la HRAC y 1 de la WSSA (HRAC 2020b).

Se ha recomendado aplicar setoxidim en el cultivo de arroz en un rango de dosis de 45 a 100 g ia/ha para el control de poáceas como *E. colona*, *E. crus-galli*, *L. filiformis*, *I. rugosum*, *Ixophorus unisetus* (Presl) Schtdl., *Setaria* spp. (Beauv.), *E. indica*, *R. cochinchinensis* y *Cenchrus* spp (L.). (AGROTICO 2018). Sin embargo, en un estudio realizado por Noldin *et al.* (1998), se encontró que aplicaciones de este herbicida en dosis de 400 g ia/ha en soya, controló un 67% de arroz rojo y un 85% de *E. colona*.

Griffin y Baker (1990) indicaron que en dosis de 112 y 224 g ia/ha de setoxidim, el arroz comercial podría ser afectado si la aplicación es realizada en secano, sin embargo, en suelo inundado no causaría ningún efecto sobre el cultivo. Lo anterior, da una idea de la posible dosis que podría controlar a *O. latifolia* de forma efectiva, sin causar gran daño al arroz comercial. Por otra parte, Valverde *et al.* (2000) encontraron que el setoxidim es más tóxico para las variedades de arroz comercial que incluso el fenoxaprop.

2.6. Arroz variedad Palmar 18

El Palmar 18 es una variedad de arroz comercial creada por la Oficina Nacional de Semillas (ONS) en Costa Rica, la cual tiene características agronómicas deseables para la producción de arroz comercial. Esta variedad tiene un ciclo aproximado de 105 a 110 días, altura de 105 cm, floración a los 75 días después de la germinación, macollamiento y

desgrane intermedio, grano extra largo, rendimiento promedio entre 5 y 8 toneladas métricas por hectárea y buena calidad molinera, con un rendimiento en molino <70%. Además, es una variedad que se adapta muy bien a condiciones de siembra tanto en seco como inundado, es tolerante a enfermedades como *Pyricularia* sp., *Helminthosporium* sp. y al virus de Hoja Blanca, pero susceptible a *Rhizoctonia* sp., *Pseudomonas* sp. y *Sarocladium* sp. (ONS 2014). En condiciones climáticas de Guanacaste y con sistema de siembra en inundado, Palmar 18 requiere 1623 GDA (grados día acumulados) para completar su etapa vegetativa y 2305 GDA para la reproductiva (Rodríguez 2014).

Según CONARROZ (2019), en el período 2018/2019, Palmar 18 fue la segunda variedad más sembrada por los productores a nivel nacional con 8275 ha y la principal en la región Pacífico Central. Esta zona del país se caracteriza por la producción de arroz utilizando el sistema de siembra en seco, por lo que han reportado rendimientos de 5,23 toneladas métricas por hectárea al sembrar Palmar 18 (Chavarría 2011).

2.7. Justificación

O. latifolia es una maleza de importancia en el cultivo de arroz, debido a los daños que provoca por competencia, contaminación de la cosecha, y aumento de los costos al tratar de combatirlo. En los últimos años se ha agudizado la problemática con esta maleza, en parte debido a la salida paulatina del mercado del sistema de producción Clearfield, que fue eficaz para el combate de arces maleza, hasta que apareció el problema de resistencia de *O. sativa* a los herbicidas utilizados en ese sistema de producción (Ortiz y López 2011), y a la poca disponibilidad de herbicidas selectivos al arroz comercial y eficaces para combatir a *O. latifolia*. Por otro lado, la rotación de arroz comercial con caña de azúcar, que ha sido exitosa para el combate del arroz maleza *O. sativa*, no ha sido eficaz contra *O. latifolia* (Rodríguez, Comunicación personal 2018)⁴. Por lo anterior, y dada la escasa información disponible sobre el manejo de *O. latifolia*, los productores necesitan estrategias eficaces que les permitan controlar esta especie y seguir produciendo en los campos de arroz donde se encuentra

⁴ Rodríguez, H. 27 set. 2018. Problemática del arroz pato (*Oryza latifolia*) en Hacienda Mojica. Guanacaste, Costa Rica, Hacienda Mojica.

presente. Con este estudio se pretende contribuir a generar conocimiento para el diseño de estrategias de manejo de esta maleza.

Objetivos

General

Evaluar la eficacia de herbicidas preemergentes y posemrgentes para el control de *Oryza latifolia* (“arroz pato”) bajo condiciones de invernadero.

Específicos

1. Evaluar la eficacia de herbicidas preemergentes no selectivos al arroz comercial (*O. sativa*) para el control de *O. latifolia*.
2. Determinar el tiempo de espera después de la aplicación de los herbicidas preemergentes no selectivos, que en su menor dosis posible tengan una eficacia mayor al 80% en el control de *O. latifolia*, para la siembra de arroz comercial variedad Palmar 18.
3. Evaluar la eficacia de herbicidas posemrgentes (de selectividad limitada al arroz comercial) para el control de *O. latifolia*.
4. Evaluar la selectividad a la variedad Palmar 18 de los herbicidas posemrgentes de selectividad limitada, que en su menor dosis posible tengan una eficacia mayor al 80% en el control de *O. latifolia*.

3. Materiales y métodos

3.1. Ubicación de los experimentos

En el desarrollo de esta investigación, se realizaron cuatro experimentos dentro del invernadero “D” ubicado en la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno (EEAFBM) de la Universidad de Costa Rica, en la Garita de Alajuela. Dos experimentos fueron con herbicidas preemergentes y dos con herbicidas posemrgentes. A continuación, y previo a la descripción de cada uno de los experimentos, se indican algunas acciones

realizadas para el acondicionamiento de la semilla de *O. latifolia* utilizada en el experimento 1 con herbicidas preemergentes y en el experimento 3 con posemrgentes, así como, las características físicas y químicas del suelo utilizado en los cuatro experimentos.

3.2. Obtención de la semilla de *O. latifolia* utilizada en los experimentos 1 y 3, y tratamientos para la ruptura de latencia

La semilla de *O. latifolia* se recolectó en un lote de arroz comercial infestado con esta maleza, ubicado en Hacienda Mojica, Guanacaste (latitud 10° 23' 28" y longitud 85° 12' 11"). Se cosechó semilla madura que se desprendía fácilmente al pasar la mano sobre la panícula. Esta semilla se introdujo en bolsas plásticas y se llevó al Laboratorio de Malezas de la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno (EEAFBM). Ahí se dejó secar a temperatura ambiente durante una semana, luego se limpió y almacenó en frascos plásticos, los cuales se cerraron herméticamente y almacenaron en el laboratorio a temperatura ambiente.

Dos meses después de cosechada la semilla de *O. latifolia*, se realizó una prueba de germinación a la misma y a la de Palmar 18 (semilla certificada de la Oficina Nacional de Semilla, utilizada en los experimentos 2 y 4). Para esto, se embebieron 50 semillas de *O. latifolia* en una solución de nitrato de potasio (KNO_3) al 0,25% durante 24 h. Se sacaron de la solución, se dejaron reposar 2 h; y seguidamente se sembraron en bandejas de polietileno de 54 cm de largo por 27 cm de ancho y 7 cm de alto, con suelo proveniente de la EEAFBM. Estas bandejas se colocaron dentro del invernadero "D" y se mantuvieron con humedad a capacidad de campo. La semilla de arroz Palmar 18 fue sembrada directamente en las bandejas, sin ser embebida previamente. En el caso de *O. latifolia* se obtuvo un 3,33% de germinación y en la variedad Palmar 18 un 94%. Este resultado indicó que la semilla de *O. latifolia* estaba en latencia, por lo cual fue necesario probar varios tratamientos para la ruptura de latencia, y seleccionar el que permitiera la mayor germinación de la semilla para ser utilizado en los experimentos 1 y 3. Para la selección de los tratamientos a evaluar en este experimento previo se tomó en consideración experiencias propias, e información obtenida de los trabajos de ruptura de latencia de semillas de Ortiz y Castillo (2007), Courtis (2013) y Portuguez (2017). Al momento de iniciar este experimento, la semilla de *O. latifolia* ya tenía

cinco meses de haberse cosechado y almacenado. Se evaluaron 11 tratamientos que se describen en el cuadro 1. Luego de la aplicación de los tratamientos, la semilla fue sembrada en bandejas de polietileno con suelo de textura franco arcillosa de la EEAFBM, las cuales se mantuvieron a capacidad de campo dentro del invernadero “D”. A los 15 dds se evaluó el porcentaje de germinación.

Cuadro 1: Porcentaje de germinación, según tratamiento de ruptura de latencia aplicado sobre la semilla de *O. latifolia*, población Hacienda Mojica, Guanacaste. Abril, 2019.

Tratamiento	Porcentaje (%)
Siembra directa de semilla seca	24
Semilla sumergida en agua durante 24 h	8
Semilla sumergida en KNO ₃ 0,25% durante 24 h	4
Semilla sumergida en KNO ₃ 0,50% durante 24 h	20
Semilla sumergida en KNO ₃ 1% durante 24 h	26
Semilla a 40 °C durante 1 h	30
Semilla a 40 °C durante 2,5 h	30
Semilla a 40 °C durante 5 h	25
Semilla a 40 °C 1 h, luego sumergida en KNO₃ 0,50% durante 24 h	65
Semilla a 40 °C 2,5 h, luego sumergida en KNO ₃ 0,50% durante 24 h	45
Semilla a 40 °C 5 h, luego sumergida en KNO ₃ 0,50% durante 24 h	35

El tratamiento que obtuvo el mayor porcentaje de germinación de las semillas de *O. latifolia* (65%), fue: colocar la semilla durante 1 h en un horno a 40 °C, seguidamente sumergirla en una solución de nitrato de potasio al 0,50% durante 24 h, sacarla y dejarla en reposo 2 horas antes de la siembra (Cuadro 1).

3.3. Características del suelo utilizado y manejo general de los experimentos

En cada experimento se utilizaron macetas plásticas #300 con capacidad para 3 litros, previamente lavadas, rotuladas y, que se llenaron con suelo arcilloso representativo de zonas arroceras, proveniente de Hacienda Mojica, Bagaces, Guanacaste; al cual se le realizó un

análisis físico, químico y de materia orgánica en el laboratorio de suelos y foliares del Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica (Cuadros 2, 3 y 4).

Cuadro 2: Análisis de textura del suelo utilizado durante la investigación, proveniente de Hacienda Mojica, Guanacaste, 2019.

Análisis de textura del suelo					
Muestra	ID Lab	%			Clase
		Arena	Limo	Arcilla	Textural
Suelo arrocero	RN-19-00899	22	16	62	Arcilloso

Cuadro 3: Análisis químico del suelo utilizado durante la investigación, proveniente de Hacienda Mojica, Guanacaste, 2019.

Análisis químico de suelos													
Solución Extractora:		pH	cmol(+)/L					%	mg/L				
KCl-Olsen Modificado		H ₂ O	Acidez	Ca	Mg	K	CICE	SA	P	Zn	Cu	Fe	Mn
Muestra	ID Lab	5,5	0,5	4	1	0,2	5		10	3	1	10	5
Suelo arrocero	S-19-03589	6,5	0,11	16,19	8,37	0,32	24,99	0,4	49	7,2	19	166	2

Cuadro 4: Análisis de materia orgánica del suelo utilizado durante la investigación, proveniente de Hacienda Mojica, Guanacaste, 2019.

Análisis químico de suelos						
Muestra	ID Lab	mS/cm	%			Relación
		CE	C	N	MO	C/N
		1,5				
Suelo arrocero	S-19-03589	0,3	1,53	0,12	2,19	12,8

El suelo se extrajo de un lote sin presencia de *O. latifolia* para reducir el riesgo de aparición de semillas provenientes del campo, que pudieran interferir con la cantidad de semillas de esta maleza colocadas en las macetas plásticas, al momento de realizar los experimentos.

En cada experimento, todas las macetas plásticas utilizadas se mantuvieron con riego por capilaridad; y se colocaron sensores de humedad, temperatura y radiación fotosintéticamente activa (radiación PAR), para monitorear las condiciones ambientales dentro del invernadero.

3.4. Experimento 1. Eficacia de herbicidas preemergentes no selectivos en el control de *O. latifolia*

En este experimento se evaluaron herbicidas preemergentes no selectivos al arroz comercial, con el propósito de eliminar a *O. latifolia*, para posteriormente estimar el tiempo de espera necesario para la siembra del arroz comercial Palmar 18 (experimento 2).

Se sembraron 30 semillas de *O. latifolia* en cada una de las macetas plásticas a una profundidad aproximada de 1 cm. Para uniformizar el porcentaje de germinación de las semillas, éstas se sometieron al tratamiento de ruptura de latencia seleccionado en el experimento preliminar (40 °C durante 1 h, inmersión en una solución de KNO₃ al 0,50% por 24 h, extracción de la semilla y dejarla en reposo 2 h). Después de 2 h de haberse sembrado la semilla y con el suelo a capacidad de campo, se aplicaron los distintos tratamientos herbicidas con un pulverizador eléctrico, nombre comercial Torino 16E Plus, modelo: KB-16E-4, calibrado a 300 l/ha. El pH del agua fue de 7 y no se agregó coadyuvante a los tratamientos. La aplicación de los herbicidas se llevó a cabo en una zona protegida del viento en la parte exterior del invernadero “D”. Luego de unos 15 minutos de realizada la aplicación, las macetas plásticas fueron introducidas y distribuidas aleatoriamente en mesas dentro del invernadero, las cuales fueron adaptadas para el riego por capilaridad de los experimentos.

Para cada herbicida se evaluaron tres dosis de ingrediente activo en un ámbito que consideró las recomendaciones comerciales, observaciones de productores y dosis reportadas para el control preemergente de las principales poáceas en el cultivo de arroz comercial (Arce, 2014; Toro, 2003; Ortiz y López, 2011; Esqueda, 2000) (Cuadro 5).

Cuadro 5: Herbicidas preemergentes no selectivos utilizados en el control de *O. latifolia* y sus respectivas dosis. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.

Tratamiento herbicida	g ia/ha
Oxifluorfen	480, 720, 960
Pretilaclor	1000, 1500, 2000
Acetoclor	1500, 2000, 2500
Atrazina	1500, 2000, 2500
Oxadiargil	300, 400, 500

El diseño experimental consistió en un irrestricto al azar con 16 tratamientos (15 tratamientos herbicidas y un testigo sin herbicida) y 5 repeticiones.

Se evaluaron las siguientes variables:

- Número de plantas vivas de *O. latifolia* a los 30 días después de la aplicación (dda), para lo cual se consideró como planta viva, que tuviera sana la primera hoja de crecimiento.
- Porcentaje de control para cada tratamiento a los 30 dda, comparado al testigo sin herbicida. Se utilizó la Escala ALAM (ALAM 1974, Anexo 1), dado su amplio uso en estudios de investigación con malezas.
- Biomasa aérea (peso seco) a los 30 dda. Se contó el total de plantas por maceta plástica, se cortaron a nivel del suelo y colocaron en un horno para secado de muestras durante 8 días a una temperatura de 70 °C, posteriormente, se sacaron y una vez frías se registró el peso en una balanza analítica, marca Romanas Azocar, modelo AS 220.R2.

3.5. Experimento 2. Determinación del tiempo de espera para la siembra de arroz Palmar 18, luego de la aplicación de los herbicidas preemergentes no selectivos

Para este experimento se utilizaron los herbicidas oxifluorfen y atrazina en la dosis de 480 y 2000 g ia/ha respectivamente, que según los resultados obtenidos del experimento 1, tuvieron una eficacia mayor al 80% en el control de *O. latifolia*; porcentaje de control mínimo tomado como referencia para seleccionar los mejores tratamientos.

Las macetas plásticas #300 se llenaron con el suelo arcilloso antes descrito, el cual se humedeció a capacidad de campo al momento de aplicar los herbicidas. La aplicación se realizó con un pulverizador eléctrico, nombre comercial Torino 16E Plus, debidamente calibrado para un volumen de 300 l/ha. Los tratamientos se aplicaron a las 0, 1, 2, 3 y 4 semanas antes de la siembra del arroz comercial Palmar 18. El pH del agua fue de 7 y no se agregó coadyuvante a los tratamientos. Posterior a la aplicación, se colocaron las macetas plásticas sobre mesas adaptadas para el riego por capilaridad, en el invernadero “D” de la EEAFBM.

A la cuarta semana después de haberse iniciado la aplicación de los herbicidas, todas las macetas plásticas fueron sembradas con 20 semillas de arroz Palmar 18 a una profundidad aproximada de 1 cm, con cuidado de no distorsionar demasiado el suelo previamente aplicado con los tratamientos herbicidas.

Se utilizó un diseño experimental irrestricto al azar con 11 tratamientos (cinco tiempos de espera para la siembra de arroz Palmar 18 con dos herbicidas y un testigo sin herbicida), y 5 repeticiones.

Las variables evaluadas fueron:

- Número de plantas vivas a los 30 días después de la siembra (dds), para lo cual se consideró como planta viva, que tuviera sana la primera hoja de crecimiento.
- Grado de daño al arroz Palmar 18 a los 30 dds, comparado al testigo sin herbicida. Se utilizó la escala HOECOL (Pavón 1992, Anexo 2), dado su amplio uso para medir daño por herbicidas en estudios de eficacia biológica.
- Biomasa aérea (peso seco) a los 30 dds, según metodología descrita en el experimento 1.

3.6. Experimento 3. Eficacia en el control de *O. latifolia*, de herbicidas posemergentes con selectividad limitada al arroz comercial

El propósito de este experimento fue evaluar el efecto de herbicidas graminicidas posemergentes, con selectividad limitada al arroz comercial, para controlar o afectar negativamente a *O. latifolia*.

Se sembraron 25 semillas de *O. latifolia* por maceta plástica (previamente sometidas al tratamiento de ruptura de latencia, explicado con anterioridad) a una profundidad aproximada de 1 cm. Las macetas plásticas se colocaron dentro del invernadero “D” de la EEAFBM con el manejo descrito anteriormente. Una vez germinadas las semillas y cuando las plantas tuvieron 1 hoja, se realizó un raleo, dejando 15 plantas por maceta plástica. Cuando las plantas se encontraron en un estado fenológico de 2 a 3 hojas, se realizó la aplicación de los tratamientos (Cuadro 6). Para ello se utilizó un pulverizador eléctrico, nombre comercial Torino 16E Plus, previamente calibrado para aplicar un volumen de 250 l/ha. El pH del agua fue de 7 y no se agregó coadyuvante a los tratamientos.

Para definir las dosis evaluadas se consideró, el ámbito de dosis de ingrediente activo comercialmente recomendado, observaciones de productores y dosis reportadas para el control posemergente de las principales poáceas en el cultivo de arroz (Ortiz y López, 2011; Toro, 2003; Esqueda-Esquivel *et al.*, 2015).

Cuadro 6: Herbicidas posemergentes utilizados en el control de *O. latifolia* y sus respectivas dosis. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.

Tratamiento herbicida *	g i.a/ha
Imazapir + imazapic	(90 + 30), (120 + 40), (150 + 50)
Quizalofop-p-etil	70, 100, 130
Fenoxaprop-p-etil	50, 70, 90
Setoxidim	125, 225, 325
Profoxidim	150, 200, 250

*Los herbicidas imazapir e imazapic (producto formulado Kifix) son selectivos a las variedades de arroz del sistema Clearfield, mientras que el quizalofop-p-etil es selectivo a las variedades de arroz del sistema Provisia.

