

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

**EFICIENCIA DE HERBICIDAS PREEMERGENTES BAJO
DIFERENTES SITUACIONES DE RASTROJO DE ARROZ**

por

Diego Martín GEREZ GEREZ
Facundo MEDINA CARVALLO

**Trabajo final de grado
presentado como uno de los
requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo**

PAYSANDÚ
URUGUAY
2026

Este Trabajo Final de Grado se distribuye bajo licencia
“Creative Commons **Reconocimiento – No Comercial – Sin Obra Derivada**”.



Página de aprobación

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

Ing. Agr. (Dra.) Claudia Marchesi

Director/a:

Ing. Agr. (Dra.) Juana Villalba

Tribunal:

Ing. Agr. (Dra.) Claudia Marchesi

Ing. Agr. (Dr.) Guillermo Siri

Ing. Agr. Bernardo Böcking

Fecha:

30 de setiembre de 2026

Estudiante:

Diego Martín Gerez Gerez

Facundo Medina Carvallo

Agradecimientos

Agradecemos al Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), especialmente al equipo de la Unidad Experimental Paso Farías, por brindar el sitio experimental, la infraestructura y el apoyo necesario para la realización del ensayo.

A la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República, por la formación recibida y por proporcionar el marco académico para desarrollar este trabajo.

A nuestras directoras, Claudia Marchesi y Juana Villalba, por su orientación, dedicación y acompañamiento durante las distintas etapas del trabajo.

Al Ing. Agr. Oscar Bentancur, por su apoyo en la definición y revisión del análisis estadístico.

Finalmente, agradecemos a todas las personas que colaboraron en las tareas de campo, el procesamiento de la información y la elaboración de esta tesis.

Tabla de contenidos

Página de aprobación	3
Agradecimientos	4
Resumen	8
Abstract	9
1 Introducción	10
2 Objetivos.....	11
2.1 Objetivo general	11
2.2 Objetivos específicos	11
2.3 Hipótesis.....	11
3 Revisión bibliográfica	12
3.1 El sistema arrocero uruguayo y su sostenibilidad	12
3.2 Bases agronómicas que condicionan la implantación y la dinámica de malezas .	
.....	13
3.2.1 Rotaciones y estructura del sistema	13
3.2.2 Implantación del cultivo.....	13
3.2.3 Manejo del rastrojo y cobertura superficial	14
3.2.4 Manejo del riego e interacción con la flora espontánea	14
3.3 Malezas en el cultivo de arroz: especies, competencia y persistencia.....	15
3.3.1 Principales especies problemáticas.....	15
3.3.2 Competencia y período crítico	16
3.3.3 Banco de semillas y persistencia	17
3.4 Estrategias de manejo de malezas en arroz	17
3.4.1 Control cultural y preventivo	17
3.4.2 Control químico.....	18
3.4.3 Aplicaciones previas a la siembra: control otoñal y barbecho de	
presiembra	18
3.4.4 Aplicaciones en preemergencia.....	18
3.4.5 Aplicaciones en postemergencia	19
3.4.6 Resistencia a herbicidas y tecnología IMI.....	21
3.5 Integración de estrategias y fundamento del enfoque experimental.....	21
4 Materiales y métodos.....	22
4.1 Características del sitio experimental	22
4.2 Descripción del experimento.....	24

4.3	Diseño experimental	27
4.4	Evaluaciones durante el ciclo del cultivo.....	28
4.5	Procesamiento de datos y análisis estadístico	30
5	Resultados.....	33
5.1	Implantación del cultivo.....	34
5.2	Capines.....	34
5.2.1	<i>Capines al momento previo a la aplicación POST</i>	35
5.2.2	Capines a los 15 DDA POST	36
5.3	Malezas no gramíneas.....	37
5.3.1	<i>No gramíneas al momento previo a la aplicación POST</i>	37
5.3.2	<i>No gramíneas a los 15 DDA POST</i>	38
5.4	Enmalezamiento	39
5.5	Rendimiento en grano	40
6	Discusión	43
6.1	Implantación del cultivo.....	43
6.2	Capines.....	44
6.3	Malezas no gramíneas.....	45
6.4	Enmalezamiento final	46
6.5	Rendimiento en grano	47
6.6	Integración con objetivos e hipótesis.....	48
7	Conclusiones.....	50
8	Bibliografía.....	51
9	Anexos.....	55

Lista de tablas y figuras

Tabla 1	<i>Principales ingredientes activos para aplicaciones postemergentes en el manejo de malezas en arroz en Uruguay</i>	20
Tabla 2	<i>Resultados del análisis químico del suelo (0–15 cm), Paso Farías, 2024</i>	23
Tabla 3	<i>Estrategia de fertilización aplicada durante el ciclo del cultivo</i>	24
Tabla 4	<i>Componentes experimentales y niveles considerados</i>	25
Tabla 5	<i>Materia seca de rastrojo según nivel de rastrojo</i>	26
Tabla 6	<i>Tratamientos herbicidas aplicados durante el cultivo</i>	26
Tabla 7	<i>Manejos realizados antes y durante el experimento</i>	27
Tabla 8	<i>Ciclo estimado del cultivo de arroz según ClimArroz para la zafra 2024 – 2025</i>	29
Tabla 9	<i>Cronograma de evaluaciones del cultivo y malezas</i>	30
Tabla 10	<i>Resumen de significancia estadística de los factores evaluados según variable de respuesta</i>	33
Tabla 11	<i>Implantación del cultivo según manejo herbicida aplicado hasta el momento de la evaluación</i>	34
Tabla 12	<i>Densidad de capines previa a la aplicación POST según aplicación de herbicida en otoño</i>	35
Tabla 13	<i>Densidad de capines previa a la aplicación POST según manejo herbicida aplicado hasta el momento de la evaluación</i>	36
Tabla 14	<i>Densidad de capines a los 15 DDA POST según aplicación de herbicida en otoño</i>	37
Tabla 15	<i>Densidad de malezas no gramíneas previa a la aplicación POST según manejo herbicida previo</i>	38
Tabla 16	<i>Densidad de malezas no gramíneas a los 15 DDA POST según nivel de rastrojo</i>	39
Tabla 17	<i>Densidad de malezas no gramíneas a los 15 DDA POST según tratamiento herbicida</i>	39
Tabla 18	<i>Grado de enmalezamiento según tratamiento herbicida aplicado durante el cultivo</i>	40
Figura 1	<i>Rendimiento en grano según nivel de rastrojo dentro de cada condición de aplicación de herbicida en otoño (HBOT)</i>	41
Figura 2	<i>Rendimiento en grano según tratamiento herbicida dentro de cada condición de aplicación de herbicida en otoño (HBOT)</i>	42

Resumen

En las siembras de arroz sobre rastrojos, la combinación de controles realizados antes y durante el cultivo puede modificar la implantación, la presión de malezas y el rendimiento. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación de graminicida en otoño, el nivel de rastrojo y distintas secuencias herbicidas durante el cultivo sobre la implantación del arroz, la dinámica de capines y malezas no gramíneas, el enmalezamiento final y el rendimiento en grano.