El diseño experimental consistió en un irrestricto al azar con 16 tratamientos (15 tratamientos herbicidas y un testigo sin herbicida) y 5 repeticiones.

Se evaluaron las siguientes variables:

- Número de plantas vivas de *O. latifolia* a los 30 días después de la aplicación (dda), para lo cual se consideró como planta viva, que tuviera sana la primera hoja de crecimiento.

- Porcentaje de control para cada tratamiento a los 30 dda, comparado al testigo sin herbicida y utilizando la escala ALAM (ALAM 1974, Anexo 1).
- Biomasa aérea (peso seco) a los 30 dda. Se contó el total de plantas por maceta plástica, se cortaron a nivel del suelo y colocaron en un horno para secado de muestras durante 8 días a una temperatura de 70 °C, posteriormente, se sacaron y una vez frías se registró el peso en una balanza analítica, marca Romanas Azocar, modelo AS 220.R2.

3.7. Experimento 4. Efecto en la variedad de arroz Palmar 18, de los herbicidas posemergentes con selectividad limitada, seleccionados en el experimento 3

El propósito de este experimento fue medir el efecto sobre el arroz comercial Palmar 18, de los herbicidas posemergentes con selectividad limitada, que dieron mejor control de *O. latifolia*.

Se sembraron 20 semillas de la variedad de arroz Palmar 18 en cada maceta plástica #300 (con capacidad para 3 l) a una profundidad aproximada de 1 cm, las cuales se mantuvieron con riego por capilaridad a partir de realizada la siembra de la semilla. Se utilizaron dos momentos de siembra con dos semanas de diferencia, para obtener dos estados fenológicos distintos al momento de hacer la aplicación de los herbicidas. Una vez que la semilla germinó y las plantas tuvieron 1 hoja, se realizó un raleo dejando 15 plantas por maceta plástica.

Los tratamientos consistieron en los herbicidas fenoxaprop-p-etil 50 g/ha, setoxidim 125 g/ha y profoxidim 150 g/ha, que fueron los herbicidas y dosis más bajas que tuvieron una eficacia mayor al 80% en el control de *O. latifolia* en el experimento 3. Estos herbicidas fueron aplicados en dos estados fenológicos del arroz Palmar 18 (2-3 y 4-5 hojas), se incluyó además el respectivo testigo sin aplicación de herbicidas.

La aplicación de los tratamientos se realizó con un pulverizador eléctrico, nombre comercial Torino 16E Plus, previamente calibrado para aplicar un volumen de 250 l/ha. El pH del agua fue de 7 y no se agregó coadyuvante a los herbicidas.

Se utilizó un diseño irrestricto al azar con arreglo factorial 3x2 (tres herbicidas, fenoxaprop-p-etil, setoxidim y profoxidim a la dosis más baja efectiva, y dos estados de

desarrollo de la variedad Palmar 18, más el testigo sin aplicación de herbicidas) y 6 repeticiones.

Se evaluaron las variables:

- Altura del dosel (cm) a los 30 días después de la aplicación (dda).
- Grado de daño al arroz Palmar 18, para lo cual se utilizó el testigo sin herbicida y la escala HOECOL (Pavón 1992, Anexo 2) a los 15 y 30 dda.
- Biomasa aérea (peso seco) a los 30 dda, según metodología descrita en el experimento 3.

3.8. Análisis estadístico

A los resultados de cada experimento se les realizó un análisis de variancia (ANDEVA) y comparación de medias (Tukey 5%), o prueba de Kruskal-Wallis o modelos lineales mixtos, según variables y comportamiento de los datos obtenidos.

4. Resultados

4.1. Experimento 1. Eficacia de herbicidas preemergentes no selectivos en el control de *O. latifolia*

De los herbicidas preemergentes evaluados, el oxifluorfen fue el más efectivo, con diferencias significativas respecto a los demás tratamientos y al testigo sin aplicación. Este herbicida en el rango de dosis de 480 g ia/ha a 960 g ia/ha causó muerte de todas las plantas de *O. latifolia* (Figuras 1 y 3), por lo tanto, presentó un 100% de control de esta maleza (Figura 2) y los datos de peso seco fueron valores de cero (Cuadro 7). El segundo tratamiento que mostró una reducción significativa en el número de plantas y al menos un 80% de control de *O. latifolia* a los 30 días después de la aplicación (dda), fue la atrazina a 2000 g ia/ha (Figuras 1 y 2). Por esta razón, se decidió utilizar en el segundo experimento, el oxifluorfen en la dosis efectiva más baja (480 g ia /ha) y la atrazina a 2000 g ia/ha, ya que fueron los tratamientos que cumplieron con el criterio propuesto de al menos alcanzar un 80% de control de *O. latifolia* a los 30 días después de la aplicación (dda) (Figuras 3 y 4).

En el caso de los herbicidas pretilaclor, acetoclor y oxadiargil, no fueron eficientes en el control de *O. latifolia* a los 30 dda (Figura 2, anexos 3, 4 y 5).

Los sensores colocados durante el experimento, mostraron que siempre se mantuvo un adecuado suministro de agua, manteniéndose húmedo el suelo en las macetas plásticas, con un promedio constante de 0,38 m³/m³ en el contenido de agua. La temperatura del suelo dentro del invernadero, se mantuvo en rangos apropiados para un buen crecimiento de *O. latifolia*, ya que osciló entre los 18 y 37 °C, correspondiendo los menores valores a las temperaturas mínimas nocturnas y las más altas a las temperaturas máximas diurnas; de manera similar tampoco fue limitante la radiación PAR (Anexo 6).

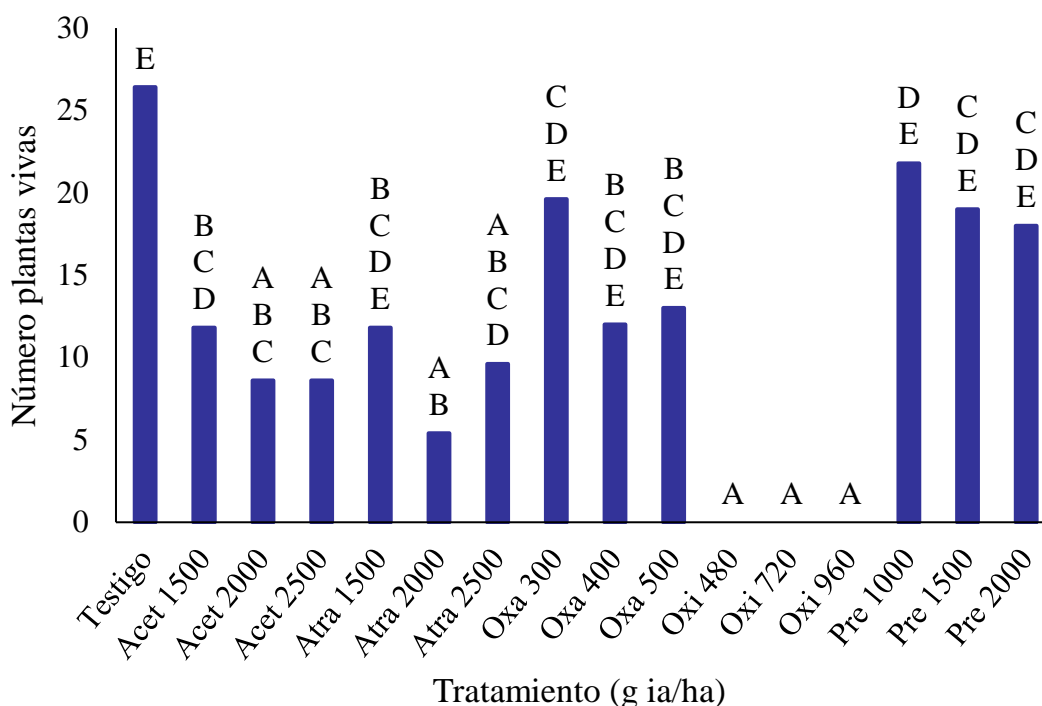


Figura 1: Cantidad de plantas vivas de *O. latifolia* a los 30 dda, según tratamientos con herbicidas preemergentes. Acet = acetoclor, Atra = atrazina, Oxa = oxadiargil, Oxi = oxifluorfen y Pre = pretilaclor. Medias reales con letras iguales no son significativamente diferentes entre sí, según prueba de Kruskal-Wallis ($p > 0,05$). EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.

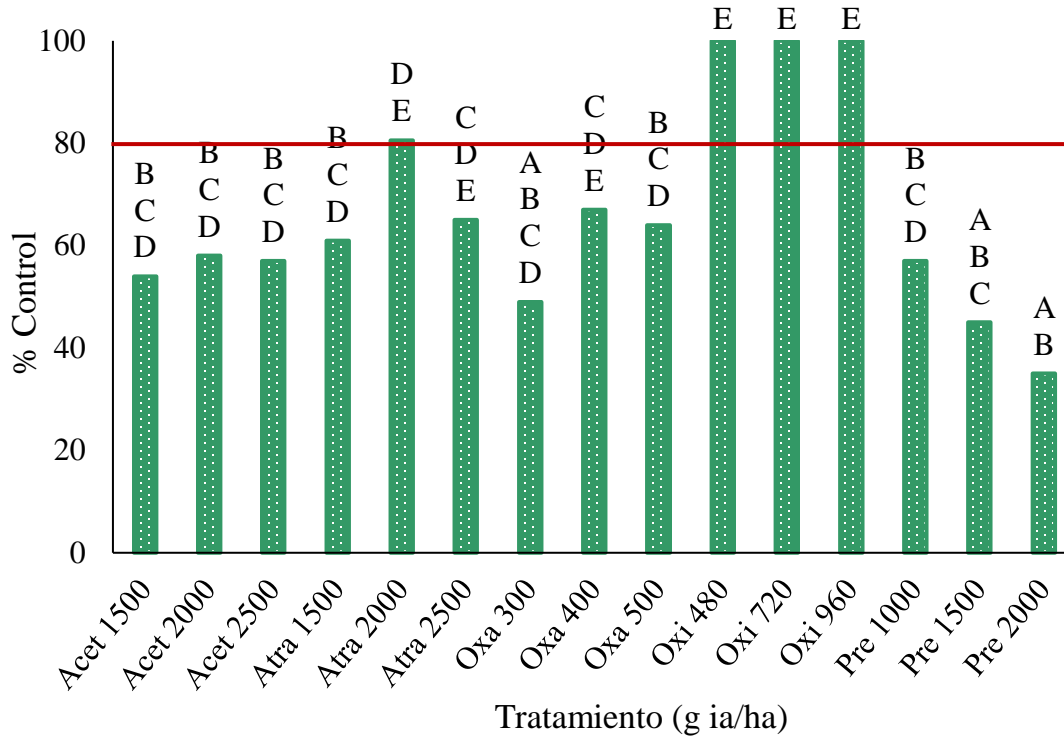


Figura 2: Porcentaje de control de *O. latifolia* a los 30 dda, según tratamientos con herbicidas preemergentes. Acet = acetoclor, Atra = atrazina, Oxa = oxadiargil, Oxi = oxifluorfen y Pre = pretilaclor. Medias reales con letras iguales no son significativamente diferentes entre sí, según prueba de Kruskal-Wallis ($p > 0,05$). EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.

Cuadro 7: Peso seco de las plantas vivas de *O. latifolia* a los 30 dda, según tratamiento herbicida preemergente y dosis correspondiente, incluido el testigo sin aplicación de herbicidas. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.

Tratamiento (g ia/ha)	Peso seco (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 ($p > 0,05$).

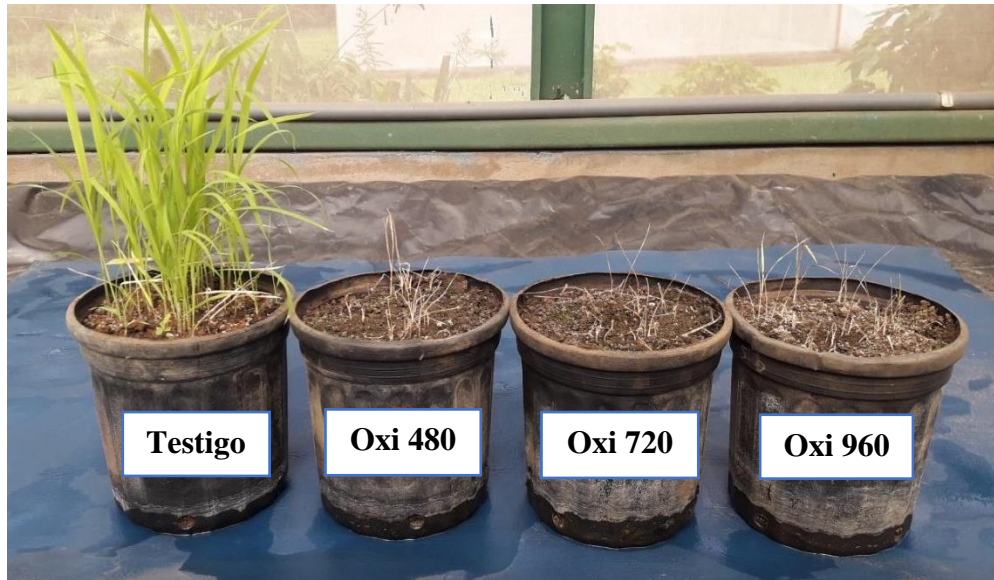


Figura 3: Efecto del oxifluorfen en *O. latifolia* a los 30 dda. El orden de las macetas plásticas, de izquierda a derecha, corresponde al testigo y las dosis 480, 720 y 960 g ia/ha. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.

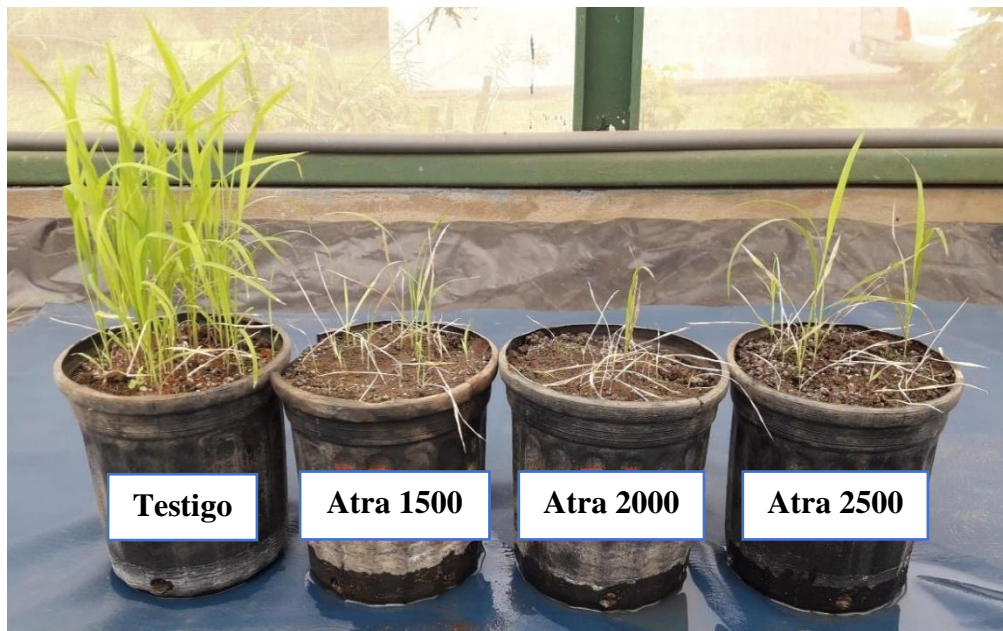


Figura 4: Efecto de la atrazina en *O. latifolia* a los 30 dda. El orden de las macetas plásticas, de izquierda a derecha, corresponde al testigo y las dosis 1500, 2000 y 2500 g ia/ha. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.

4.2. Experimento 2. Determinación del tiempo de espera para la siembra de arroz Palmar 18, luego de la aplicación de los herbicidas preemergentes no selectivos

Los herbicidas preemergentes oxifluorfen y atrazina que tuvieron un control mayor del 80% para *O. latifolia* en el experimento 1, mostraron efectos negativos en la variedad de arroz comercial Palmar 18, en comparación al testigo sin herbicida en cuanto al número de plantas, grado de daño y peso seco de las plantas de Palmar 18 (Figuras 5 y 6, cuadro 8). Cuando la siembra del arroz Palmar 18 se hizo inmediatamente después de la aplicación del oxifluorfen o de la atrazina, las plantas mostraron un 40% de daño, mientras que, cuando estos herbicidas se aplicaron entre 1 y 4 semanas antes de la siembra, los efectos negativos, a pesar de las variaciones entre ellos, se ubicaron en el rango de leve según la escala de evaluación HOECOL (Figuras 6, 7 y 8, anexo 2).

Los sensores colocados durante el experimento mostraron que se mantuvieron condiciones de humedad, temperatura y radiación PAR adecuadas para el crecimiento del arroz Palmar 18; con un promedio constante de 0,42 m³/m³ en el contenido de agua, un máximo de radiación PAR de 1400 μmol/m²/s y una temperatura del suelo que osciló entre los 18 °C como mínima y 37 °C como máxima (Anexos 7a y 7b).

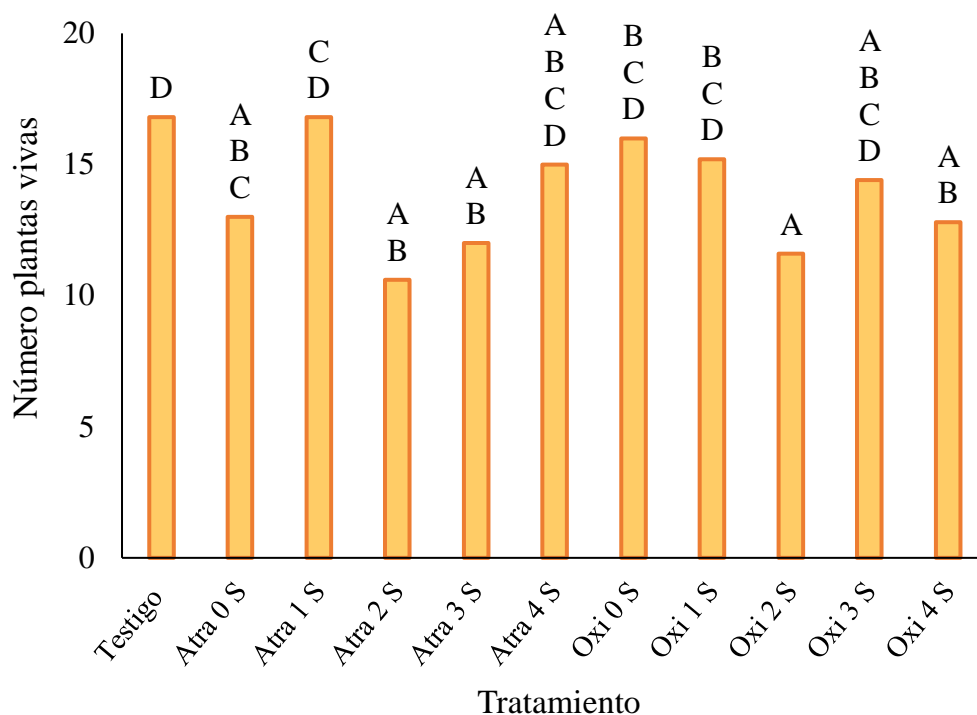


Figura 5: Cantidad de plantas vivas de arroz Palmar 18 a los 30 dds, según tratamiento herbicida preemergente y tiempo de espera, incluido el testigo sin aplicación. Atra = atrazina (2000 g ia/ha), Oxi = oxifluorfen (480 g ia/ha) y S = semanas antes de la siembra del arroz. Medias con letras iguales no son significativamente diferentes entre sí, según prueba de Kruskal-Wallis ($p > 0,05$). EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.

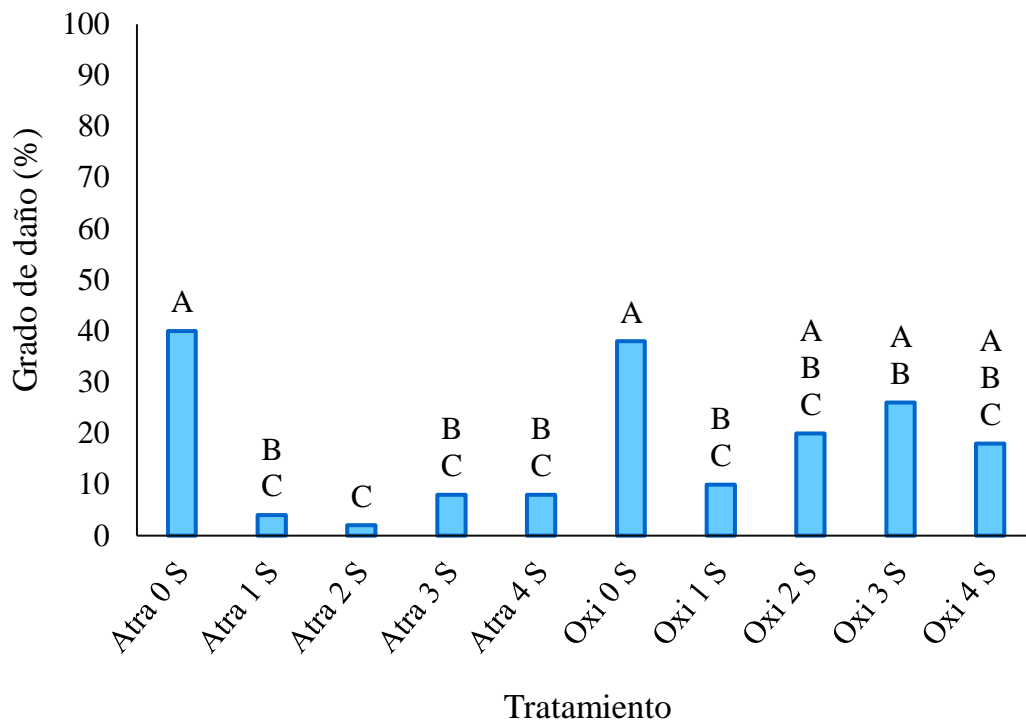


Figura 6: Grado de daño (medido con la escala HOECOL) de las plantas de arroz Palmar 18 a los 30 dds, según tratamiento herbicida preemergente y tiempo de espera. Atra = atrazina (2000 g ia/ha), Oxi = oxifluorfen (480 g ia/ha) y S = semanas antes de la siembra del arroz. Medias con letras iguales no son significativamente diferentes entre sí, según prueba de Tukey ($p > 0,05$). EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.

Cuadro 8: Peso seco de plantas vivas de arroz Palmar 18 a los 30 dds, en el testigo y según tratamiento herbicida y tiempo de espera en semanas (S) para la siembra del arroz. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.

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

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

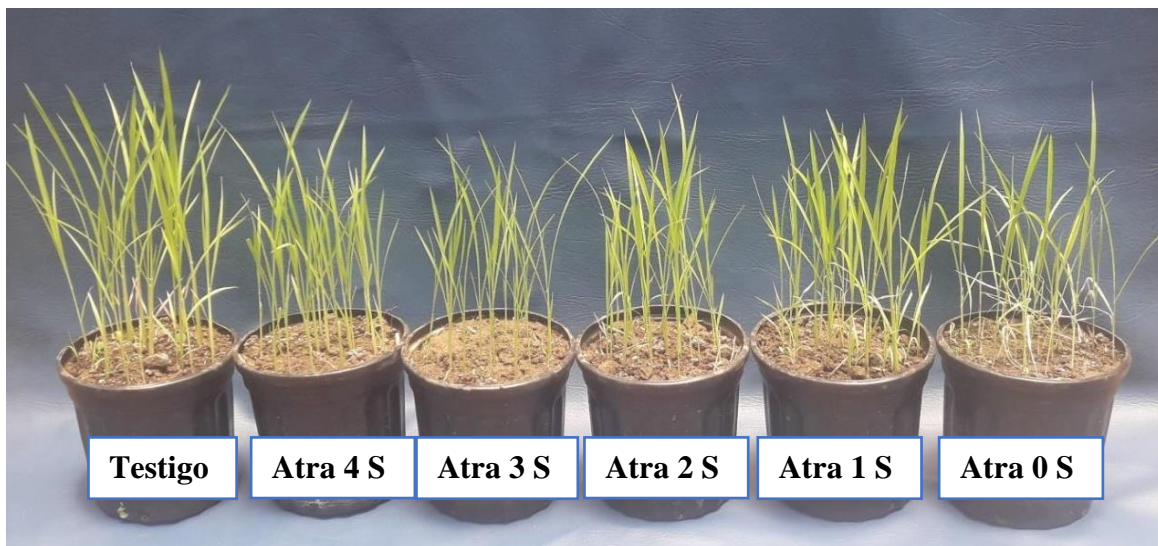


Figura 7: Efecto de la atrazina en el arroz Palmar 18 aplicado en diferentes momentos antes de la siembra. Fotografía tomada a los 30 dds. El orden de las macetas plásticas de izquierda a derecha: testigo, y aplicación de atrazina a las 4, 3, 2, 1 y 0 semanas antes de la siembra del arroz. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.

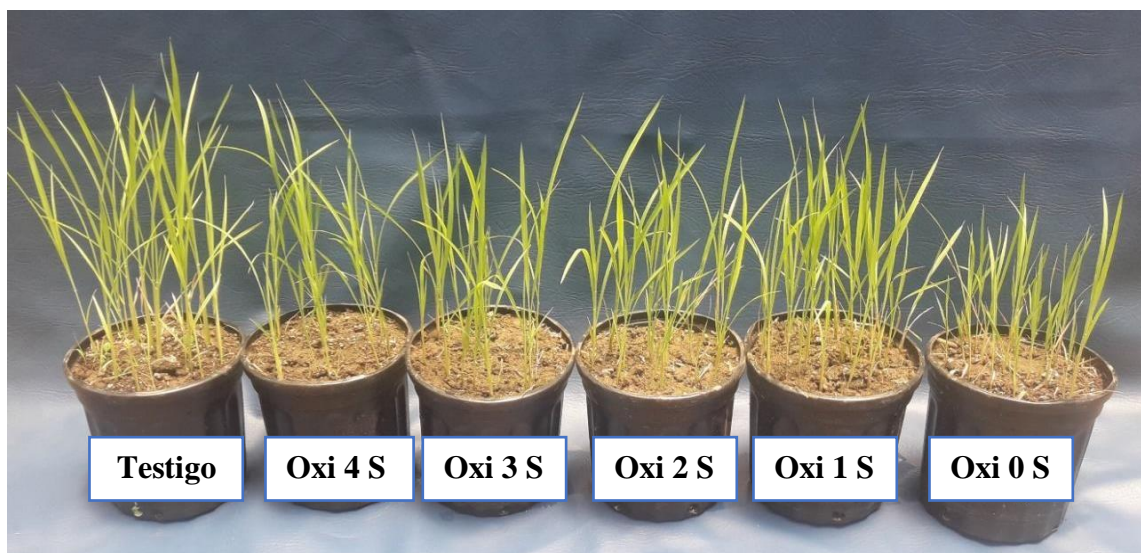


Figura 8: Efecto del oxifluorfen en el arroz Palmar 18 aplicado en diferentes momentos antes de la siembra. Fotografía tomada a los 30 dds. El orden de las macetas plásticas de izquierda a derecha: testigo, y aplicación de atrazina a las 4, 3, 2, 1 y 0 semanas antes de la siembra del arroz. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.

4.3. Experimento 3. Eficacia en el control de *O. latifolia*, de herbicidas posemergentes de selectividad limitada al arroz comercial

Los herbicidas posemergentes imazapir + imazapic, quizalofop-p-etil, fenoxaprop-p-etil, profoxidim y setoxidim evaluados para el control de *O. latifolia* redujeron significativamente, en todas las dosis, la cantidad de plantas de esta maleza y la producción de biomasa con valores de peso seco cercanos a 0 g (Cuadro 9). La eficiencia de los herbicidas, también se reflejó en un control entre el 95 y 100% de las plantas a los 30 dda (Figura 9).

Los sensores colocados durante el experimento, mostraron datos en el rango adecuado para el crecimiento del arroz pato, con un promedio constante de 0,42 m³/m³ en el contenido de agua, un máximo de radiación PAR de 1450 μmol/m²/s y una temperatura del suelo máxima de 34 °C (Anexo 8).

Cuadro 9: Cantidad de plantas vivas y peso seco (g) de *O. latifolia* a los 30 dda, según tratamientos con herbicidas posemergentes y el testigo sin herbicida. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.

Tratamiento (g ia/ha)	Número de plantas vivas	Peso seco (g)
Testigo sin herbicida	15 C	1,99 C
Imazapir + imazapic 120	0,40 AB	0,01 AB
Imazapir + imazapic 160	0 A	0 A
Imazapir + imazapic 200	0 A	0 A
Fenoxaprop-p-etil 50	0,20 A	0,05 A
Fenoxaprop-p-etil 70	0 A	0 A
Fenoxaprop-p-etil 90	0,6 AB	0,01 AB
Profoxidim 150	0,8 AB	0,04 AB
Profoxidim 200	0 A	0 A
Profoxidim 250	0,40 A	0,02 A
Quizalofop-p-etil 70	0 A	0 A
Quizalofop-p-etil 100	0 A	0 A
Quizalofop-p-etil 130	0 A	0 A
Setoxidim 125	0,60 AB	0,02 AB
Setoxidim 225	0,20 A	0 A
Setoxidim 325	0,40 AB	0 AB

Medias reales con letras iguales no son significativamente diferentes entre sí, según prueba de Kruskal-Wallis ($p > 0,05$).

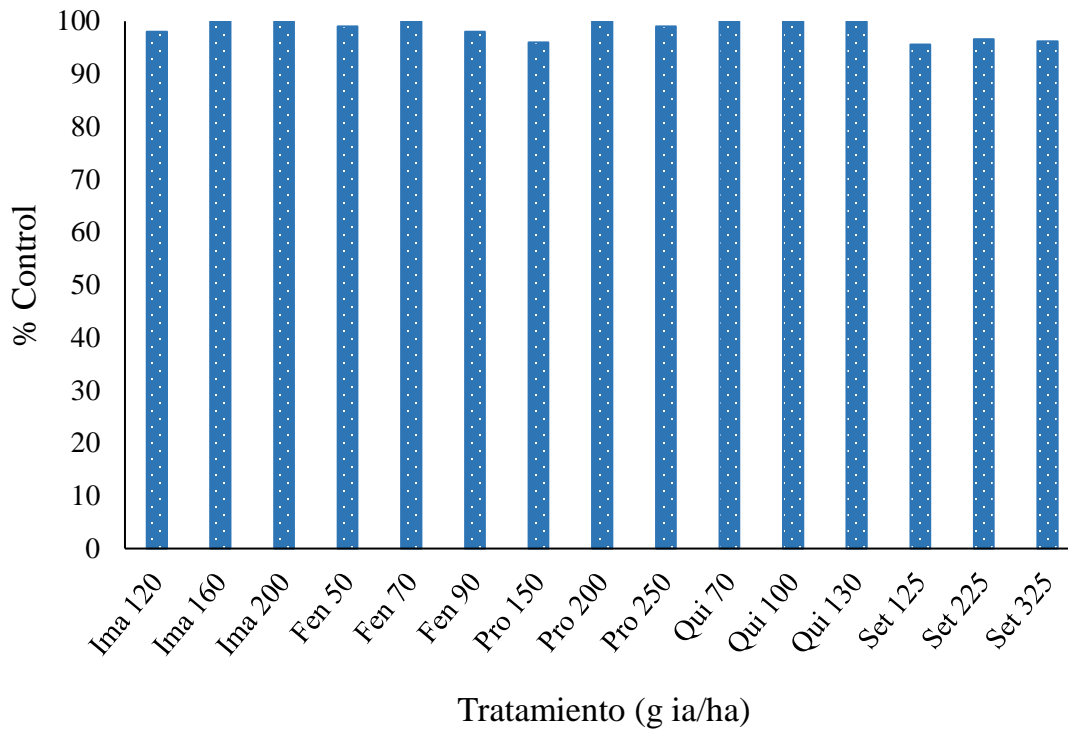


Figura 9: Porcentaje de control de *O. latifolia* a los 30 dda, según tratamiento con herbicidas posemergentes. Ima = imazapir + imazapic, Fen = fenoxaprop-p-etil, Pro = profoxidim, Qui = quizalofop-p-etil y Set = setoxidim. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.

Todos los herbicidas posemergentes afectaron considerablemente el crecimiento y desarrollo del 100% de las plantas de *O. latifolia* en comparación con el testigo sin herbicida. En las figuras 10, 11, 12, 13 y 14 se aprecia la fuerte necrosis ocasionada por cada uno de los herbicidas utilizados.

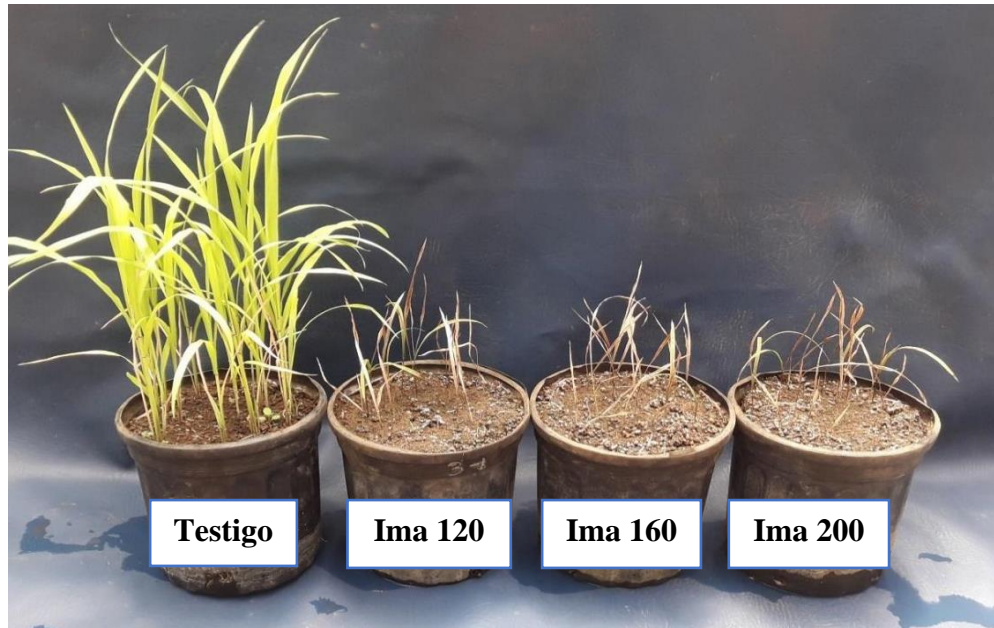


Figura 10: Efecto del imazapir + imazapic en *O. latifolia* a los 30 dda. El orden de las macetas plásticas, de izquierda a derecha, corresponde al testigo y las dosis 120, 160 y 200 g/ha. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.

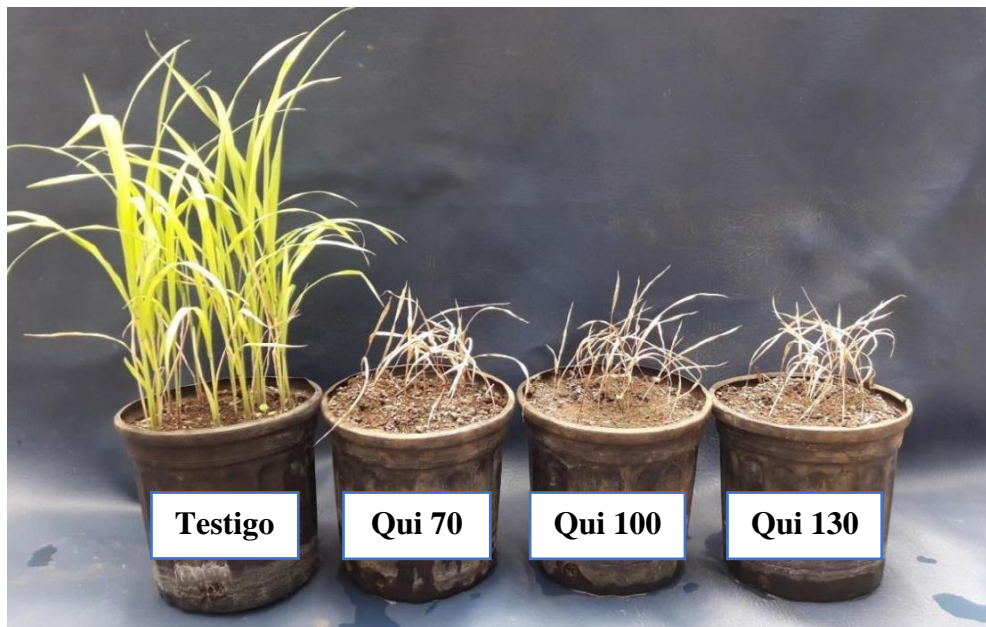


Figura 11: Efecto del quizalofop-p-etil en *O. latifolia* a los 30 dda. El orden de las macetas plásticas, de izquierda a derecha, corresponde al testigo y las dosis 70, 100 y 130 g/ha. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.

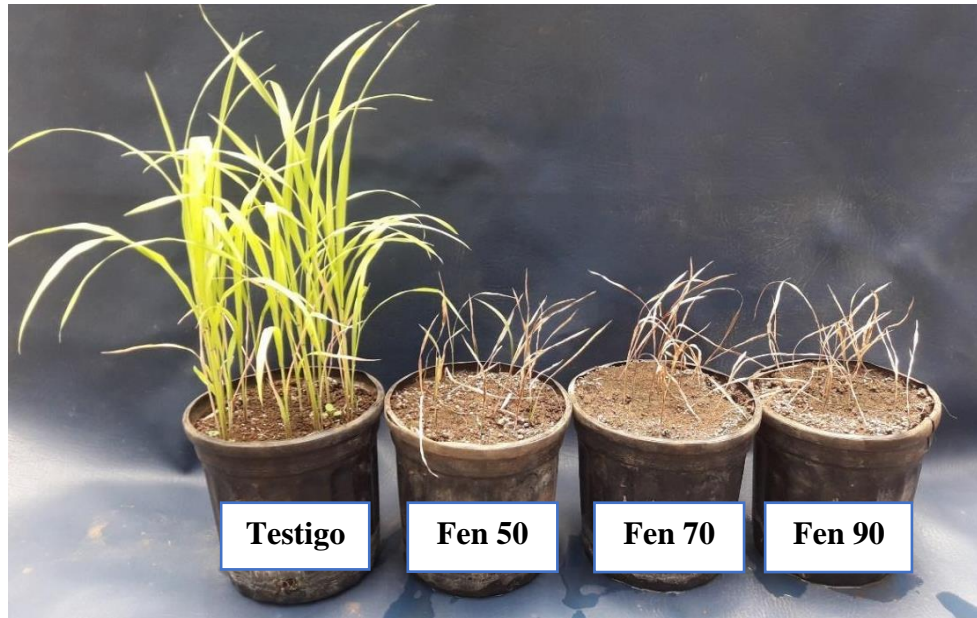


Figura 12: Efecto del fenoxaprop-p-etil en *O. latifolia* a los 30 dda. El orden de las macetas plásticas, de izquierda a derecha, corresponde al testigo y las dosis 50, 70 y 90 g ia/ha. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.