El experimento se realizó en Paso Farías, Artigas, durante la zafra 2024–2025. Se compararon condiciones con y sin aplicación otoñal, tres niveles de rastrojo y cuatro secuencias herbicidas en 72 parcelas distribuidas en tres bloques. Se evaluaron la densidad inicial del cultivo, la presencia de malezas antes y después de la aplicación postemergente, el grado de enmalezamiento al final del ciclo y el rendimiento. Los datos se analizaron mediante modelos mixtos y pruebas no paramétricas, según la naturaleza de cada variable.

El manejo preemergente modificó la implantación, con menor densidad de plantas en la secuencia con clomazone y pendimetalina que en la condición sin aplicación. La aplicación otoñal redujo consistentemente la densidad de capines. Las malezas no gramíneas respondieron principalmente en la segunda evaluación al nivel de rastrojo y a la secuencia herbicida, con menores densidades bajo doble rastrojo y con imazapyr e imazapic. Los tratamientos herbicidas produjeron diferencias globales en el enmalezamiento final, aunque no se identificaron diferencias entre pares específicos. El rendimiento dependió de la combinación de prácticas: sin aplicación otoñal, el rastrojo redujo el rendimiento respecto de la condición sin rastrojo; con aplicación otoñal, desaparecieron las diferencias entre niveles de rastrojo y dos secuencias herbicidas superaron al testigo.

En conjunto, las prácticas evaluadas no produjeron una respuesta uniforme en todas las variables, sino efectos dependientes del grupo de malezas, del momento de evaluación y de la combinación de manejos. Al ser el primer año de estudio y en un solo sitio, estos resultados no son concluyentes, y requieren de más información para poder validarlos.

Palabras clave: *Echinochloa* spp., graminicida en otoño, implantación, malezas no gramíneas

Abstract

In rice systems where stubble is retained, combining weed control practices before and during the crop cycle may affect crop establishment, weed pressure, and grain yield. This study aimed to evaluate the effects of autumn herbicide application, stubble level, and different in-crop herbicide sequences on rice establishment, the dynamics of *Echinochloa* spp. and non-grass weeds, final weed infestation, and grain yield.

The experiment was conducted in Paso Farías, Artigas, Uruguay, during the 2024–2025 growing season. Treatments comprised conditions with and without autumn herbicide application, three stubble levels, and four herbicide sequences, evaluated in 72 plots arranged in three blocks. Assessments included initial crop density, weed density before and after the postemergence application, final weed-infestation score, and grain yield. Data were analyzed using mixed models and nonparametric tests according to the nature of each response variable.

Preemergence management affected crop establishment, with lower plant density under the clomazone plus pendimethalin sequence than under the no-preemergence condition. Autumn application consistently reduced *Echinochloa* spp. density. Non-grass weeds responded mainly at the second assessment to stubble level and herbicide sequence, with lower densities under the double-stubble condition and the imazapyr plus imazapic sequence. Herbicide treatments produced overall differences in final weed infestation, although no specific treatment pairs differed. Grain yield depended on the combination of practices: without autumn application, stubble reduced yield relative to the no-stubble condition; with autumn application, differences among stubble levels disappeared and two herbicide sequences outyielded the untreated control.

Overall, the evaluated practices did not produce a uniform response across all variables; their effects depended on the weed group, assessment time, and combination of management practices. Because the study was conducted at a single site during one growing season, extrapolation of the results requires validation across additional environments and years.

Keywords: *Echinochloa* spp., autumn application, crop establishment, non-grass weeds

1 Introducción

El arroz constituye uno de los cultivos extensivos de mayor relevancia en Uruguay, tanto por su importancia económica como por el nivel de especialización técnica del sistema productivo. La producción se concentra principalmente en las regiones este y norte del país y se desarrolla bajo riego por inundación controlada, en un modelo caracterizado por una elevada articulación entre productores, industria e instituciones de investigación (Rava & Lavista, 2025).

Dentro de los principales desafíos agronómicos del cultivo, el manejo de malezas ocupa un lugar central. El control deficiente de capines puede reducir marcadamente el rendimiento del arroz, como muestran ensayos locales con tratamientos herbicidas contrastantes (Marchesi & Lavecchia, 2011). En particular, los capines (*Echinochloa* spp.) constituyen uno de los grupos de mayor importancia en los sistemas arroceros uruguayos, debido a su capacidad competitiva, emergencia escalonada y persistencia en el banco de semillas (Saldain & Marchesi, 2019d).

En los sistemas arroceros intensificados, la siembra sobre rastrojo de arroz genera un escenario agronómico particular. La cobertura superficial puede modificar la luminosidad, la temperatura y la humedad del suelo, además de actuar como barrera física para la emergencia de plántulas de arroz y de malezas (Ortega & Agüero-Alvarado, 2005). Asimismo, el rastrojo puede interceptar herbicidas aplicados en preemergencia y modificar la cantidad efectiva de ingrediente activo que alcanza el suelo, afectando la eficacia inicial del control (Chauhan & Abugho, 2012).

En este contexto, la aplicación de herbicida en otoño y el uso de herbicidas preemergentes y postemergentes durante el cultivo pueden interpretarse como componentes de una estrategia integrada de manejo. La aplicación de herbicida en otoño modifica el escenario previo a la siembra, mientras que los herbicidas aplicados durante el ciclo actúan sobre distintos momentos de la dinámica de emergencia y competencia de las malezas. Evaluar estas prácticas bajo diferentes niveles de rastrojo permite aportar evidencia para ajustar el manejo de malezas en arroz sobre rastrojo, especialmente en condiciones productivas del norte de Uruguay.

2 Objetivos

2.1 Objetivo general

Evaluar la eficacia de estrategias herbicidas en arroz establecido sobre distintos niveles de rastrojo de arroz, considerando la implantación del cultivo, la dinámica de malezas y el rendimiento en grano.

2.2 Objetivos específicos

Determinar el efecto del manejo herbicida aplicado hasta el momento de la evaluación, del nivel de rastrojo y de la aplicación de herbicida en otoño sobre la implantación del cultivo de arroz.