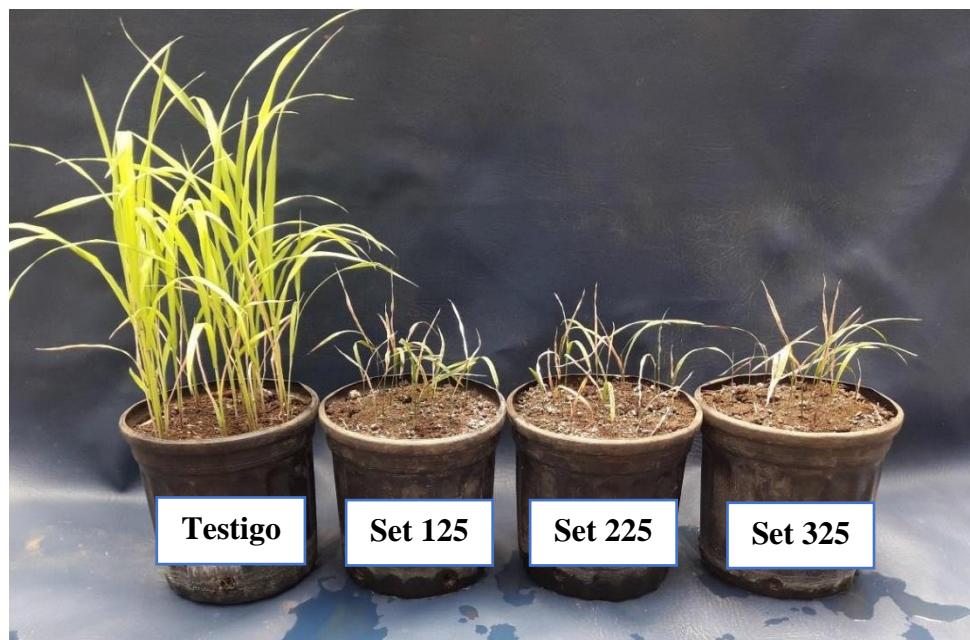


Figura 13: Efecto del setoxidim en *O. latifolia* a los 30 dda. El orden de las macetas plásticas, de izquierda a derecha, corresponde al testigo y las dosis 125, 225 y 325 g ia/ha. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.

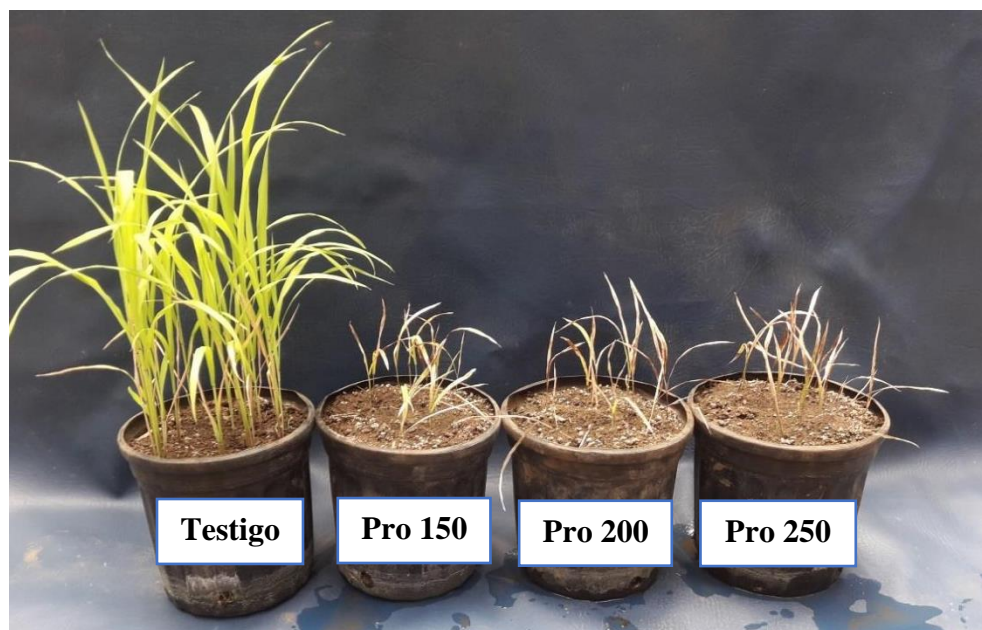


Figura 14: Efecto del proflorfen en *O. latifolia* a los 30 dda. El orden de las macetas plásticas, de izquierda a derecha, corresponde al testigo y las dosis 150, 200 y 250 g ia/ha. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.

4.4. Experimento 4. Efecto en la variedad de arroz Palmar 18, de los herbicidas posemergentes con selectividad limitada, seleccionados en el experimento 3

Cabe indicar que, aun cuando todos los herbicidas posemergentes en la dosis más baja evaluada dieron un 100% de control del arroz pato (experimento 3), se seleccionaron para este experimento 4, los herbicidas proflorfen, setoxidim y fenoxaprop-p-etil. No se incluyeron imazapir + imazapic, ni quizalofop-p-etil, debido a que se sabe que eliminan al arroz comercial, siendo selectivos sólo a las variedades de arroz Clearfield y Provisia respectivamente, las cuales tienen incorporados genes de resistencia a tales herbicidas.

De los tres herbicidas evaluados los que causaron menor efecto negativo en el arroz Palmar 18 fueron, el proflorfen y el setoxidim. Estos herbicidas no afectaron la altura del dosel ni el peso de las plantas de arroz (Figuras 15 y 16), mientras que el grado de daño según la escala HOECOL fue leve. El proflorfen a los 15 dda presentó un 5 y 10% de daño cuando se aplicó en la fenología de 2-3 y 4-5 hojas respectivamente; mientras que a los 30 dda presentó un 2% de daño a las plantas de arroz en ambas fenologías. En el caso del setoxidim

éste presentó en fenología de 2-3 y 4-5 hojas un 20 y 15% de daño a los 15 dda, y un 5 y 10% de daño a los 30 dda respectivamente (Figura 17), algunas hojas de plantas de arroz Palmar 18 tratadas con este herbicida presentaron “rayaduras blanquecinas” a los 15 dda, síntoma que desapareció a los 30 dda.

El fenoxaprop-p-etil en comparación al testigo sin herbicida causó efectos negativos en las plantas de arroz Palmar 18, entre los cuales se registró una disminución significativa en la altura del dosel (Figuras 15), el peso seco de las plantas (Figura 16), con daño severo de 70 y 80% a los 15 y 30 dda respectivamente en el estado de desarrollo de 2-3 hojas, y daño de moderado a mediano (30 y 50%) a los 15 y 30 dda respectivamente en fenología de 4-5 hojas (Figuras 17).

Los sensores colocados durante el experimento, mostraron condiciones adecuadas para el crecimiento del arroz Palmar 18, con un promedio constante de $0,38 \text{ m}^3/\text{m}^3$ en el contenido de agua, un máximo de radiación PAR de $1250 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ y una temperatura máxima del suelo de $35 \text{ }^\circ\text{C}$ (Anexo 9).

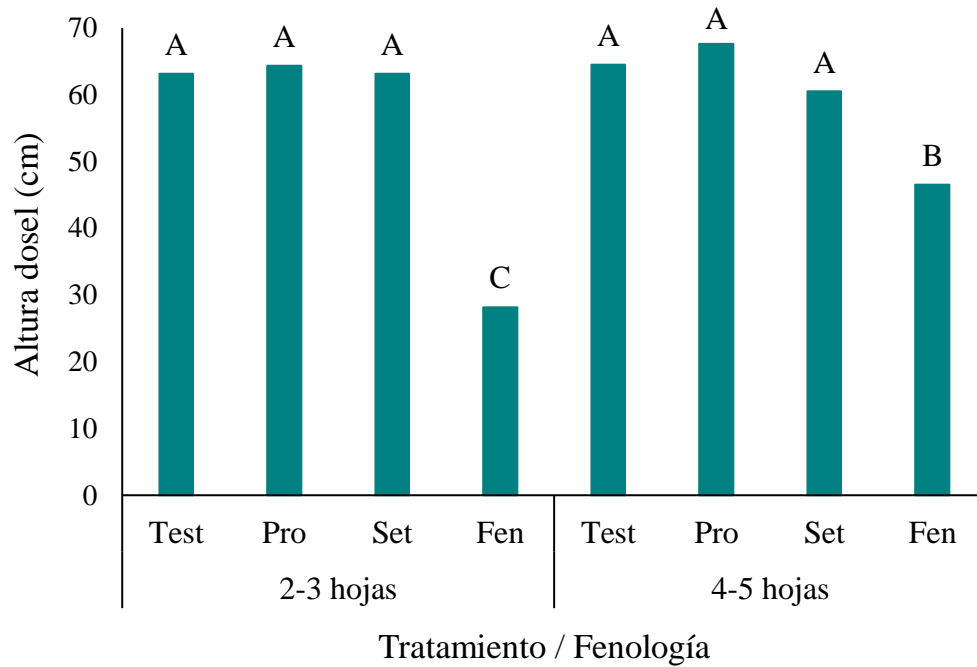


Figura 15: Altura del dosel de plantas de arroz Palmar 18 a los 30 dda, según tratamiento herbicida posemergente y fenología. Test = testigo, Pro = profoxidim, Set = setoxidim y Fen = fenoxaprop-p-etil. Medias con letras iguales no son significativamente diferentes entre sí, según prueba de DGC ($p > 0,05$). EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.

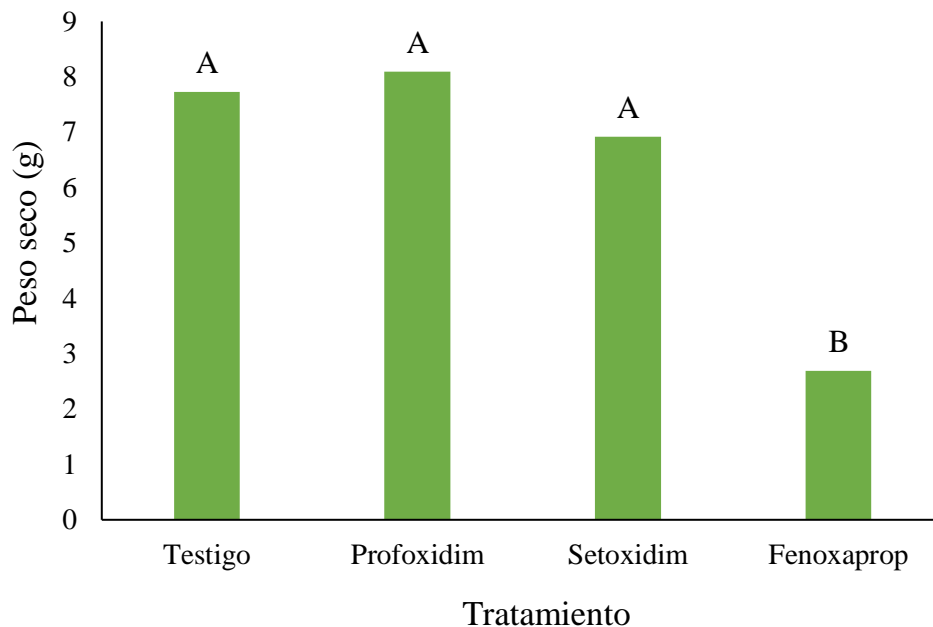


Figura 16: Peso seco de plantas vivas de arroz Palmar 18 a los 30 dda, según tratamiento herbicida posemergente y testigo sin aplicación. Medias con letras iguales no son significativamente diferentes entre sí, según prueba de DGC ($p > 0,05$). EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.

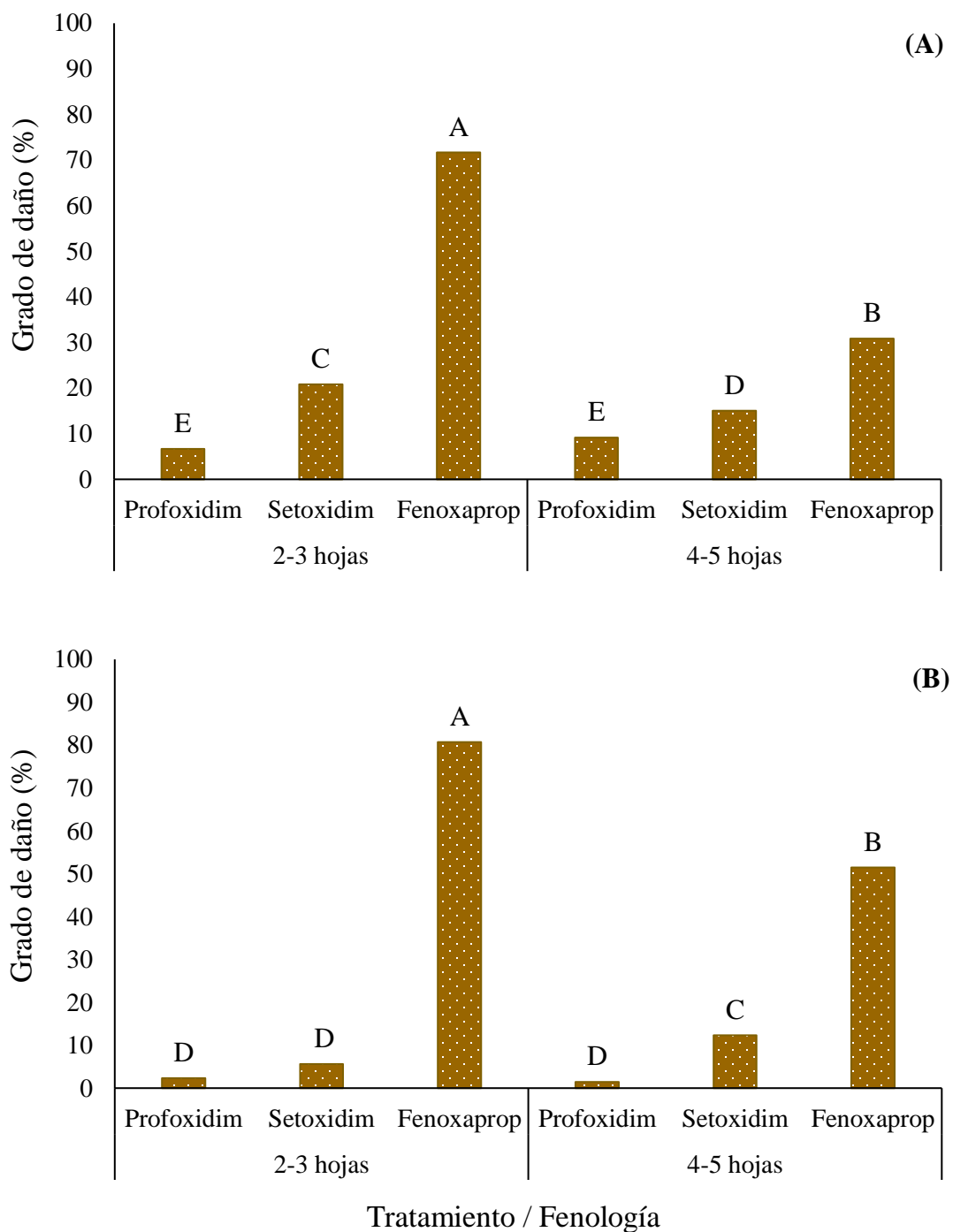


Figura 17: Grado de daño (medido con la escala HOECOL) en plantas de arroz Palmar 18 a los 15 (A) y 30 (B) dda, según tratamiento herbicida posemergente y fenología. Medias con letras iguales no son significativamente diferentes entre sí, según prueba de Tukey ($p > 0,05$). EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.

En concordancia con los datos anteriores, en la figura 18 se muestra el poco efecto de los herbicidas profoxidim y setoxidim aplicados en ambos estados de desarrollo del arroz Palmar 18; en contraste el fenoxaprop-p-etil, causó daños severos cuando fue aplicado en fenología de 2-3 hojas y moderados de 4-5 hojas, según la escala HOECOL.

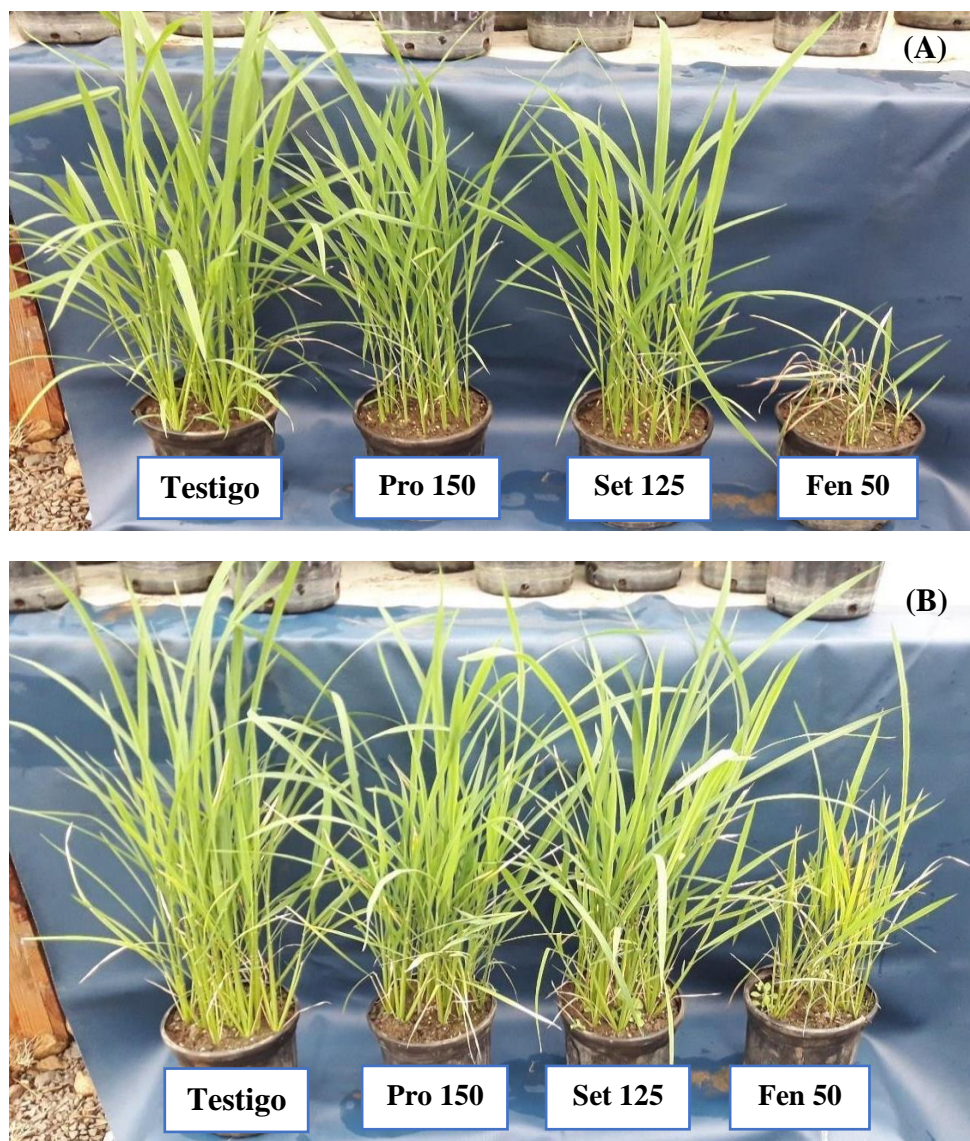


Figura 18: Efecto del profoxidim 150 g ia/ha (Pro), setoxidim 125 g ia/ha (Set) y fenoxaprop-p-etil 50 g ia/ha (Fen) aplicados en estado fenológico de 2-3 (A) y 4-5 (B) hojas en el arroz Palmar 18, en comparación con el testigo sin aplicar. Fotografías tomadas a los 30 dda. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.