Analizar el efecto de los tratamientos herbicidas aplicados durante el cultivo, del nivel de rastrojo y de la aplicación de herbicida en otoño sobre la dinámica de capines y malezas no gramíneas y el grado de enmalezamiento final.

Evaluar el efecto de los tratamientos herbicidas aplicados durante el cultivo, del nivel de rastrojo y de la aplicación de herbicida en otoño, así como de sus interacciones, sobre el rendimiento en grano.

2.3 Hipótesis

La implantación del cultivo de arroz varía según el manejo herbicida aplicado hasta el momento de la evaluación, el nivel de rastrojo y la aplicación de herbicida en otoño.

Los tratamientos herbicidas aplicados durante el cultivo, el nivel de rastrojo y la aplicación de herbicida en otoño afectan la dinámica de capines y malezas no gramíneas y el grado de enmalezamiento final.

El rendimiento en grano es afectado por los tratamientos herbicidas aplicados durante el cultivo, el nivel de rastrojo, la aplicación de herbicida en otoño y las interacciones entre estos factores.

3 Revisión bibliográfica

3.1 El sistema arrocerero uruguayo y su sostenibilidad

El cultivo de arroz en Uruguay constituye una cadena agroexportadora altamente especializada, concentrada principalmente en las regiones este y norte del país y desarrollada bajo sistemas de riego por inundación controlada. Durante las últimas diez zafra, la superficie sembrada se ubicó generalmente entre 140.000 y 170.000 ha, alcanzando una superficie cercana a 180.000 ha en la zafra 2024/25 (Rava & Lavista, 2025). En esa zafra, el área sembrada alcanzó 182.874 ha, con una producción total de 1,72 millones de toneladas y un rendimiento promedio de 9.407 kg ha⁻¹, valor que se ubicó entre los más altos de la serie histórica reciente (Llovet & Molina, 2025).

El sistema productivo se caracteriza por una elevada integración entre productores, industria molinera e instituciones de investigación, lo que ha contribuido a consolidar un modelo tecnificado, coordinado y orientado a la exportación. A nivel de chacra, la producción se apoya en el uso de nivelación de precisión, infraestructura de represas y canales, manejo controlado del riego y rotaciones con pasturas, características que diferencian al arroz uruguayo de otros sistemas arroceros de menor integración productiva (Rava & Lavista, 2025).

A diferencia de lo que ocurre en muchas regiones productoras del mundo, el arroz en Uruguay se integra mayoritariamente con la ganadería mediante rotaciones con pasturas perennes. Este modelo ha sido una de las bases históricas del crecimiento productivo y de la conservación de los recursos naturales. En los últimos años aumentó la intensidad de uso del suelo en algunas rotaciones, mediante el acortamiento de las fases de pastura, una mayor presencia de soja y el incremento de la frecuencia del cultivo de arroz (Macedo et al., 2025).

La sostenibilidad del sistema no depende únicamente del mantenimiento de altos rendimientos, sino también de la eficiencia en el uso de recursos y de la reducción de riesgos ambientales. En este sentido, Pittelkow et al. (2016) mostraron que la intensificación arrocerera uruguaya entre 1993 y 2013 se asoció con aumentos de rendimiento y mejoras en indicadores como eficiencia energética y productividad del agua, aunque también evidenció compromisos ambientales, especialmente vinculados a pérdidas potenciales de nitrógeno y riesgo de contaminación por agroquímicos.

Más recientemente, los análisis de sistemas arroceros uruguayos indican que todavía existe margen para continuar cerrando brechas de rendimiento, aunque lograr nuevos aumentos resulta cada vez más desafiante en sistemas que ya alcanzan altos niveles de productividad. Las experiencias de transferencia tecnológica basadas en el ajuste de prácticas de manejo muestran que es posible sostener rendimientos elevados en condiciones comerciales, pero también refuerzan la necesidad de evaluar las estrategias de intensificación considerando simultáneamente productividad, estabilidad económica y desempeño ambiental (Carracelas et al., 2019; Macedo et al., 2025; Zorrilla et al., 2023).

En este marco, el manejo de factores limitantes como las malezas, el rastreo y la eficiencia del control químico adquiere relevancia agronómica. Las decisiones adoptadas antes y durante el ciclo del cultivo no actúan de manera aislada, sino que interactúan con la estructura del sistema productivo, la historia de manejo de la chacra y la dinámica biológica del agroecosistema. Por ello, la evaluación de estrategias como la aplicación de herbicida en otoño, el manejo diferencial del rastreo y el uso de herbicidas preemergentes debe interpretarse dentro de la lógica de intensificación sostenible del arroz uruguayo.

3.2 Bases agronómicas que condicionan la implantación y la dinámica de malezas

La implantación del cultivo y la dinámica de malezas en arroz no pueden comprenderse de manera independiente del sistema de producción en el que se insertan. Las prácticas agronómicas adoptadas —particularmente la estructura de rotaciones, la calidad de implantación, el manejo del rastreo y la gestión del riego— influyen sobre el establecimiento inicial del cultivo, la composición florística, el banco de semillas del suelo y la competencia interespecífica durante el ciclo.

3.2.1 Rotaciones y estructura del sistema

El sistema arrocero uruguayo se desarrolló históricamente en articulación con la ganadería, alternando el cultivo con pasturas perennes. Aunque este esquema aún predomina, convive con secuencias de uso más intensivo del suelo, en las que se acorta la fase pastoril, aumenta la participación de la soja, o el arroz retorna con mayor frecuencia (Macedo et al., 2025). Estos cambios describen la estructura de la rotación, pero no permiten asumir por sí solos un aumento o una reducción uniforme de la infestación de malezas.

Desde la perspectiva del manejo, la secuencia de cultivos y los controles aplicados pueden modificar las oportunidades de semillazón, las especies predominantes y la presión de selección dentro de la chacra (Marchesi, 2021; Saldain, 2009). Además, la persistencia de semillas de capín enterradas durante al menos cinco zafras muestra que el antecedente de infestación puede conservar relevancia más allá de un ciclo de cultivo (Pereira et al., 2018). Por ello, la historia de la rotación, los herbicidas utilizados previamente y las malezas dominantes deben considerarse al planificar el barbecho químico, incluidos los controles de otoño, y las medidas culturales complementarias (Saldain & Marchesi, 2019a, 2021).

3.2.2 Implantación del cultivo

La implantación del cultivo constituye una etapa clave en arroz, ya que define la población inicial de plantas, la uniformidad del stand y la capacidad del cultivo para ocupar tempranamente el espacio disponible. Una implantación rápida y uniforme facilita los manejos posteriores, mejora el aprovechamiento de los insumos y contribuye a reducir la interferencia temprana de malezas.

En sistemas de arroz sobre rastrojo, la implantación puede verse condicionada por la distribución de residuos, las condiciones de siembra, la disponibilidad inicial de nutrientes y la presión temprana de malezas. Por lo tanto, la evaluación de estrategias que modifican el escenario previo a la siembra, como el manejo del rastrojo o el control anticipado de malezas resulta relevante para interpretar la respuesta inicial del cultivo.

3.2.3 Manejo del rastrojo y cobertura superficial

El rastrojo constituye un componente estructural de los sistemas arroceros intensificados y puede modificar el ambiente superficial donde ocurre la germinación y emergencia del cultivo y de las malezas. La cobertura residual altera la disponibilidad de luz, la temperatura y la humedad en la superficie del suelo, además de actuar como barrera física para la emergencia de plántulas (Ortega & Agüero-Alvarado, 2005).

En arroz, diferentes niveles de cobertura pueden modificar la tasa y el patrón temporal de emergencia de especies problemáticas, evidenciando que el rastrojo no constituye un componente neutro del sistema. En situaciones de arroz sobre rastrojo, los efectos sobre el cultivo pueden responder a la interacción entre cantidad y distribución del residuo, condiciones de siembra, disponibilidad de nutrientes, sanidad y competencia de malezas (Deambrosi et al., 2004; Ortega & Agüero-Alvarado, 2005).

Además de sus efectos sobre el microambiente superficial, el rastrojo puede interactuar con la eficacia de herbicidas aplicados en preemergencia. La intercepción del producto por residuos superficiales puede modificar la cantidad efectiva de ingrediente activo que alcanza el suelo, afectando el control inicial de malezas. En este sentido, la presencia de residuos de arroz ha sido asociada con cambios en la emergencia y biomasa de distintas especies de malezas y con modificaciones en la eficacia de herbicidas preemergentes (Chauhan & Abugho, 2012).

3.2.4 Manejo del riego e interacción con la flora espontánea

El riego por inundación es uno de los rasgos distintivos del sistema arrocero uruguayo. La lámina de agua no solo asegura el abastecimiento hídrico del cultivo, sino que también modifica la dinámica biológica del suelo y la emergencia de especies acompañantes.

En condiciones comerciales, variables de manejo como el control de malezas, el momento de inicio del riego y la calidad del riego se han asociado con la variabilidad del rendimiento entre chacras arroceras (Berberian et al., 2020). Determinadas especies pueden ser favorecidas o restringidas según el momento de establecimiento y la continuidad de la lámina de agua. La inundación puede actuar como una barrera física frente a nuevas emergencias, mientras que los períodos de riego intermitente pueden favorecer reinfestaciones al reducir temporalmente esa barrera (Marchesi et al., 2014).

Asimismo, la inundación reduce rápidamente la disponibilidad de oxígeno en el suelo y genera ambientes oxidados y reducidos, incluso en la interfase de la rizosfera,

modificando procesos químicos y biológicos y el comportamiento de los nutrientes (Deambrosi & Méndez, 1996). Aunque estos procesos no constituyen el foco central del presente estudio, forman parte del contexto agronómico en el cual se desarrollan las interacciones entre cultivo, rastrojo, malezas y estrategias de control.

En síntesis, la rotación, la implantación, el rastrojo y el riego configuran el escenario inicial del cultivo. Estas variables estructurales condicionan la presión de malezas, la capacidad competitiva del arroz y la eficacia de las estrategias de control adoptadas durante el ciclo.

3.3 Malezas en el cultivo de arroz: especies, competencia y persistencia

Las malezas constituyen uno de los principales factores limitantes del rendimiento en el cultivo de arroz bajo riego. Su presencia temprana genera competencia por recursos esenciales —luz, agua y nutrientes—, afectando la implantación, el crecimiento inicial y la expresión final del potencial productivo del cultivo. En sistemas comerciales uruguayos, variables asociadas al manejo de malezas han sido identificadas entre los factores vinculados a la variabilidad del rendimiento entre chacras arroceras (Berberian et al., 2020).

3.3.1 Principales especies problemáticas

Dentro del complejo de malezas presentes en el cultivo de arroz en Uruguay, los capines (*Echinochloa* spp.) son reconocidos como uno de los grupos de mayor importancia agronómica. Estas gramíneas presentan elevada capacidad de producción de semillas, emergencia escalonada y adaptación a ambientes arroceros, características que dificultan su control y favorecen su persistencia en el sistema (Saldain & Marchesi, 2019d).

Entre las especies del género *Echinochloa* presentes en el arroz uruguayo se destacan *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. y *Echinochloa colona* (L.) Link. La primera presenta amplia distribución en las distintas zonas arroceras del país, mientras que la segunda es más frecuente en las regiones norte y centro y también se comporta como maleza en sistemas agrícolas de secano (Saldain & Marchesi, 2019d). La importancia de este género se asocia con su elevada capacidad de crecimiento y producción de semillas; además, las camadas sucesivas y el macollaje avanzado dificultan su control (Marchesi & Lavecchia, 2011; Saldain & Marchesi, 2019b, 2019d).

La importancia agronómica de los capines también ha sido demostrada en ensayos locales. En evaluaciones realizadas en Artigas, Marchesi y Lavecchia (2011) observaron diferencias marcadas de rendimiento entre el testigo sin control herbicida y los tratamientos con mejor desempeño, evidenciando el fuerte impacto que puede tener la competencia de *Echinochloa* spp. cuando no se logra un control oportuno. En ese ensayo, el testigo sin herbicida presentó 6752 kg ha⁻¹, mientras que los mejores tratamientos superaron los 12000 kg ha⁻¹, lo que muestra la magnitud potencial de las pérdidas asociadas al control deficiente de esta maleza.

Además de los capines, el arroz maleza (*Oryza sativa* L., tipo maleza) constituye una de las malezas más problemáticas del cultivo de arroz en Uruguay. Su similitud fisiológica y morfológica con el arroz cultivado dificulta el control químico selectivo, mientras que el uso reiterado de cultivares resistentes a imidazolinonas y la ausencia de rotaciones adecuadas pueden favorecer la selección de poblaciones resistentes y comprometer la eficacia de la tecnología (Marchesi, 2021; Saldain & Marchesi, 2021).

Las malezas latifoliadas y ciperáceas también forman parte del complejo florístico del cultivo. Aunque en algunos sistemas su abundancia puede ser menor que la de las gramíneas, su presencia no debe considerarse secundaria, ya que amplía el espectro de malezas a controlar y puede condicionar la elección de herbicidas, el momento de aplicación y la eficacia de las estrategias de manejo (Saldain & Marchesi, 2019b, 2019d).