5. Discusión

5.1. Tratamientos para la ruptura de latencia

La semilla de *O. latifolia* recolectada para este estudio presentó latencia inicial, por lo que fue necesario hacer pruebas previas para la ruptura de la misma, con el propósito de contar con mayor uniformidad en la germinación de la semilla utilizada en los experimentos con herbicidas preemergentes y poseemergentes para el control de *O. latifolia*. La latencia de semillas recién cosechadas es una característica de esta especie, ya que según Ortiz y Castillo (2007) en pruebas de germinación realizadas hasta 70 días después de la cosecha de la semilla de *O. latifolia*, ésta no presentó indicios de emergencia, por lo que señalaron que la semilla tenía una fuerte latencia.

El mejor tratamiento seleccionado en esta fase previa con un 65% de germinación, consistió en colocar la semilla de *O. latifolia* 1 h a temperatura de 40 °C, sumergirla en una solución de KNO₃ al 0,5% durante 24 horas, extraer la semilla de la solución y dejarla en reposo por 2 h. Este resultado concuerda con lo indicado por varios autores en cuanto a la ruptura de latencia, tales como Olmos (2007), quien indicó que la ruptura de latencia en semillas de arroz se obtiene cuando ésta absorbe una adecuada cantidad de agua y permanece a temperaturas entre 20-40 °C. Portuguez (2017) también encontró que la ruptura de latencia en semillas de *I. rugosum*, fue favorecida al sumergir la semilla en una solución de KNO₃ al 0,25% durante 24 horas; y Courtis (2013), indicó que un rango de temperatura de 40-42 °C puede ayudar a romper la latencia de semillas de arroz, sin causar daño al embrión.

5.2. Experimento 1. Eficacia de herbicidas preemergentes no selectivos en el control de *O. latifolia*

Con respecto al experimento de herbicidas preemergentes para el control de *O. latifolia*, el herbicida con mayor efecto fue el oxifluorfen con 100% de control en el rango de dosis de 480 a 960 g ia/ha; seguido de la atrazina a 2000 g ia/ha que alcanzó un 80% de control; razón por la cual, estos fueron los dos herbicidas escogidos para ser evaluados posteriormente en la determinación del tiempo de espera para la siembra de arroz comercial Palmar 18 (experimento 2).

De manera concordante con los resultados encontrados en este experimento, varios autores mencionan la eficacia del oxifluorfen en el control de varias poáceas y arroz maleza. Poddar *et al.* (2014) reportaron efectividad de oxifluorfen en dosis de 400 g ia/ha para controlar poáceas como *E. colona*, *E. crus-galli*, *E. indica*, entre otras, en el cultivo de arroz; sin embargo, también indicaron que la dosis de 300 g ia/ha mostró un control de malezas comparable a la dosis de 400 g ia/ha, por lo que se podría reducir la dosis, disminuir la carga química y mantener un control efectivo de poáceas. Según Yun *et al.* (2017) el oxifluorfen en dosis de 200 g ia/ha, utilizado en siembra directa y en trasplante de líneas de arroz con resistencia a inhibidores de la PPO, controló en un 87 y 93% el arroz rojo. En el caso de la atrazina, Galon *et al.* (2014) indican que la aplicación de atrazina en posemergencia temprana del maíz y arroz rojo (3 hojas a 2 macollas), y en dosis de 2500 g ia/ha controló la maleza en un 97% a los 30 dda. Cuevas (2015) también indica que la atrazina aplicada en preemergencia es eficaz para el control de arroz rojo, debiendo dejarse un tiempo de espera para la siembra de arroz comercial hasta que el herbicida no cause daños al cultivo.

Con respecto a los otros herbicidas preemergentes evaluados, debido a que ninguno alcanzó el 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 del todo, por cuanto hay resultados positivos en el control de arroz rojo (*O. sativa*) con estos herbicidas (Esqueda 2000; Herrera y Cruz 2011; Ortiz y López 2011; Ahmed y Chauhan 2015; Norsworthy *et al.* 2019).

5.3. Experimento 2. Determinación del tiempo de espera para la siembra de arroz Palmar 18, luego de la aplicación de los herbicidas preemergentes no selectivos

En este experimento se evaluó la dosis de oxifluorfen (480 g ia/ha) más baja efectiva en el control de *O. latifolia*, con la intención de reducir el tiempo de espera para la siembra de arroz comercial, la carga química, los costos y tener un menor impacto ambiental; aspectos que concuerdan con lo mencionado por Poddar *et al.* (2014) en estudios realizados con oxifluorfen en arroz comercial. Sin embargo, los resultados obtenidos en el experimento 2, no permitieron definir claramente el tiempo de espera para la siembra de arroz comercial Palmar 18, después de la aplicación de oxifluorfen (480 g i.a/ha) o atrazina (2000 g i.a/ha).

Aunque se debe indicar que en la siembra del arroz Palmar 18 realizada de 1 a 4 semanas después de la aplicación de los herbicidas, las plantas mostraron daños leves con posibilidades de recuperación; no obstante, esto no se cuantificó debido a que las plantas se cortaron a los 30 dds para determinar el peso seco.

El poco daño observado en el arroz sembrado una semana después de la aplicación del oxifluorfen, concuerda en parte con los resultados encontrados por Herrera y Cruz (2011), quienes indicaron un tiempo de espera de 10 días después de aplicar oxifluorfen en dosis de 1000 g ia/ha para la siembra de arroz comercial en un suelo arcilloso. Cuevas (2015) menciona que se debe esperar entre 8 a 15 días para sembrar arroz comercial y así evitar que ocurran daños al cultivo. Poddar *et al.* (2014) señalan un tiempo de espera de 4 días después de aplicar oxifluorfen en dosis de 150 a 400 g ia/ha para la siembra directa de arroz comercial en un suelo limo arenoso, siendo la dosis de 300 g ia/ha la de mayor producción de arroz comercial. Datos similares fueron obtenidos por Abraham *et al.* (2010), quienes mencionan que el oxifluorfen en dosis de 150 a 250 g ia/ha fue eficaz para el control de poáceas y hoja ancha cuando fue aplicado en preemergencia de las malezas, 4 días antes del trasplante del arroz, en un suelo franco limoso con muy bajo contenido de materia orgánica. Indican además que las plántulas de arroz mostraron síntomas iniciales de toxicidad, pero que posteriormente se recuperaron y dieron alta producción de grano y biomasa, similar a lo obtenido en el testigo sin malezas. También, Sathya *et al.* (2017) encontraron que el oxifluorfen en dosis de 150 a 400 g ia/ha aplicado en un suelo arenoso 3 días después del trasplante de arroz comercial con riego inmediato, causó daños iniciales a las plántulas, pero éstas se recuperaron y dieron una producción similar a los tratamientos con deshierba manual.

Soto y Agüero (1992), hacen referencia al oxifluorfen como un herbicida de uso especial en arroz comercial para el control de arroz rojo, aplicado en preemergencia y con posterior siembra al voleo del arroz comercial; indican que, esto es posible hacerlo dada la casi nula absorción radical y no translocación del oxifluorfen en la planta; no obstante, señalan que bajo condiciones inundadas pueden ocurrir daños a los brotes del arroz comercial en germinación. En condiciones de menor humedad la eficacia del oxifluorfen puede ser afectada, tal como lo señalan Herrera y Cruz (2011), quienes en condiciones de un suelo no nivelado y con presencia de terrones, el oxifluorfen en dosis de 1000 g ia/ha no fue lo suficientemente efectivo para el control de arroz rojo (*O. sativa*). En contraste, dosis de 960

g ia/ha de oxifluorfen aplicado en preemergencia y con lámina de agua, mostró un alto control de arces rojos en Hacienda Mojica en Guanacaste (Herrera, Comunicación personal 2019)⁵.

En el caso de la atrazina, Herrera y Cruz (2011), especifican que con una dosis de 1500 g ia/ha logró disminuir considerablemente la densidad de arroz rojo (*O. sativa*) los primeros 46 días después de ser aplicado en campo, además indican que las condiciones del experimento no permitieron determinar con exactitud el tiempo de espera para la siembra del arroz comercial. Andres *et al.* (2012) observaron un 90% de control de arroz rojo y *E. crus-galli* con atrazina en dosis de 1500 a 3000 g ia/ha, aplicado en preemergencia de la maleza y el cultivo de sorgo en un suelo alfisol. Esqueda (2000), también informó sobre el control de arroz rojo con atrazina a 1800 g ia/ha, pero al ser un herbicida no selectivo al arroz comercial, requiere de tiempos de espera o uso de protectantes en la semilla para no afectar el cultivo; sin embargo, no encontró protectantes efectivos para proteger la semilla de arroz comercial del efecto causado por la atrazina. Cuevas (2015) señala que, con atrazina, es necesario verificar el tiempo para la siembra de arroz comercial, ya que podría ser superior a los 45 días según la dosis utilizada. Garita (Comunicación personal, 2020)⁶ indica que, bajo condiciones de lluvia, la atrazina podría moverse en el perfil del suelo y quedar en la zona de crecimiento radical, por tanto, al ser sembrado el arroz en estas condiciones el daño podría ser más severo.

Garita (Comunicación personal 2020)⁵ señala que, en fincas comerciales de arroz ha observado que los productores luego de aplicar oxifluorfen esperan entre 2 y 3 semanas para sembrar la variedad comercial; y que el efecto de este herbicida en el cultivo es menor que la atrazina, debido a que es poco móvil en el suelo, no se absorbe por la raíz y el arroz al emerger en forma de aguja tiene poca superficie de contacto con el herbicida.

La variabilidad observada en los tiempos de espera para sembrar el arroz comercial luego de la aplicación de los herbicidas oxifluorfen y atrazina, puede deberse a que la residualidad de estos herbicidas es afectada por los contenidos de arcilla, materia orgánica del suelo,

⁵ Herrera, F. 2 feb. 2019. Eficacia del oxifluorfen para el control de arroz maleza y determinación de los tiempos de espera para la siembra de arroz comercial. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

⁶ Garita, I. 15 jun. 2020. Movilidad de la atrazina y oxifluorfen en el perfil del suelo y su efecto en el arroz comercial. San José, Costa Rica, Asociación Costarricense para el Estudio de las Malezas (ACEM).

actividad microbiana, condiciones climáticas, dosis del herbicida y las propiedades químicas de cada uno de ellos (Hansen *et al.* 2013; Sharma *et al.* 2013; Shaner 2014; Cara *et al.* 2017). Por esta razón, lo conveniente sería determinar el tiempo de espera para cada herbicida en las condiciones de campo donde se vayan a utilizar. Una forma sencilla de hacer esto, y utilizada por algunos productores, es aplicar el área determinada y luego de forma paulatina sembrar microparcels (1 m²) de la variedad de arroz que elija el productor, hasta encontrar el tiempo de espera que debe transcurrir entre la aplicación y la siembra del cultivo, para que este último no presente efectos negativos en el crecimiento, provocados por el herbicida (Herrera, Comunicación personal 2020)⁷.

5.4. Experimento 3. Eficacia en el control de *O. latifolia*, de herbicidas posemergentes de selectividad limitada al arroz comercial

Con relación al tercer experimento, se encontró que todos los herbicidas posemergentes fueron eficaces para el control de *O. latifolia*. Sin embargo, el uso potencial de estos herbicidas en plantaciones de arroz puede variar sustancialmente debido a que algunos de ellos son no selectivos al arroz convencional, siendo posible su uso solo en algunas variedades resistentes. Tal es el caso del quizalofop-p-etil que no se puede usar en variedades de arroz convencional y su uso se restringe a variedades de arroz con gen de resistencia a herbicidas inhibidores de la ACCasa en especial del grupo “fop”; conocida como tecnología Provisia (Herrera y Pineda 2017; BASF 2018a; Rosas *et al.* 2018; HRAC 2020a).

La eficacia del herbicida quizalofop-p-etil para el control de *O. latifolia* encontrada en esta investigación; concuerda con resultados indicados en la literatura para el control de arroz rojo (*O. sativa*). Noldin *et al.* (1998), encontraron que el quizalofop-p-etil en dosis de 70 g ia/ha controló en un 95% el arroz rojo (*O. sativa*). También Herrera y Pineda (2017) en pruebas realizadas en arroz variedad Provisia en zonas arroceras del país, observaron que dosis de 70 a 100 g ia/ha de quizalofop-p-etil fueron efectivas para el control de arroz maleza y otras poáceas. Además, Landcaster *et al.* (2018) obtuvieron una alta eficacia en el control

⁷ Herrera, F. 20 jul. 2020. Aplicación de tiempos de espera en condiciones de campo. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

de *E. colona* (92%), una de las principales malezas en arroz comercial, cuando utilizaron quizalofop-p-etil en dosis de 80 g ia/ha en 126 poblaciones de esta maleza.

Por otro lado, el imazapir + imazapic inhibidores de la ALS (HRAC, 2020a) también son herbicidas no selectivos al arroz convencional, por lo cual se utilizan en el sistema Clearfield que incluye variedades con gen de resistencia a inhibidores de la ALS, herbicidas imidazolinonas y planes de custodia para minimizar el flujo de genes de resistencia hacia poblaciones de arroz rojo (Rosas *et al.* 2018; Gárgaro 2018). La tecnología Clearfield es una alternativa eficaz para el control de arroz rojo, la cual podría controlar en un 99% la aparición de esta maleza y aumentar el rendimiento del cultivo hasta en un 55%; sin embargo, para minimizar el efecto del flujo de genes, es necesario implementar técnicas como rotación de cultivos y rotación de mecanismos de acción de herbicidas (Noldin *et al.* 2007; Ortiz y López 2011; Terano *et al.* 2016); ya que, como lo indican Shivrain *et al.* (2007), se podrían presentar hasta 170 plantas de arroz rojo resistentes a imidazolinonas por hectárea en un ciclo de cultivo con arroz variedad Clearfield, por lo que se puede incrementar rápidamente la presencia de plantas de arroz rojo resistentes en el corto plazo.

Cabe indicar que ambas tecnologías (Clearfield y Provisia) podrían ser utilizadas en lotes altamente infestados con *O. latifolia* y donde no haya arroz rojo resistente a estos herbicidas, ya que en forma natural *O. latifolia* (tetraploide) no se cruza con arroces diploides, como lo son el arroz rojo y el arroz comercial (Vaughan *et al.* 2003; Thomas *et al.* 2017) y por lo tanto, no se tendría el riesgo de flujo de genes de resistencia desde las variedades de arroz comercial con resistencia hacia el arroz pato.

Con respecto a los herbicidas profoxidim, setoxidim y fenoxaprop-p-etil, todos inhibidores de la ACCasa (HRAC 2020a), en esta investigación controlaron en un 100% a *O. latifolia*, resultado novedoso en vista de que estos herbicidas no se recomiendan para el control de arroces maleza, pero sí para el control de otras poáceas en el cultivo del arroz. Para el caso de profoxidim, la compañía fabricante lo recomienda para el control de *E. colona* y otras poáceas en arroz comercial, pero no para arroces maleza (BASF 2018b). Este herbicida se ha utilizado para el control de *E. crus-galli*, maleza importante en arroz en otras latitudes, tal como lo indican Panozzo *et al.* (2013), quienes observaron que el profoxidim en dosis de 100 g ia/ha controló biotipos resistentes a herbicidas inhibidores de la ALS, aunque el control de poblaciones con resistencia múltiple a ALS y ACCasa requirieron dosis más altas que la

dosis comercial. De forma similar, Kanatas (2020) indica que el profoxidim a 200 g i.a/ha controló el 100% del biotipo susceptible de *E. crus-galli* estudiado. También se ha utilizado como tratamiento complementario a otros herbicidas para el control de algunas poáceas resistentes a otros grupos químicos, tal el caso de *E. phyllopogon* resistente a los herbicidas penoxsulam y bispiribac sodio, que fue controlada con una aplicación posemergente de profoxidim en mezcla con halosulfuron (Vasilakoglou *et al.* 2018).

Pereira *et al.* (2012) encontraron que el setoxidim en dosis de 184 g ia/ha aplicado en estado de desarrollo de 4-6 hojas de *Digitaria ciliaris* (Retz.) Koeler, presentó un 99% control de esta maleza. En Costa Rica el setoxidim está registrado en el cultivo de arroz en un rango de dosis de 45 a 100 g ia/ha para el control de poáceas como *E. colona*, *E. crus-galli*, *L. filiformis*, *I. rugosum*, *I. unisetus*, *Setaria* spp., *E. indica*, *R. cochinchinensis* y *Cenchrus* spp. (AGROTICO 2018; SFE 2020). Aunque el setoxidim se ha recomendado para el control de poáceas como las indicadas anteriormente, Noldin *et al.* (1998) encontraron que aplicaciones de este herbicida en dosis de 400 g ia/ha en soya, controló en un 67% el arroz rojo; dosis que, si bien puede ser tolerada por la soya, supera la dosis comercial recomendada de este herbicida en el cultivo de arroz. Este resultado contrasta con el 100% de control de *O. latifolia* obtenido en esta investigación con 125 g i.a/ha de setoxidim, lo que sugiere una marcada diferencia de respuesta entre *O. sativa* y *O. latifolia*.

En el caso del fenoxaprop-p-etil, los resultados obtenidos en esta investigación donde se obtuvo un 100% de control de *O. latifolia* con un rango de dosis de 50 a 90 g i.a/ha, concuerdan con lo indicado para el control de otras poáceas en el cultivo del arroz por varios autores. Soto y Agüero (1992) indican su uso posemergente a una dosis de 90 y 120 g ia/ha para el control de poáceas en arroz; mientras, Vallejos y Soto (1995) señalan que una dosis de 90 g ia/ha fue efectiva en el control de *I. rugosum* en el cultivo de arroz. También se indica que el fenoxaprop-p-etil a 45 g i.a/ha es efectivo para el control de poáceas menores a 15 cm de altura, pero, en especies como *S. halepense* con altura de 25 a 40 cm requieren de una dosis de 67,5 g i.a/ha para su control (Esqueda *et al.* 2010; Esqueda-Esquivel *et al.* 2015).