La composición florística de una chacra puede estar asociada con su historia de manejo, la secuencia de cultivos y las prácticas utilizadas para prevenir la producción y dispersión de semillas (Marchesi, 2021; Saldain & Marchesi, 2019a). Por ello, los antecedentes de manejo constituyen un elemento relevante al planificar estrategias de control de malezas.

3.3.2 Competencia y período crítico

La competencia entre arroz y malezas es particularmente crítica durante las primeras etapas del ciclo del cultivo, cuando la implantación adecuada del arroz y el cierre temprano del entresurco resultan determinantes para minimizar la interferencia interespecífica. Cuando la emergencia de malezas ocurre de forma simultánea o anticipada respecto al cultivo, el impacto sobre el crecimiento inicial y el rendimiento puede ser significativo, especialmente en presencia de especies de alta capacidad competitiva como *Echinochloa* spp. (Marchesi & Lavecchia, 2011).

En este contexto, el manejo oportuno de las primeras cohortes de malezas resulta fundamental. La emergencia escalonada de especies como los capines complejiza el control, ya que pueden ocurrir flujos sucesivos de germinación a lo largo del ciclo. Esto exige estrategias que no solo controlen la primera emergencia, sino que mantengan niveles aceptables de supresión durante el período de mayor sensibilidad del cultivo a la competencia (Marchesi & Lavecchia, 2011; Saldain & Marchesi, 2019b, 2019d).

Por lo tanto, el éxito del manejo no depende únicamente de la eficacia puntual de un herbicida, sino también de su oportunidad de aplicación, del estado de desarrollo de las malezas, de la densidad inicial de infestación y de la capacidad del cultivo para ocupar tempranamente el espacio disponible. Este enfoque es particularmente relevante en sistemas de siembra sobre rastrojo, donde el escenario inicial puede diferir según la historia de manejo de la chacra.

3.3.3 Banco de semillas y persistencia

El banco de semillas del suelo constituye una fuente de reinfestación para los cultivos siguientes. Su dinámica depende del ingreso de nuevas semillas, de la viabilidad y dormancia de estas, y de su ubicación en el perfil del suelo. En el caso del capín, la semillazón de escapes ocurrida durante distintas fases de la rotación puede renovar anualmente el banco de semillas y contribuir a mantener la población de la maleza en el sistema (Saldain, 2009).

La persistencia del banco de semillas también depende de la ubicación de las semillas en el suelo. En Uruguay, Pereira et al. (2018) evaluaron la relevancia del banco de semillas de capín resistente a quinclorac luego de cinco zafras, considerando semillas depositadas en superficie y enterradas. Este tipo de antecedente evidencia que el manejo de los escapes y la prevención de la semillazón son componentes centrales para reducir la presión futura de infestación.

La semillazón de los escapes renueva el banco de semillas, mientras que la ubicación superficial o enterrada de estas condiciona su persistencia y su relevancia como fuente de reinfestación (Pereira et al., 2018; Saldain, 2009). En consecuencia, los antecedentes de manejo de la chacra deben considerarse al planificar estrategias integradas que combinen la prevención de nuevos aportes de semillas, las prácticas culturales y el uso racional de herbicidas (Saldain & Marchesi, 2019a, 2021).

3.4 Estrategias de manejo de malezas en arroz

El manejo de malezas en arroz bajo riego requiere la integración de prácticas culturales, preventivas y químicas, cuya eficacia depende de la historia de manejo de la chacra, la composición florística, la presión del banco de semillas, el momento de emergencia de las malezas y las condiciones ambientales durante el ciclo. Si bien el control químico constituye una herramienta central en los sistemas arroceros actuales, su desempeño y sostenibilidad dependen de su integración con otras prácticas agronómicas y de la rotación de modos de acción.

3.4.1 Control cultural y preventivo

El control cultural comprende aquellas prácticas que modifican el ambiente del cultivo con el objetivo de favorecer el establecimiento del arroz y reducir la competitividad de las malezas. Entre ellas se destacan la rotación de cultivos, la fecha de siembra, la densidad y uniformidad de implantación, el manejo del rastrojo y la gestión de la lámina de agua.

La alternancia entre arroz y otras fases de la rotación puede modificar las especies predominantes y ampliar las opciones de control de malezas; sin embargo, sus efectos dependen de la secuencia de cultivos y de las prácticas empleadas (Marchesi, 2021).

En sistemas bajo riego, el establecimiento oportuno y el mantenimiento de la inundación también cumplen un rol preventivo, al restringir nuevas emergencias de varias

especies asociadas al cultivo. Por el contrario, las demoras en la entrada de agua o los períodos de riego intermitente pueden favorecer reinfestaciones al reducir temporalmente la barrera física generada por la lámina de agua. Estas prácticas no sustituyen el control químico, pero contribuyen a mejorar su eficacia y a disminuir la dependencia exclusiva de herbicidas (Marchesi et al., 2014; Saldain & Marchesi, 2019d).

3.4.2 Control químico

El control químico puede organizarse en aplicaciones anticipadas en otoño, barbecho de presiembra, aplicaciones preemergentes y aplicaciones postemergentes. Las aplicaciones otoñales permiten intervenir con mayor anticipación sobre malezas problemáticas presentes en la chacra; el barbecho de presiembra busca controlar la vegetación remanente o las nuevas emergencias antes de la implantación del cultivo; los preemergentes reducen la emergencia inicial de malezas; y los postemergentes se orientan al control de malezas ya establecidas durante el ciclo.

3.4.3 Aplicaciones previas a la siembra: control otoñal y barbecho de presiembra

Según Saldain y Marchesi (2019a), el glifosato constituye el herbicida base en los barbechos químicos de presiembra y puede utilizarse solo o en mezcla con otros principios activos según la composición florística de la chacra y el tipo de maleza predominante. Cuando predominan malezas de hoja ancha, gramíneas o ciperáceas, la estrategia puede complementarse con ingredientes activos específicos para ampliar el espectro de control. Las aplicaciones de presiembra buscan eliminar la vegetación remanente o las nuevas emergencias antes de la implantación del arroz, mientras que las aplicaciones anticipadas en otoño permiten intervenir con mayor antelación sobre malezas perennes o de difícil control. En siembras sobre rastrojo, las malezas perennes o de difícil control adquieren mayor relevancia, ya que pueden permanecer establecidas o rebrotar hasta el momento de la siembra. En estas situaciones, el control químico anticipado resulta especialmente importante (Saldain & Marchesi, 2019a; Saldain & Sosa, 2013).