5.5. Experimento 4. Efecto en la variedad de arroz Palmar 18, de los herbicidas posemergentes con selectividad limitada, seleccionados en el experimento 3

Debido a que el quizalofop-p-etil solo puede ser utilizado en variedades Provisia y el imazapir + imazapic en variedades Clearfield no fueron considerados en el experimento 4. En este experimento se evaluó la selectividad de los herbicidas profoxidim, setoxidim y fenoxaprop-p-etil, en la dosis más baja efectiva para controlar *O. latifolia*. La escogencia de la dosis efectiva más baja buscó reducir costos, carga química y, menor impacto al ambiente y al cultivo. Además, estos herbicidas tienen potencial de uso en variedades de arroz convencional, que son las que predominan en las fincas arroceras, en muchas de las cuales está presente *O. latifolia*; razón por la cual, el propósito de este experimento fue encontrar un tratamiento posemergente que controlara *O. latifolia* sin afectar a la variedad Palmar 18, una de las variedades más sembradas en el país al momento de realizar esta investigación (CONARROZ 2019).

Los resultados indicaron que el profoxidim a 150 g ia/ha y el setoxidim a 125 g ia/ha, además de eliminar las plantas de *O. latifolia* (experimento 3), no causaron efectos negativos significativos cuando fueron aplicados en los estados de desarrollo de 2-3 y de 4-5 hojas de la variedad Palmar 18, lo cual se ajusta al propósito deseado en este experimento 4. Mientras que, el fenoxaprop-p-etil en la dosis de 50 g ia/ha, si bien controló el 100% de *O. latifolia*, causó daños del 80% cuando fue aplicado en ambos estados fenológicos de las plantas de Palmar 18; por lo cual no sería conveniente su uso para el control de *O. latifolia* en esta variedad de arroz.

Con respecto al profoxidim, su uso está registrado en arroz convencional, y se utiliza en dosis de 150 a 200 g ia/ha en estados de desarrollo mayores a 2 hojas en plantaciones de arroz con buen suministro de agua (BASF 2018b). Esto indica que la dosis de 150 g ia/ha de profoxidim que tuvo control total de *O. latifolia* está en el rango de la dosis comercial tolerada y recomendada para el cultivo, por lo cual es uno de los tratamientos con mayor potencial para utilizar en plantaciones de arroz convencional con alta incidencia de *O. latifolia*. También Vasilakoglou *et al.* (2018) mencionan que el profoxidim aplicado en fenología de 7-8 hojas fue selectivo al arroz comercial.

En el caso del setoxidim, también tiene potencial para ser utilizado en arroz comercial, ya que está registrado para ser utilizado en este cultivo en dosis de 45 a 100 g ia/ha (AGROTICO 2018). Griffin y Baker (1990) indicaron que el setoxidim en dosis de 112 g ia/ha solo causó daños leves cuando se aplicó en pre-inundación en tres variedades de arroz comercial. Para futuras investigaciones, la dosis de setoxidim podría ser ajustada con la finalidad de encontrar una dosis más adecuada para el control de *O. latifolia* y que esté en el rango recomendado para su uso en variedades de arroz comercial.

El daño ocasionado por el fenoxaprop-p-etil en arroz Palmar 18 fue mayor al mencionado en otras variedades y condiciones; ya que en la década de los 90's se realizaron varios estudios con herbicidas inhibidores de la ACCasa, siendo el fenoxaprop-p-etil el más selectivo cuando fue aplicado entre 20 y 45 dds a una dosis entre 90 y 120 g ia/ha, no obstante, esa selectividad se consideró parcial (Soto y Agüero 1992). También Griffin y Baker (1990) encontraron que el fenoxaprop causó daños entre 4 y 11% al arroz comercial cuando fue aplicado en pre-inundación con dosis de 168 g ia/ha; sin embargo, estos daños incrementaron significativamente cuando se aplicó en pos-inundación o si se aumentó la dosis del herbicida. Otros autores indican que el arroz tolera mejor al fenoxaprop-etil durante la etapa vegetativa, pero que el herbicida puede causar daños leves transitorios en el arroz comercial y que el tiempo de recuperación del arroz es mayor conforme se aumenta la dosis aplicada (Vallejos y Soto 1995; Esqueda-Esquivel *et al.* 2015). Lo anterior, hace suponer que el arroz Palmar 18 es más sensible al fenoxaprop-p-etil que otras variedades de arroz, debido a que la dosis de 50 g ia/ha le causó daños severos en ambos estados de desarrollo evaluados. También sobresale que la especie *O. latifolia* es más sensible que las variedades comerciales de *O. sativa*, ya que la dosis de 50 g ia/ha causó la mortalidad total de las plantas de esta especie.

Por otra parte, es necesario destacar que durante la investigación los sensores de contenido de agua, temperatura del suelo y radiación PAR indicaron que todos los experimentos estuvieron bajo condiciones óptimas para el crecimiento adecuado de las plantas de *O. latifolia* y Palmar 18. Enciso *et al.* (2007) señalan que el contenido de agua de un suelo saturado debe estar en un rango de 0.3 a 0.4 m³/m³. Vargas (2010) indica que, en el cultivo de arroz, la temperatura óptima en emergencia y establecimiento de las plantas es de 25 a 30 °C, y Ayari *et al.* (2000) señalan que la radiación PAR que deben recibir las plantas

C3 es de 1200 a 1400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, ya que este factor es esencialmente importante en etapas de llenado y maduración del grano.

Esta investigación muestra los primeros resultados en determinar la eficacia de herbicidas preemergentes y posemrgentes, con potencial de uso en arroz comercial, para el control de *O. latifolia* en Costa Rica. Los datos obtenidos, presentan opciones de control químico que el productor de arroz puede considerar para tratar lotes infestados con esta maleza. Sin embargo, se debe continuar con una fase de validación de los resultados para ajustar estas estrategias de manejo de *O. latifolia* bajo las condiciones propias de cada zona arroceras.

6. Conclusiones

- De los herbicidas preemergentes evaluados, el oxifluorfen resultó ser el más efectivo para el control de *O. latifolia*, alcanzando un 100% de control aún en la dosis más baja evaluada.
- Para un suelo arcilloso y bajo las condiciones de invernadero donde se realizaron los estudios, no se logró determinar con certeza el tiempo de espera entre la aplicación de oxifluorfen o atrazina y la siembra de arroz Palmar 18.
- Todos los herbicidas posemrgentes en las dosis evaluadas, y aplicados en el estado de desarrollo de 2 a 3 hojas, dieron un control total de *O. latifolia*.
- Los herbicidas profoxidim y setoxidim fueron eficaces para el control de *O. latifolia* y presentaron selectividad al arroz Palmar 18 cuando fueron aplicados en estado de desarrollo desde 2 a 5 hojas, siendo alternativas importantes para el control de esta maleza en plantaciones con variedades convencionales de arroz.
- Los herbicidas imazapir + imazapic y quizalofop-p-etil controlaron en 100% a *O. latifolia*, pero debido a que no son selectivos a las variedades convencionales de arroz, sólo podrían utilizarse, en el primer caso en variedades Clearfield, y en el segundo caso en variedades Provisia, que tienen genes de resistencia a estos herbicidas respectivamente.

7. Sugerencias

- Determinar bajo condiciones de campo el tiempo de espera para sembrar el arroz comercial después de aplicar oxifluorfen o atrazina, según cada situación particular donde se vayan a utilizar estos productos.
- Validar los mejores tratamientos obtenidos en esta investigación para el control de *O. latifolia* en otras variedades de arroz convencional, y en distintas condiciones edáficas y de manejo del cultivo.
- Validar en condiciones de campo con alta infestación de *O. latifolia* la utilización secuencial de oxifluorfen 480 g ia/ha como preemergente, dejar el tiempo de espera adecuado para sembrar el arroz con el menor disturbio posible del suelo, y aplicar en posemergencia temprana profoxidim a 150 g ia/ha o setoxidim a 125 g ia/ha, para controlar las plantas de *O. latifolia* que pudieran escapar a la aplicación de oxifluorfen.
- La tecnología Clearfield (que incluye variedades de arroz resistentes a imidazolinonas) se podría utilizar en lotes altamente infestados por *O. latifolia*, pero que no tengan arroz maleza (*O. sativa*) resistentes a este mismo grupo de herbicidas; esto bajo la premisa de la casi nula probabilidad exitosa de cruzamiento natural entre *O. latifolia* y *O. sativa*, incluyendo las variedades comerciales de arroz.

8. Literatura citada

- Abraham, C; Prameela, P y Priya, M. 2010. Efficacy of oxyfluorfen for weed control in transplanted rice. *Journal of Crop and Weed*. 6(2): 67-71.
- AGROTICO. 2018. Nabu-S 12,5 EC. (en línea, sitio web). Consultado el 29 de nov. del 2019. Disponible en <http://agrotico.net/web/index.php/nabu-s-12-5-ec>
- Ahmed, S y 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.
- Andres, A; Concenço, G; Theisen, G; Galon, L; Tesio, F. 2012. Manejo del arroz rojo (*Oryza sativa*) y pasto de corral (*Echinochloa crus-galli*) cultivado con sorgo con una tasa reducida de atrazina y métodos mecánicos. *Experimental Agriculture*. 48(4): 587-596.

- Angeles-Shim, R; Shim, J; Vinarao, R; Lapis, R; Singleton, J. 2020. A novel locus from the wild allotetraploid rice species *Oryza latifolia* Desv. confers bacterial blight (*Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*) resistance in rice (*O. sativa*). PLOS ONE. 15(2): 1-13.
- Angeles-Shim, R; Vinarao, R; Marathi, B; Jena, K. 2014. Molecular Analysis of *Oryza latifolia* Desv. (CCDD genome)-derived introgression lines and identification of value-added traits for rice (*O. sativa* L.) Improvement. Journal of Heredity. 105(5): 676-689.
- Arce Cascante, C. 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 Lic. San José, Costa Rica. Universidad de Costa Rica. 56 p.
- Armenta, J y J, Coulombe. 1993. Highlights of the Caribbean Rice Improvement Network Activities (1986-1992). Bonao, República Dominicana. Disponible en CRIN/CIAT/IRRI/IICA/SEA. 53-65.
- Asociación Latinoamericana de malezas (ALAM). 1974. Resumen del panel sobre métodos de evaluación de control de malezas en Latinoamérica. II Congreso de ALAM. Cali, Colombia. Revista de la Asociación Latinoamericana de Malezas. 1(1): 6-12.
- Awan, T; Cruz, P y Chauhan, B. 2016. Effect of pre-emergence herbicides and timing of soil saturation on the control of six major rice weeds and their phytotoxic effects on rice seedlings. Crop Protection. 83: 37-47.
- Ayari, O; Samson, G; Dorais, M; Boulanger, R; Gosselin, A. 2000. Stomatal limitation of photosynthesis in winter production of greenhouse tomato plants. Physiol. Plant. 110: 558-564.
- BASF (Badische Anilin-und Soda-Fabrik). 2018 a. BASF lança o Sistema de Arroz Provisia™ para melhorar as estratégias de rotação de culturas no mundo. (en línea, sitio web). Consultado el 29 de nov. del 2019. Disponible en <https://www.basf.com/br/pt/media/news-releases/2018/06/BASF-lanc-a-o-Sistema-de-Arroz-Provisia--para-melhorar-as-estrategias-de-rotacao-de-culturas-no-mundo.html>
- BASF (Badische Anilin-und Soda-Fabrik). 2018 b. Aura® 20 EC, herbicida para arroz. (en línea, sitio web). Consultado el 29 de nov. del 2019. Disponible en <https://agriculture.basf.com/cr/es/Proteccio%CC%81n-de-los-cultivos/Aura-EC.html>

- Burgos, N; Norsworthy, J; Scott, R; Smith, K. 2008. Red rice (*Oryza sativa*) status after 5 years of imidazolinone-resistant rice technology in Arkansas. *Weed Technology*. 22(1): 200-208.
- Caicedo Ordoñez, J. 2008. Evaluación de características agronómicas de cuatro líneas interespecíficas de arroz (*Oryza sativa/Oryza latifolia*) comparadas con dos variedades comerciales y una nativa en el corregimiento #8 de Zacarías Municipio de Buenaventura. Tesis Lic. Buenaventura, Colombia. Universidad del Pacífico. 35 p.
- Cara, I; Lipsa, F; Cara, M; Burtan, L; Țopa, D; Jitareanu, G. 2017. Dissipation of acetochlor and residue analysis in maize and soil under field conditions. *AgroLife Scientific Journal*. 6(1): 48-55.
- Castro, H. 1999. Manejo de arroces contaminantes en las áreas productoras de arroz comercial de Costa Rica. Taller global de control de arroz rojo. FAO. Roma. 156 p.
- Català, M. 1995. Chemical and cultural practices for red rice control in rice fields in Ebro Delta (Spain). *Crop Protection*. 14(5): 405-408.
- Chauhan, B; Awan, T; Abugho, S; Evengelista, G; Yadav, S. 2015a. Effect of crop establishment methods and weed control treatments on weed management, and rice yield. *Field Crops Research*. 172: 72-84.
- Chauhan, B; Namuco, O; Ocampo, L; Son, T; Thu, T; Nam, N; Phuong, L; Bajwa, A. 2015b. Weedy rice (*Oryza sativa* f. *spontanea*) problems and management in wet direct-seeded rice (*O. sativa* L.) in the Mekong Delta of Vietnam. *Crop Protection*. 78: 40-47.
- Chavarría Pérez, L. 2011. Crecimiento y absorción de nutrimentos en dos cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) en la región Pacífico Central. Tesis Lic. San José, Costa Rica. Universidad de Costa Rica. 103 p.
- CONARROZ (Corporación Arrocera Nacional). 2019. Informe estadístico período 2018-2019. (en línea). Consultado el 24 mar. Del 2020. Disponible en https://www.conarroz.com/userfile/file/INFORME_ANUAL_ESTADISTICO_PERIODO_2018_2019.pdf
- CONARROZ (Corporación Arrocera Nacional). 2020. Informe estadístico período 2019-2020. (en línea). Consultado el 15 nov. del 2020. Disponible en http://www.conarroz.com/userfile/file/INFORME_ANUAL_ESTADISTICO_PERIODO_2019_2020.pdf

- Courtis, A. 2013. Guía de estudio: Germinación de semillas. Cátedra de fisiología vegetal. UNNE. 22 p.
- Cuevas, A. 2015. Alternativas de manejo de poblaciones de arroz rojo en el programa AMTEC FEDEARROZ Colombia. *Revista Arroz*. 518(63): 4-12.
- Delouche, J; Burgos, N; Gealy, D; Zorrilla, G; Labrada, R. 2007. Arroces maleza-origen, biología y control. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma, Italia. 157 p.
- Durand-Morat, A; Lanier, L; Thoma, G. 2018. The implications of red rice on food security. *Global Food Security*. 18: 62-75.
- Enciso, J; Porter, D y Périès, X. 2007. Uso de sensores de humedad del suelo para eficientizar el riego. Extensión Cooperativa de Texas, el Sistema Universitario Texas A&M. 13 p.
- Esqueda, V. 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.
- Esqueda, V; Tosquy, O; Flores, D. 2010. Control de malezas en el cultivo del arroz de temporal en Veracruz. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Veracruz, México. 53 p.
- Esqueda-Esquivel, V; Uresti-Durán, D; Hernández-Aragón, L. 2015. Alternativas al fenoxaprop -etil para el control del zacate Johnson (*Sorghum halepense*) en arroz de riego. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*. 2(6): 317-325.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2020. Situación alimentaria mundial. (en línea, sitio web). Consultado el 18 de abr. del 2020. Disponible en <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/>
- Ferrero, A y Vidotto, F. 2000. Red rice control in rice pre- and post-planting. Global Workshop on Red Rice Control (1999, Varadero, Cuba). Roma, Italia, FAO. 95-107 p.
- Ferrero A., Vidotto F. 2002. Biology and control of red rice (*Oryza sativa* L. var. *sylvatica*) infesting Italian rice fields. In Hill J.E., Hardy B. (eds.). Proceedings 2nd Temperate Rice Conference. Los Baños, Philippines, International Rice Research Institute. 523-533 p.

- Fischer, A. 1999. Problems and opportunities for managing red rice in Latin America. In: Report of the global workshop on red rice control. Report of de global workshop on red rice control. Varadero, Cuba. 77-85.
- Fleck, N; Menezes, V; Ramirez H. 2003. Controle químico seletivo de angiquinho e arroz-vermelho em arroz irrigado utilizando o sistema Clearfield®. Congresso Brasileiro de arroz irrigado. Balneário Camboriú, Brasil. 465-467.
- Flora de Nicaragua. 2020. *Oryza latifolia* Desv. (en línea, sitio web). Consultado el 15 mar. del 2020. Disponible en <http://legacy.tropicos.org/name/25512231?projectid=7>
- Galon, L; Concenço, G; Juarez, 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.
- Gárgaro, C. 2018. Ciencia, Tecnología y Mercado: Investigaciones en Arroz en el INTA argentino. *Journal of Technology Management & Innovation*. 13(1): 75-83.
- Gealy, D; Mitten, D y Rutger, N. 2003. Commentary Gene Flow Between Red Rice (*Oryza sativa*) and Herbicide-Resistant Rice (*O. sativa*): Implications for Weed Management. *Weed Technology*. 17(3): 627-645.
- Griffin, J y Baker, J. 1990. Tolerance of rice (*Oryza sativa*) cultivars to Fenoxaprop, Sethoxydim, and Haloxypop. *Weed Science*. 38: 528-531.
- Hansen, A; Treviño-Quintanilla, L; Márquez-Pacheco, H; Villada-Canela, M; Gonzalez-Márquez, L; Guillén-Garcés, R; Hernández-Antonio, A. 2013. Atrazina: un herbicida polémico. *Rev. Int. Contam. Ambie*. 29: 65-84.
- Herrera, F y Cruz, F. 2011. Evaluación de herbicidas preemergentes para el manejo de biotipos de arroz maleza con resistencia a imidazolinonas. BASF de Costa Rica. 18 p.
- Herrera, F y Pineda, A. 2017. Evaluación de la eficacia biológica del herbicida BAS915 23H (quizalofop-ethyl, 10 EC) para el control de malezas gramíneas y arroces maleza en el cultivo de arroz "Sistema Provisia" (*Oryza sativa*) en Costa Rica. BASF de Costa Rica. 46 p.
- Hoyos, V; Plaza, G; Caicedo, A. 2017. Diversidad genética del arroz maleza colombiano. XVI Congreso de la Sociedad Española de Malherbología. 97-10.