Como antecedente local, Saldain y Sosa (2013) evaluaron aplicaciones otoñales de glifosato solo y en mezcla con graminicidas para el control de grama fina (*Leersia hexandra*) en sistemas arroceros, y observaron que algunas mezclas redujeron el rebrote posterior. Este antecedente muestra que el control químico anticipado puede contribuir a disminuir la presión de gramíneas problemáticas antes de la implantación del cultivo.

3.4.4 Aplicaciones en preemergencia

Las aplicaciones en preemergencia tienen como objetivo controlar tempranamente las malezas antes o durante sus primeras etapas de emergencia, reduciendo la competencia inicial con el arroz. Esta estrategia resulta particularmente relevante para gramíneas anuales como capines, pasto blanco (*Digitaria sanguinalis*) y panicum (*Panicum dichotomiflorum*), cuya emergencia temprana puede afectar la implantación y el crecimiento inicial del cultivo (Saldain & Marchesi, 2019c, 2019d).

Entre los herbicidas preemergentes utilizados en arroz se encuentran clomazone, inhibidor de la síntesis de carotenoides, y pendimetalina, herbicida del grupo de las dinitroanilinas que interfiere en la formación de microtúbulos durante la germinación. Ambos presentan actividad principalmente sobre gramíneas anuales y algunas especies de hoja ancha, aunque su eficacia depende de condiciones como humedad del suelo, dosis, tipo de suelo, susceptibilidad varietal y presencia de cobertura superficial (Saldain & Marchesi, 2019c; Shaner, 2014a, 2014b).

En sistemas de arroz resistente a imidazolinonas, la mezcla imazapyr + imazapic permite integrar aplicaciones en preemergencia y postemergencia para el control de arroz maleza y otras malezas sensibles (Saldain & Marchesi, 2021). Estos herbicidas inhiben la enzima ALS/AHAS y pertenecen al grupo 2 según la clasificación del Herbicide Resistance Action Committee (HRAC) y la Weed Science Society of America (WSSA) (Herbicide Resistance Action Committee [HRAC], 2026). Esta tecnología debe integrarse con rotación de prácticas, control de escapes y criterios de uso responsable para reducir el riesgo de evolución de resistencia de las malezas (Marchesi, 2021; Saldain & Marchesi, 2021).

La presencia de rastrojo puede modificar la eficacia de los herbicidas preemergentes. La intercepción del producto por residuos superficiales puede reducir la cantidad efectiva de ingrediente activo que alcanza el suelo, modificando el control inicial de malezas. Por esta razón, la evaluación de preemergentes bajo distintos niveles de rastrojo resulta agrónomicamente relevante en sistemas intensificados de arroz (Chauhan & Abugho, 2012; Ortega & Agüero-Alvarado, 2005).

3.4.5 Aplicaciones en postemergencia

Las aplicaciones postemergentes se orientan al control de malezas ya emergidas durante el ciclo del cultivo. Su eficacia depende fuertemente del estado de desarrollo de las malezas al momento de aplicación, siendo mayor cuando las especies se encuentran en estadios iniciales y con bajo nivel de macollaje. Por ello, el monitoreo temprano y la oportunidad de aplicación son componentes clave para evitar pérdidas por competencia (Saldain & Marchesi, 2019b).

En arroz, las estrategias postemergentes pueden incluir herbicidas con distintos modos de acción, como inhibidores de ACCasa para gramíneas, inhibidores de ALS para gramíneas, ciperáceas y algunas latifoliadas, auxínicos sintéticos y otros grupos utilizados según la composición florística. La combinación de principios activos con diferentes modos de acción puede mejorar el espectro de control y reducir la presión de selección hacia biotipos resistentes, siempre que se utilice dentro de un programa de manejo integrado (Marchesi, 2021; Saldain & Marchesi, 2019b). En los sistemas bajo riego, la aplicación postemergente se integra temporalmente con el ingreso de la inundación: una vez aplicados los herbicidas, el rápido establecimiento y mantenimiento de la lámina de agua contribuyen a restringir nuevas emergencias y reducir la reinfestación (Marchesi et al., 2014; Saldain & Marchesi, 2019d).

Los principales ingredientes activos postemergentes documentados para el manejo de malezas en arroz en Uruguay se sintetizan en la Tabla 1.

Tabla 1

Principales ingredientes activos para aplicaciones postemergentes en el manejo de malezas en arroz en Uruguay

Ingrediente activo	Grupo HRAC/WSSA	Modo o sitio de acción	Espectro principal de control
cyhalofop-butyl; profoxydim; metamifop	1	Inhibición de la acetil-CoA carboxilasa (ACCase)	Gramíneas
penoxsulam; bispyribac-sodium	2	Inhibición de la acetolactato sintasa (ALS)	Gramíneas, ciperáceas y malezas de hoja ancha
pyrazosulfuron-ethyl	2	Inhibición de la ALS	Ciperáceas y malezas de hoja ancha
imazapyr + imazapic	2	Inhibición de la ALS	Arroz maleza y otras malezas susceptibles, en arroz resistente a imidazolinonas
quinclorac	4	Acción auxínica	Gramíneas y hojas anchas
florpyrauxifen-benzyl	4	Acción auxínica	Gramíneas seleccionadas, ciperáceas y malezas de hoja ancha
fluroxypyr; triclopyr	4	Acción auxínica	Malezas de hoja ancha
propanil	5	Inhibición de la fotosíntesis en el fotosistema II	Gramíneas y algunas malezas de hoja ancha
bentazon	6	Inhibición de la fotosíntesis en el fotosistema II	Ciperáceas y algunas hojas anchas

Nota. ACCase: acetil-CoA carboxilasa; ALS: acetolactato sintasa; HRAC: *Herbicide Resistance Action Committee*; WSSA: *Weed Science Society of America*. Los ingredientes activos y sus espectros principales de control se sintetizaron a partir de Saldain y Marchesi (2019b) y, cuando esa publicación no aportó información suficiente, de las etiquetas oficiales disponibles en la base de productos fitosanitarios de la Dirección General de Servicios Agrícolas (s.f.). Los grupos y modos o sitios de acción corresponden a la clasificación vigente de HRAC (2026). El espectro de control puede variar según la especie, su estado de desarrollo y el momento de aplicación.

3.4.6 Resistencia a herbicidas y tecnología IMI

El uso repetido de herbicidas con igual modo de acción incrementa la presión de selección sobre las poblaciones de malezas y puede favorecer la evolución de biotipos resistentes. Este riesgo es especialmente relevante en sistemas donde el control químico constituye la herramienta dominante y no se acompaña de rotaciones, control de escapes, alternancia de modos de acción y otras prácticas preventivas (Marchesi, 2021).

La tecnología IMI en arroz se basa en el uso de cultivares resistentes a herbicidas del grupo de las imidazolinonas, principalmente imazapyr + imazapic. Esta herramienta ha permitido mejorar el control de arroz maleza, ya que, debido a su similitud morfológica y fisiológica con el arroz cultivado, no puede ser controlada con los demás herbicidas. Sin embargo, su eficacia a largo plazo depende de un uso responsable, evitando aplicaciones reiteradas sin rotación de modos de acción y reduciendo la semillazón de escapes (Marchesi, 2021; Saldain & Marchesi, 2021).

3.5 Integración de estrategias y fundamento del enfoque experimental

A partir de los antecedentes revisados, la dinámica de malezas en los sistemas arroceros puede interpretarse como el resultado de la interacción entre la estructura productiva, la historia de manejo de la chacra y las prácticas aplicadas antes y durante el ciclo del cultivo. La rotación, el manejo del rastrojo, la gestión del riego y las estrategias químicas utilizadas en distintos momentos influyen de manera directa e indirecta sobre la presión de infestación, la competencia interespecífica y la eficacia de los tratamientos de control. El presente trabajo se fundamenta en la hipótesis de que la modificación del escenario inicial —mediante la aplicación de herbicida en otoño y el manejo diferencial del rastrojo— puede alterar la implantación del cultivo, la dinámica de emergencia de malezas y la eficacia relativa de las estrategias herbicidas aplicadas posteriormente. En los antecedentes revisados no se identificaron estudios que evaluaran conjuntamente la aplicación de herbicida en otoño, el nivel de rastrojo y los tratamientos herbicidas durante el cultivo bajo las condiciones locales consideradas. Por ello, este trabajo aborda estos tres factores en un mismo ensayo, con el propósito de aportar información sobre sus efectos en la implantación, las malezas y el rendimiento del arroz sobre rastrojo en el norte de Uruguay.

En este sentido, el enfoque adoptado permite interpretar cómo se expresan el nivel de rastrojo y los tratamientos herbicidas durante el cultivo dentro de cada condición de aplicación de herbicida en otoño. De esta manera, el trabajo busca aportar evidencia agronómica para ajustar estrategias de manejo de malezas en arroz sobre rastrojo, integrando criterios de eficacia, oportunidad de control y sostenibilidad del sistema productivo.

4 Materiales y métodos

4.1 Características del sitio experimental

El experimento se llevó a cabo durante la zafra 2024–2025 en Paso Farías, departamento de Artigas, en la región basáltica del norte de Uruguay, sobre suelos profundos. El sitio experimental se encuentra comprendido en la unidad cartográfica de suelos Itapebí–Tres Árboles de la Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay (Altamirano et al., 1976). El suelo del área experimental fue clasificado como Typic Hapluderts según Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2022), correspondiente al orden Vertisols y caracterizado por la presencia de arcillas expansibles y la formación de grietas estacionales. En la capa de 0–15 cm, el análisis químico presentó un pH en agua de 6,6, 2 % de carbono orgánico, una capacidad de intercambio catiónico de 46,4 meq/100 g y una saturación de bases de 97 % (Tabla 2).

La caracterización climática de la zafra se realizó a partir de datos diarios de temperatura mínima, media y máxima y de precipitación registrados por la estación meteorológica ubicada en Paso Farías. Los datos faltantes de esta estación se complementaron con registros de la estación meteorológica de ALUR ubicada en Bella Unión. Para su presentación, los datos se agruparon según las etapas de presiembra, siembra, ciclo del cultivo y cosecha. El resumen climático correspondiente al período comprendido entre el 1 de setiembre de 2024 y el 4 de marzo de 2025 se presenta en el Anexo B.

Tabla 2*Resultados del análisis químico del suelo (0–15 cm), Paso Farías, 2024*

Parámetro	Valor	Unidad
Carbono orgánico	2	%
Acidez titulable	1,3	meq/100 g
Calcio (Ca)	30,2	meq Ca/100 g
Magnesio (Mg)	14,4	meq Mg/100 g
Potasio intercambiable (K)	0,22	meq K/100 g
Sodio intercambiable (Na)	0,3	meq Na/100 g
Fósforo (P) ácido cítrico	7	ppm P
pH (agua)	6,6	-
Azufre (S-SO ₄)	7	ppm S
Nitrógeno potencial mineralizable (PMN)	11	mg/kg
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	46,4	meq/100 g
Bases totales	45,1	meq/100 g
Saturación de bases	97	%

Nota. Resultados del análisis químico de suelo de la capa 0–15 cm. Las unidades se indican en la columna correspondiente; meq/100 g: miliequivalentes por 100 g de suelo; ppm: partes por millón. Análisis realizado por el Laboratorio LAAI.

Con base en los resultados del análisis de suelo, se elaboró una recomendación de fertilización utilizando Fertiliz-Arr, herramienta de apoyo para la toma de decisiones en la fertilización del cultivo de arroz desarrollada por INIA (Castillo et al., 2015). La estrategia aplicada durante el ciclo se detalla en la Tabla 3.

Tabla 3*Estrategia de fertilización aplicada durante el ciclo del cultivo*

Momento	Forma	Producto / Nutriente	Dosis
Siembra	Basal en línea	N 4 – P 13 – K 21	150 kg ha ⁻¹
Siembra	Basal en línea	Cloruro de potasio K 60	50 kg ha ⁻¹
Siembra	Al voleo	Cloruro de potasio K 60	70 kg ha ⁻¹
Macollaje (14/11)	Cobertura	Urea N 46	200 kg ha ⁻¹
Previo a primordio (6/12)	Cobertura	Urea N 46	54 kg ha ⁻¹

Nota. Las dosis se expresan como kilogramos de producto aplicado por hectárea.

4.2 Descripción del experimento

El ensayo se realizó sobre el rastrojo de un cultivo de INIA Merín (zafra 2023-2024), y manejado de forma convencional. Este cultivo se cosechó el 14 de abril y presentó un rendimiento aproximado de 9 t ha⁻¹. Entre su cosecha y la siembra del experimento, únicamente se realizaron los manejos correspondientes al ensayo.

El experimento se instaló con arroz cultivar CL 1294, sembrado a una densidad de 130 kg ha⁻¹ de semilla, en parcelas de 3 × 4 m (12 m²). Se consideraron dos condiciones de aplicación de herbicida en otoño, tres niveles de rastrojo superficial y cuatro tratamientos herbicidas durante el cultivo. Los componentes evaluados y sus niveles se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4*Componentes experimentales y niveles considerados*

Componente	Sigla	Niveles	Descripción
Aplicación de herbicida en otoño	HBOT	2	Sin aplicación; con aplicación de clethodim
Nivel de rastrojo superficial	RT	3	Sin rastrojo; rastrojo simple; doble rastrojo
Tratamientos herbicidas durante el cultivo	THB	4	T1: sin aplicación; T2: aplicación POST; T3: aplicación PRE + POST con imidazolinonas; T4: aplicación PRE + POST con herbicidas convencionales

Nota. HBOT: condición de aplicación de herbicida en otoño; RT: nivel de rastrojo; THB: tratamientos herbicidas durante el cultivo; PRE: preemergencia; POST: postemergencia.