- HRAC (Herbicide Resistance Action Committee). 2020 a. Global Classification Lookup. (en línea, sitio web). Consultado el 30 mar. del 2020. Disponible en <https://hracglobal.com/tools/classification-lookup>.
- HRAC. 2020 b. Mode of Action Classification 2020. (en línea, sitio web). Consultado el 22 mar. del 2020. Disponible en <https://hracglobal.com/tools/hrac-mode-of-action-classification-2020-map>.
- Jena, K. 2010. The species of the genus *Oryza* and transfer of useful genes from wild species into cultivated rice, *O. sativa*. *Breeding Science*. 60: 518-523.
- Kanatas, P. 2020. Susceptibility of *Echinochloa crus-galli* biotypes from rice crop to profoxydim and impact of the weed growth stage. *Journal of Agricultural Science*. 42(1): 168-173.
- Khaliq, A y Matloob, A. 2012. Germination and growth response of rice and weeds to herbicides under aerobic conditions. *International Journal of Agriculture & Biology*. 14: 775-780.
- Landcaster, Z; Norsworthy, J; Scott, R. 2018. Evaluation of Quizalofop-Resistant rice for Arkansas rice production systems. *International Journal of Agronomy*. 1-8.
- Landcaster, Z; Norsworthy, J; Scott, R; Gbur, E; Norman, R. 2019. Evaluation of quizalofop tank-mixtures for quizalofop-resistant rice. *Crop Protection*. 116: 7-14.
- Mickelson, J y Harvey, R. 2000. Cupgrass (*Eriochloa villosa*) management in corn (*Zea mays*) by sequential herbicide applications and cultivation¹. *Weed Technology*. 14: 502-510.
- Moinuddin, G; Kundu, R; Jash, S; Sarkar, A; Soren, C. 2018. Efficacy of atrazine herbicide for maize weed control in new alluvial zone of West Bengal. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*. 6(4): 707-716.
- Mundra, S y Maliwal, P. 2012. Influence of quizalofop-ethyl on narrow-leaved weeds in blackgram and its residual effect on succeeding crops. *Indian Journal of Weed Science*. 44(4): 231-234.
- Noldin, J; Chandler, J; McCauley, G; Sij, J. 1998. Red rice (*Oryza sativa*) and *Echinochloa* spp. control in Texas gulf coast soybean (*Glycine max*). *Weed Technology*. 12: 677-68.

- 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.
- Norsworthy, J; Fogleman, M; Barber, T; Gbur, E. 2019. Evaluation of acetochlor-containing herbicide programs in imidazolinone-and quizalofop-resistant rice. *Crop Protection*. 122: 98-105.
- Olmos, S. 2007. Apunte de morfología, fenología, ecofisiología, y mejoramiento genético del arroz. Cátedra de Cultivos II. Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). 13 p.
- ONS (Oficina Nacional de Semillas). 2014. Características Varietales y Agronómicas de los Materiales de Arroz pertenecientes al Registro de Variedades Comerciales (RVC) de la ONS. (en línea, sitio web). Consultado el 9 jul. del 2020. Disponible en <http://ofinase.go.cr/certificacion-de-semillas/certificacion-de-semilla-de-arroz/>
- Ortiz, A y Castillo, L. 2007. Ruptura de la latencia de las semillas en poblaciones de arroz maleza y silvestres de Venezuela. *Agronomía Tropical* 57(3): 219-229.
- Ortiz, A y López, L. 2011. Control de arroz maleza. *Agronomía Tropical*. 61(3-4): 199-214.
- Panozzo, S; Scarabel, L; Tranel, P; Sattin, M. 2013. Target-site resistance to ALS inhibitors in the polyploid species *Echinochloa crus-galli*. 2013. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 105: 93-101.
- Pavón, D. 1992. Evaluación cualitativa de fototoxicidad de HOECOL. Hoechst. Colombia. 76 p.
- Pereira, M; Martins, D; Souza, G, Rodrigues-Costa, A; Klar, A. 2012. Efficacy of herbicides applied to *Digitaria horizontalis* plants under different water conditions. *Planta Daninha*. 30(1): 165-172.
- 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. *Ann. Agric. Res.* 35(3): 337-342.
- Portuguez García, P. 2017. Evaluación de diferentes métodos para la ruptura de la latencia en la semilla de la maleza del arroz, zacate manchado (*Ischaemum rugosum*) Salisb. Tesis Lic. San José, Costa Rica. Universidad de Costa Rica. 60 p.

- Quesada, T; Lobo, J y Espinoza, A. 2002. Isozyme diversity and analysis of the mating system of the wild rice *Oryza latifolia* Desv. in Costa Rica. Genetic Resources and Crop Evolution. 49: 633-643.
- Rodríguez González, MG. 2014. Etapas fenológicas de tres variedades de arroz (*Oryza sativa*) en relación a la temperatura y la radiación solar en Guanacaste, Costa Rica. Tesis Lic. Limón, Costa Rica. La Universidad EARTH. 33 p.
- Rosas, J; Sprunk, B; Díaz, L; Ripoll, M; Pérez, M; Nieto, C; Marchesi, C; Daldai, N. 2018. Intensidad de uso del sistema Clearfield® en arroz y ocurrencia de arroz maleza resistente a imidazolinonas. INIA. España. 43-45 p.
- 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.
- Samuel, B. 1988. Sistemática Vegetal. McGraw-Hill. Distrito Federal, México. 536 p.
- Sánchez, E; Montiel, M y 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.
- Sánchez, Y y Vega, M. 2018. Situación del mercado del arroz en Costa Rica: una mirada a la realidad. ABRA. 38(56): 1-22.
- SFE (Servicio Fitosanitario del Estado). 2020. Arroz (*Oryza sativa* Var. N.I.), registro plaguicida setoxidim. Consultado el 10 agost. del 2020. Disponible en <https://app.sfe.go.cr/SFEInsumos/asp/Insumos/ConsultaRegistroPlaguicida.aspx>
- Sha, X; Linscombe, D; Groth, D. 2007. Field Evaluation of Imidazolinone-Tolerant Clearfield Rice (*Oryza sativa* L.) at Nine Louisiana Locations. Crop Science 47(3): 1177-1185.
- Shaner, D. 2014. Herbicide Handbook. 10 ed. Weed Science Society of America. Lawrence, U.S.A. 513 p.
- Sharma, N; Thakur, R; Thakur, N. 2013. Persistence of pretilachlor in soil and its terminal residues in rice crop. Pesticide Research Journal. 25(2): 177-180.

- Shivrain, V; Burgos, N; Anders, M; Rajguru, S; Moore, J; Sales, M. 2007. Gene flow between Clearfield™ rice and red rice. *Crop Protection*. 26: 349-356.
- Shivrain, V; Burgos, N; Scott, R; Gbur, E; Estorninos, L; McClelland, M. 2010. Diversity of weedy red rice (*Oryza sativa* L.) in Arkansas, U.S.A. in relation to weed management. *Crop Protection*. 29(7): 721-730.
- Soto, A y Agüero, R. 1992. Combate químico de malezas en el cultivo del arroz. San José, Costa Rica. Editorial Universidad de Costa Rica. 81 p.
- Terano, R; Mohamed, Z y Din, N. 2016. Determinants of Farmers' Adoption of Clearfield Production System in Malaysia. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 9: 103-107.
- Thomas, E; Tovar, E; Villafañe, C; Bocanegra, J; Moreno, R. 2017. Distribution, genetic diversity and potential spatiotemporal scale of alien gene flow in crop wild relatives of rice (*Oryza* spp.) in Colombia. *Rice*. 10(13): 1-16.
- Toro Martínez, L. 2003. Efecto de algunos herbicidas sobre el arroz rojo. Tesis Lic. Maracay, Venezuela, Universidad central de Venezuela. 62 p.
- UNA (Universidad Nacional de Costa Rica). 2020. Manual de plaguicidas de Centroamérica. (en línea, sitio web). Consultado el 30 mar. del 2020. <http://www.plaguicidasdecentroamerica.una.ac.cr/index.php/base-de-datos-menu/14-acetocloro>.
- Urbina, R. 2018. Control de calidad en la producción “tradicional” y “no convencional” de semilla de arroz (*Oryza sativa* L). HarvestPlus, América Latina y el Caribe. 48 p.
- Vallejos, E y Soto, A. 1995. Influencia del estado de desarrollo del arroz sobre su tolerancia al fenoxaprop-etilo y sobre la interferencia de la maleza *Ischaemum rugosum*. *Agronomía Costarricense*. 19(2): 67-73.
- Valverde, B; Riches, C; Caseley, J. 2000. Prevención y manejo de malezas resistentes a herbicidas en arroz: experiencias en América Central con *Echinochloa colona*. 1a. ed. Cámara de Insumos Agropecuarios. San José, Costa Rica. 136 p.
- Vargas, P. 2010. El arroz y su medio ambiente. In: Degiovanni Beltramo. Víctor, M; Martínez, R; César, P; Motta, F (eds.). Producción eco-eficiente del arroz en América Latina. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. 365: 83-99.

- Vasilakoglou, I; Dhima, K y Gitsopoulos, T. 2018. Management of penoxsulam- and bispyribacresistant late watergrass (*Echinochloa phyllopogon*) biotypes and rice sedge (*Cyperus difformis*) in rice. Chilean Journal of Agricultural Research. 78(2): 276-286.
- Vaughan, D. 1994. The wild relatives of rice: a genetic resources handbook. International Rice Research Institute. Los Baños, Philippines. 137 p.
- Vaughan, A; Morishimay, H y Kadowak, K. 2003. Diversity in the *Oryza* genus. Current Opinion in Plant Biology. 6: 139-146.
- Vega Cordero, J. 1990. Diagnóstico del combate de plagas, malezas y enfermedades en el cultivo de arroz (*Oryza sativa*), a nivel nacional. Tesis Lic. San José, Costa Rica. Universidad de Costa Rica. 120 p.
- Yi, C; Wang, M; Jiang, W; Wang, D; Cheng, X; Wang, Y; Zhou, Y; Liang, G; Gu, M. 2015. Development and characterization of synthetic amphiploids of *Oryza sativa* and *Oryza latifolia*. Science Bulletin. 60(23): 2059-2062.
- 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 Prototox inhibitor herbicide resistant transgenic rice. Journal of Food, Agriculture and Environment. 15(3 y 4): 78-87.
- Zamora Meléndez, A. 2001. Diversidad morfológica y genética de las especies de *Oryza* (Poaceae) nativas de Costa Rica. Tesis Ms.c. San José, Costa Rica. Universidad de Costa Rica. 156 p.
- 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.

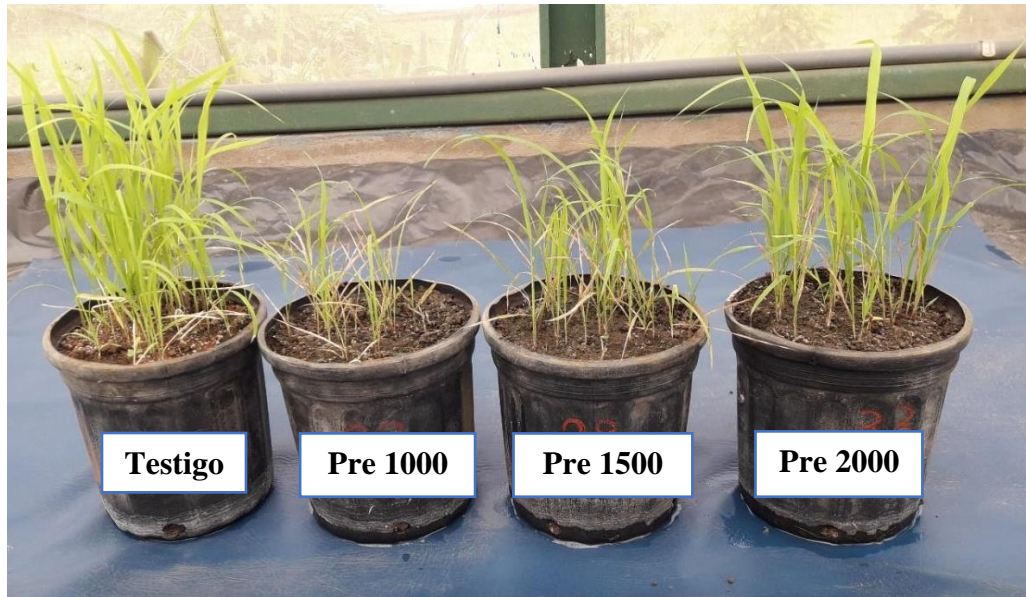
9. Anexos

Anexo 1: Escala de la Asociación Latinoamericana de Malezas para la evaluación visual sobre el porcentaje de control de malezas (ALAM, 1974).

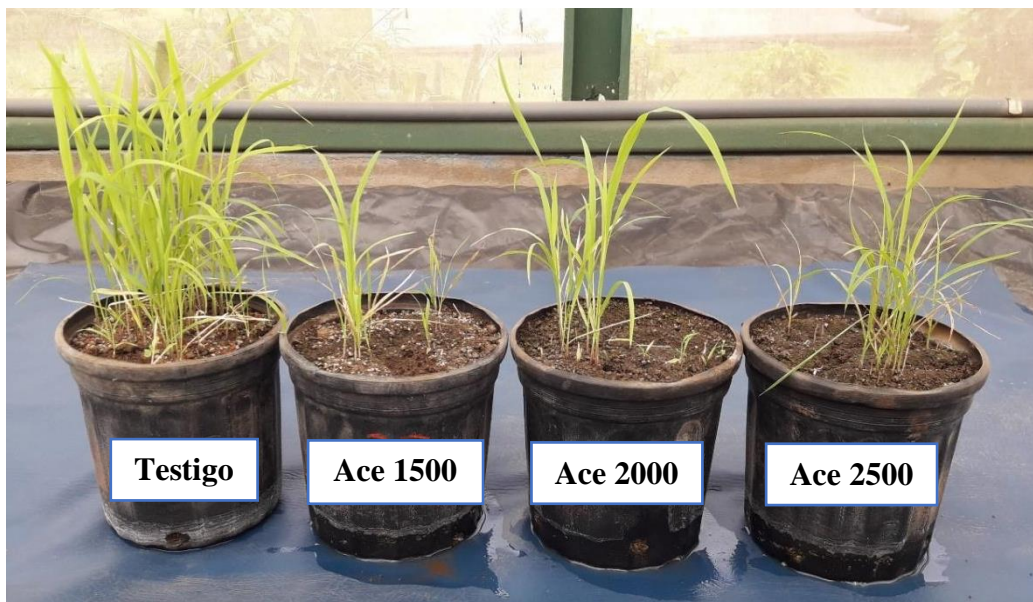
Índice denominación (%)	Índice denominación
0-40	Ninguno o pobre
41-60	Regular
61-70	Suficiente
71-80	Bueno
81-90	Muy bueno
91-100	Excelente

Anexo 2: Escala HOECOL de evaluación cualitativa para el índice de daño causado por herbicidas en plantas (Pavón, 1992).

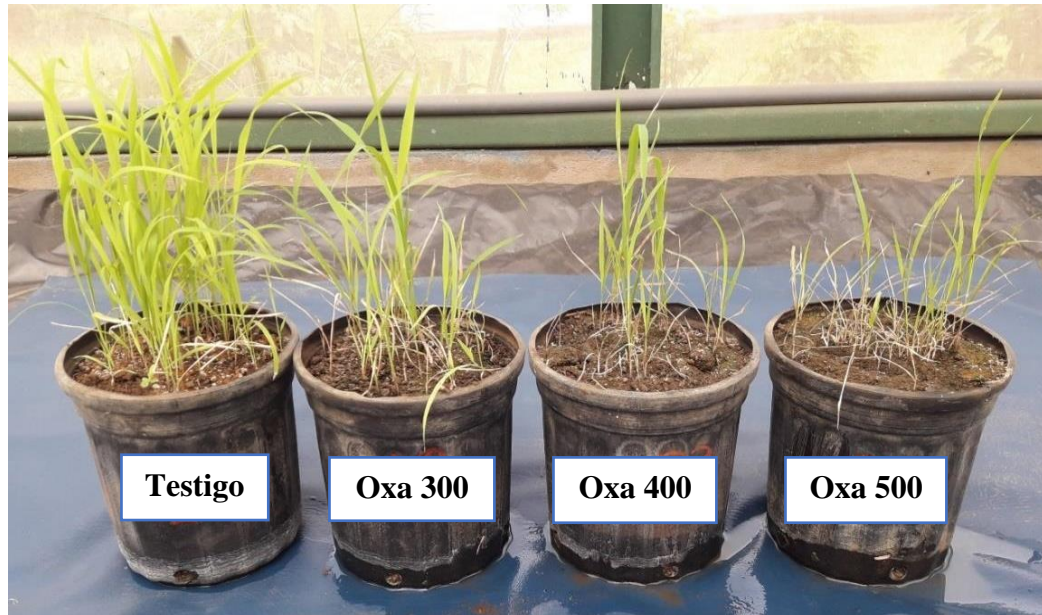
Escala (%)	Descripción de los principales detalles	Categoría promedio
0	Ausencia total de daño en relación con el testigo no aplicado y sin competencia de malezas.	SIN DAÑO
10	Leve decoloración y/o leves malformaciones en cualquiera de los órganos de la planta, y/o recuperación rápida.	LEVE
20	Moderada decoloración y/o moderadas malformaciones en varios órganos de la planta, y/o recuperación menos rápida.	LEVE
30	Severa decoloración con leve a moderada muerte de tejidos (necrosis) y/o regular presencia e malformaciones con leve a moderada muerte de tejidos (necrosis) y/o recuperación lenta.	LEVE
40	Leve disminución en el número de plantas con o sin severa decoloración en diferentes estados con muerte de tejidos (necrosis) y/o presencia de malformaciones en diferentes estados con muerte de tejidos (necrosis). Es difícil predecir si hay o no reducción en la producción.	MODERADO
50	Moderada disminución en el número de plantas y severa muerte de tejidos (necrosis) acompañada de decoloración y/o malformación de diferentes estados. Se puede prever alguna reducción en la producción.	MEDIANO
60	Regular disminución en el número de plantas y/o síntomas que disminuirán moderadamente la producción.	SEVERO
70	Severa disminución en el número de plantas: las plantas existentes presentan síntomas que permiten alguna recuperación y producción.	SEVERO
80	Alta disminución de la población, las pocas plantas presentes con síntomas que causarán muy baja producción.	SEVERO
90	Altísima disminución de la población, algunas plantas presentes con síntomas que no permiten producción.	MUY GRAVE
100	Completa ausencia de plantas.	MUERTE TOTAL



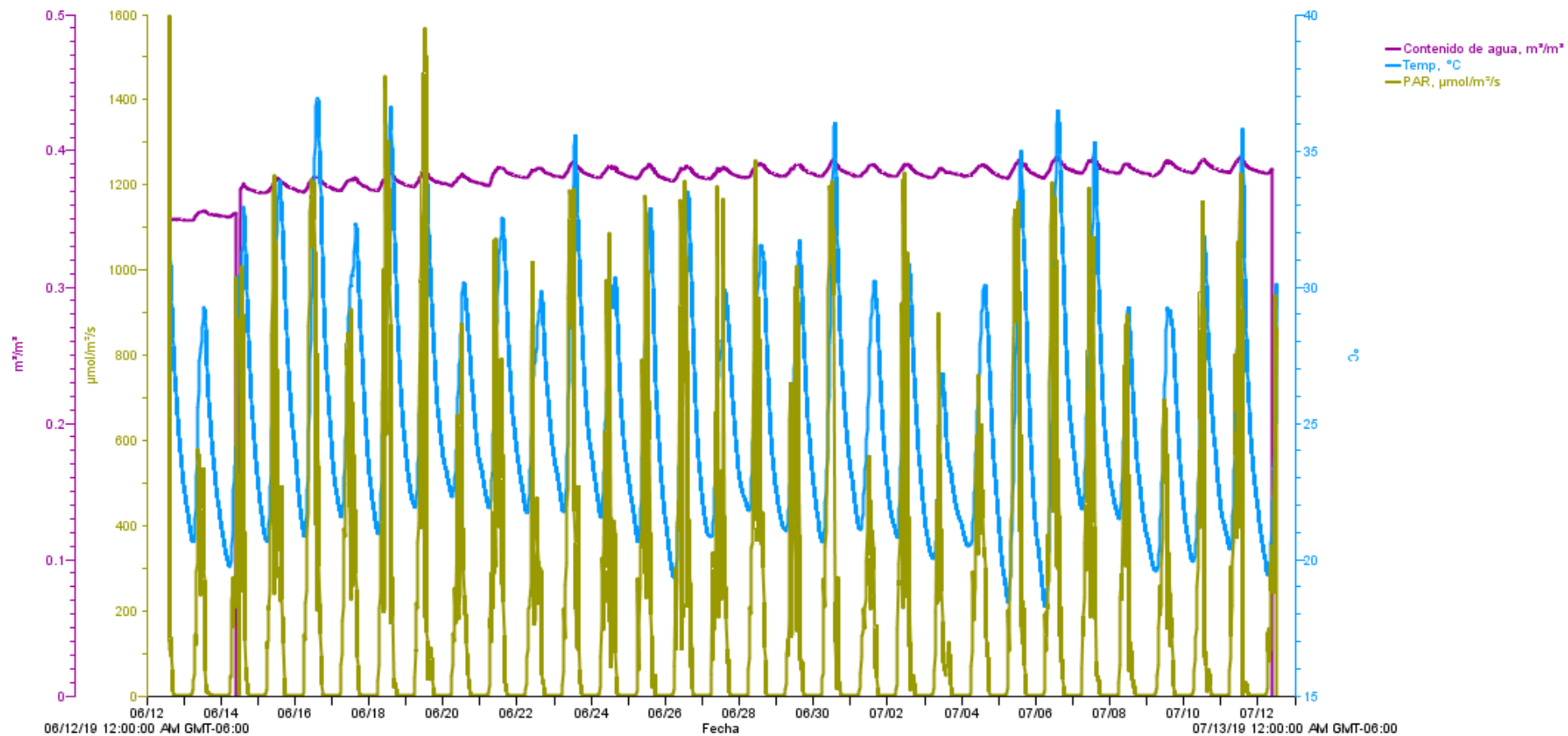
Anexo 3: Efecto del preemergente pretilaclor en *O. latifolia* a los 30 dda. El orden de las macetas plásticas, de izquierda a derecha, corresponde al testigo y las dosis 1000, 1500 y 2000 g ia/ha. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.



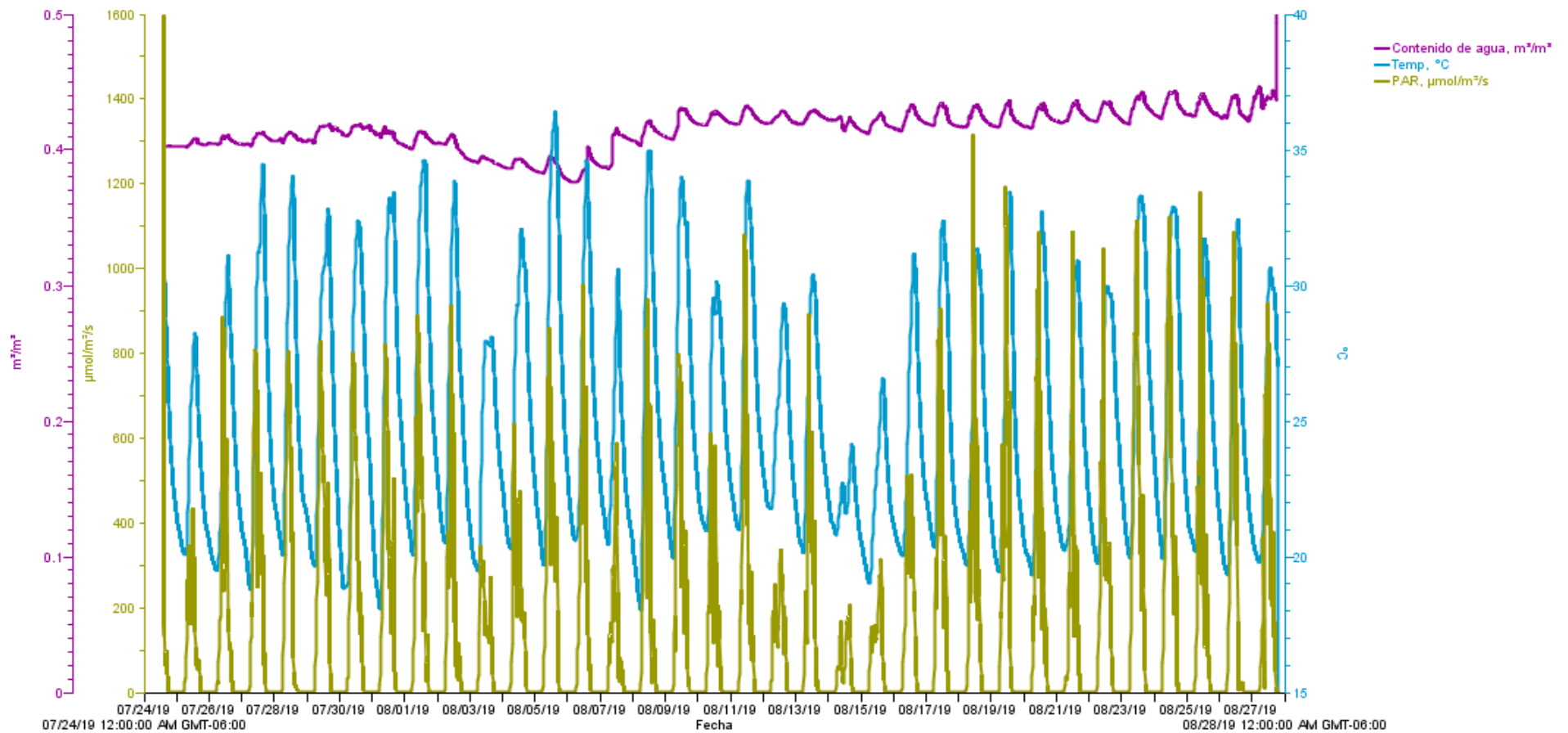
Anexo 4: Efecto del preemergente acetoclor en *O. latifolia* a los 30 dda. El orden de las macetas plásticas, de izquierda a derecha, corresponde al testigo y las dosis 1500, 2000 y 2500 g ia/ha. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.



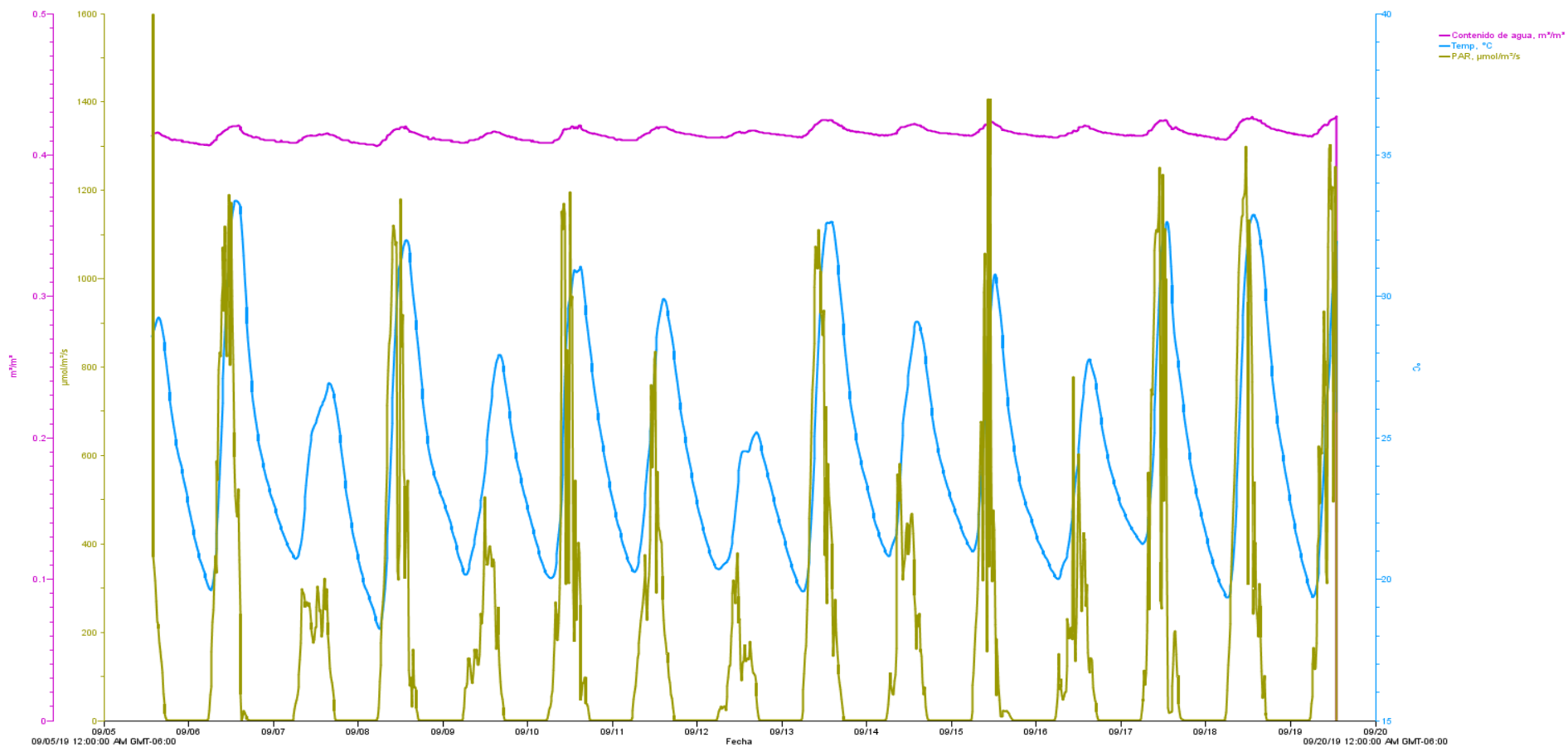
Anexo 5: Efecto del preemergente oxadiargil en *O. latifolia* a los 30 dda. El orden de las macetas plásticas, de izquierda a derecha, corresponde al testigo y las dosis 300, 400 y 500 g/ha. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.



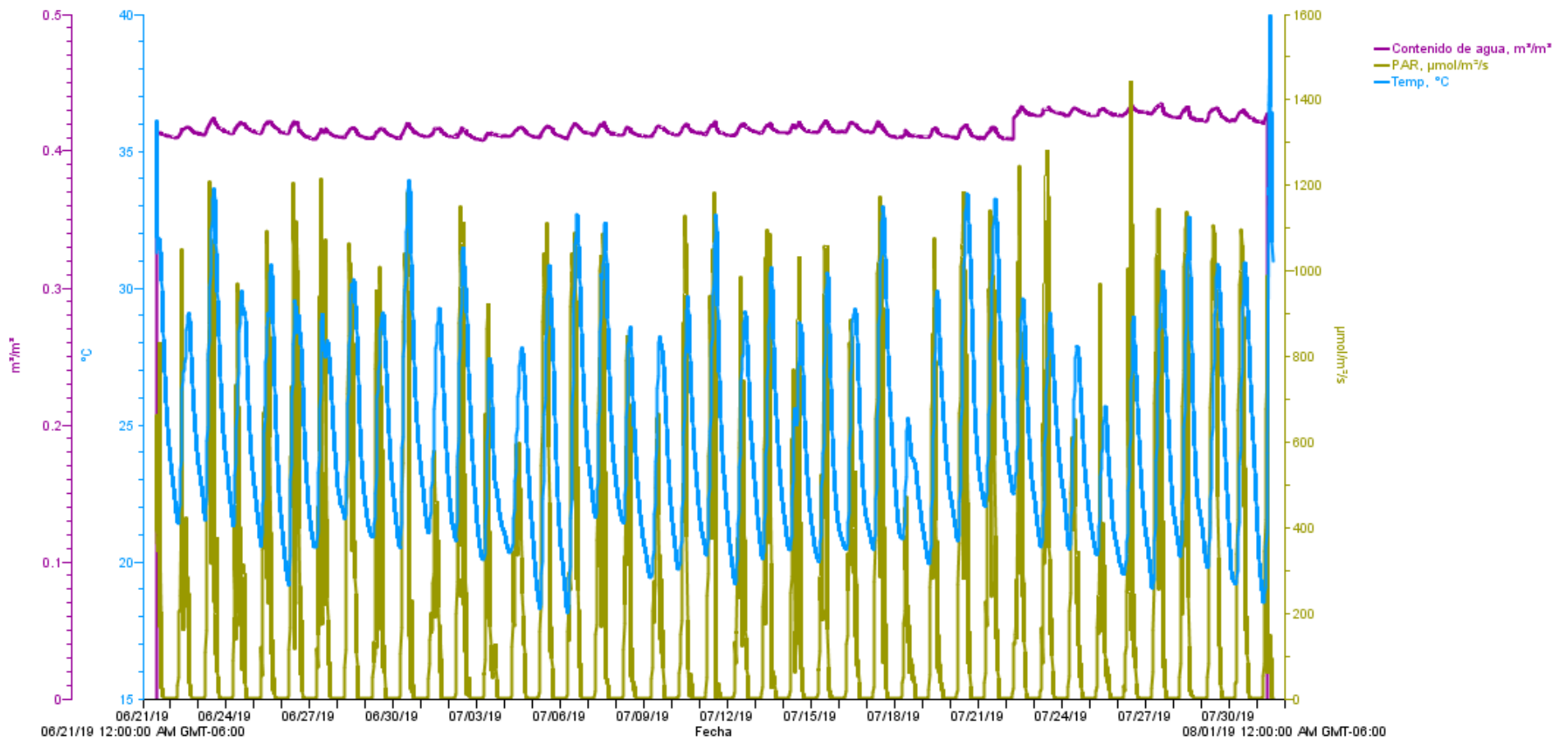
Anexo 6: Datos de la medición de sensores de radiación PAR ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$), temperatura del suelo ($^{\circ}\text{C}$) y contenido de agua (m^3/m^3) en el establecimiento del experimento 1: Eficacia de herbicidas preemergentes no selectivos en el control de *O. latifolia*. EEAFFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.



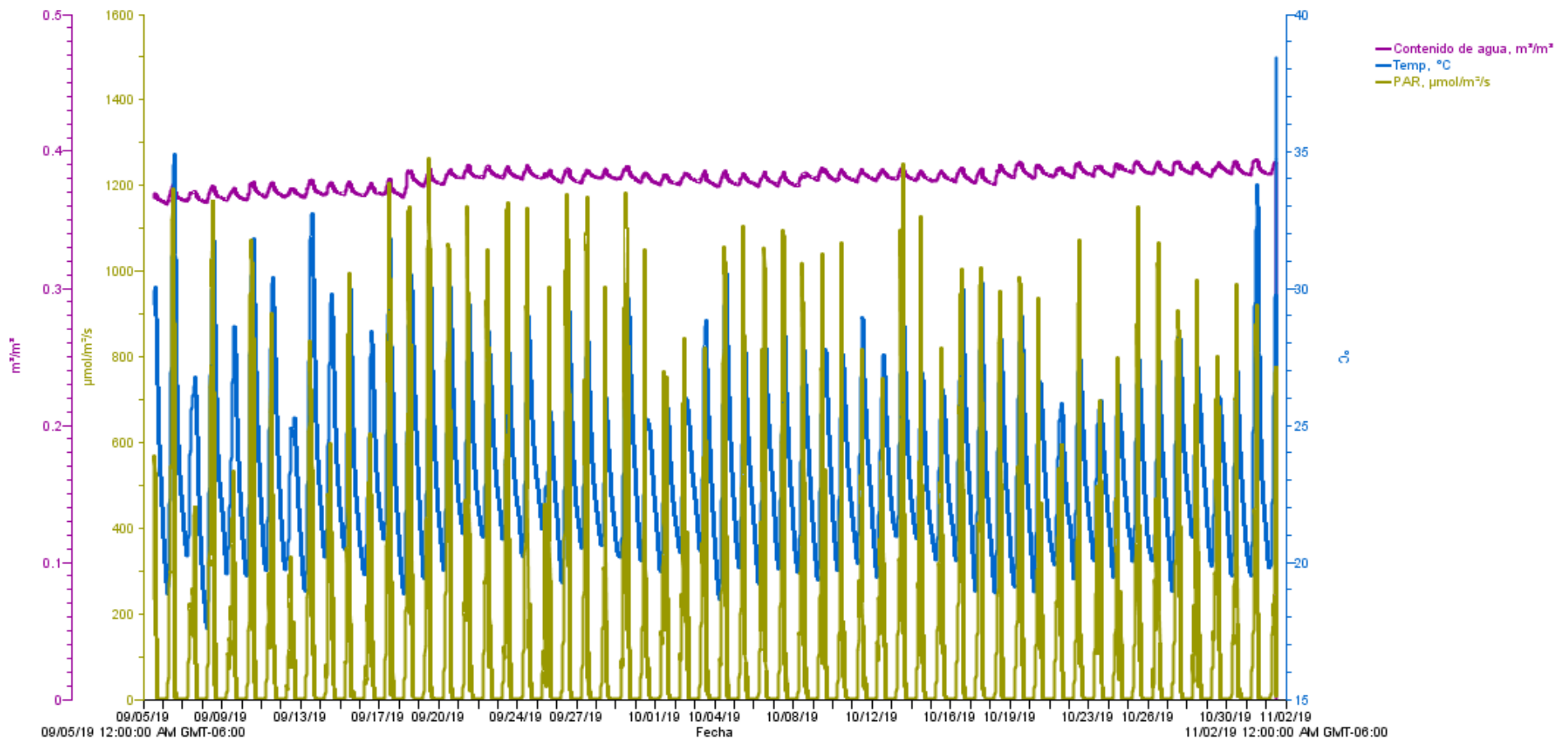
Anexo 7a: Datos de la medición de sensores de radiación PAR ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$), temperatura del suelo ($^{\circ}\text{C}$) y contenido de agua (m^3/m^3) en el establecimiento del experimento 2: Determinación del tiempo de espera para la siembra de arroz Palmar 18 luego de la aplicación de los herbicidas preemergentes no selectivos. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.



Anexo 7b: Datos de la medición de sensores de radiación PAR ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$), temperatura del suelo ($^{\circ}\text{C}$) y contenido de agua (m^3/m^3) en el establecimiento del experimento 2: Determinación del tiempo de espera para la siembra de arroz Palmar 18 luego de la aplicación de los herbicidas preemergentes no selectivos. EEAFCM, Alajuela, Costa Rica. 2019.



Anexo 8: Datos de la medición de sensores de radiación PAR ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$), temperatura del suelo ($^{\circ}\text{C}$) y contenido de agua (m^3/m^3) en el establecimiento del experimento 3: Eficacia de herbicidas posemergentes de selectividad limitada en el control de *O. latifolia*. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.



Anexo 9: Datos de la medición de sensores de radiación PAR ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$), temperatura del suelo ($^{\circ}\text{C}$) y contenido de agua (m^3/m^3) en el establecimiento del experimento 4: Efecto de los herbicidas posemergentes de selectividad limitada en la variedad Palmar 18. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica. 2019.