La condición con aplicación de herbicida en otoño consistió en la aplicación de clethodim, realizada a inicios de junio a una dosis de 144 g i.a. ha⁻¹. La condición sin aplicación de herbicida en otoño no recibió ningún tratamiento herbicida en esa fecha.

El nivel de rastrojo incluyó tres niveles, definidos según la cantidad de residuos vegetales presentes sobre la superficie del suelo: sin rastrojo, rastrojo simple y doble rastrojo. En las parcelas sin rastrojo, la paja remanente de la cosecha anterior se cortó a ras del suelo y se retiró de la superficie. En las parcelas con rastrojo simple, los residuos permanecieron sin modificación luego de la cosecha. El nivel de doble rastrojo se obtuvo mediante la distribución, sobre estas parcelas, de la paja retirada de las parcelas sin rastrojo.

Para caracterizar los niveles se determinó la cantidad de materia seca de rastrojo presente al momento de la aplicación de herbicida en otoño y antes de la siembra del cultivo (Tabla 5).

Tabla 5*Materia seca de rastrojo según nivel de rastrojo*

Fecha	Sin rastrojo	Rastrojo simple	Doble rastrojo
6/6/2024	4815	10803	18157
6/9/2024	1620	4350	8235

Nota. Valores expresados como kg de materia seca por hectárea (kg MS ha⁻¹). Las fechas corresponden a los momentos de determinación del rastrojo superficial.

Los tratamientos herbicidas durante el cultivo incluyeron cuatro niveles: un testigo sin aplicación, un tratamiento exclusivamente postemergente y dos tratamientos que combinaron aplicaciones preemergentes y postemergentes. Los principios activos, los momentos de aplicación y las dosis correspondientes se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6*Tratamientos herbicidas aplicados durante el cultivo*

Tratamiento	Momento	Ingrediente activo	Dosis (g i.a. ha ⁻¹)
T1	-	sin aplicación	-
T2	POST	penoxsulam	43,2
		cyhalofop-butyl	360
T3	PRE	imazapyr	73,5
		imazapic	24,5
	POST	imazapyr	73,5
		imazapic	24,5
T4	PRE	clomazone	384
		pendimetalina	1.300
	POST	penoxsulam	43,2
		cyhalofop-butyl	360

Nota. PRE: preemergencia; POST: postemergencia. Las dosis se expresan en gramos de ingrediente activo por hectárea (g i.a. ha⁻¹) y corresponden a cada aplicación indicada.

Las aplicaciones preemergentes se realizaron al momento de la siembra del cultivo, mientras que las aplicaciones postemergentes se efectuaron en la fecha definida para la aplicación POST. Las dosis, momentos de aplicación y combinaciones de

herbicidas se presentan en la Tabla 6. No se incorporaron en el texto condiciones de pulverización que no estuvieran registradas en la información experimental disponible.

El manejo general del experimento se realizó de acuerdo con las recomendaciones para el cultivo en la zona. Las principales actividades se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7

Manejos realizados antes y durante el experimento

Fecha	Manejo
Mayo	Manipulación y distribución del rastrojo en fajas
6 de junio	Aplicación de herbicida en otoño con clethodim (144 g i.a. ha ⁻¹)
5 de setiembre	Aplicación de glifosato (1.440 g e.a. ha ⁻¹)
15 de octubre	Rearmado de taipas
22 de octubre	Siembra y aplicación de herbicidas preemergentes
14 de noviembre	Aplicación de herbicidas postemergentes y fertilización nitrogenada
16 de noviembre	Inundación

Nota. i.a.: ingrediente activo; e.a.: equivalente ácido. La tabla resume los principales manejos realizados en el ensayo. Las dosis de herbicidas se expresan en g i.a. ha⁻¹ o g e.a. ha⁻¹, según corresponda.

4.3 Diseño experimental

El experimento se estableció en bloques, con una disposición en fajas para las condiciones de aplicación de herbicida en otoño y los niveles de rastrojo. Se dispusieron tres bloques en el campo. En cada bloque se establecieron dos fajas correspondientes a las condiciones con y sin aplicación de herbicida en otoño. Dentro de cada condición se evaluaron los tres niveles de rastrojo y los cuatro tratamientos herbicidas aplicados durante el cultivo.

La aplicación de herbicida en otoño se dispuso en franjas continuas dentro de cada bloque. Por este motivo, la interpretación de este factor se realizó considerando la estructura del diseño y los estratos de error definidos para el análisis estadístico.

Dentro de cada bloque, las combinaciones de niveles de rastrojo y tratamientos herbicidas durante el cultivo permitieron evaluar la respuesta de RT y THB dentro de cada condición de aplicación otoñal. En total, el experimento incluyó 72 unidades

experimentales, correspondientes a dos condiciones de aplicación otoñal, tres niveles de rastrojo, cuatro tratamientos herbicidas durante el cultivo y tres bloques.

La parcela experimental fue considerada la unidad experimental para los tratamientos herbicidas durante el cultivo. Para las variables de malezas, los marcos de muestreo constituyeron submuestras dentro de cada parcela; por lo tanto, los conteos fueron integrados a nivel de parcela antes del análisis estadístico.

La disposición de los factores y tratamientos en el campo se presenta en el Anexo A, donde se detalla la organización de bloques, fajas y parcelas experimentales.

4.4 Evaluaciones durante el ciclo del cultivo

Las variables medidas incluyeron la implantación del cultivo (plantas m^{-2}), la presencia y densidad de malezas (plantas m^{-2} y grado de enmalezamiento) y el rendimiento en grano de arroz ($kg\ ha^{-1}$).

Para la evaluación de implantación, realizada previo a la aplicación POST, se estimó la densidad de plantas emergidas de arroz mediante el conteo en tramos de hilera de un metro de longitud, corrigiendo los valores según la distancia entre líneas de siembra. En cada parcela se realizaron dos submuestreos representativos, evitando los bordes.

La evaluación de malezas se efectuó mediante conteo dentro de marcos de $0,20 \times 0,20\ m$. En cada parcela se colocaron dos marcos en posiciones aleatorias pero fijas a lo largo del ciclo, con el fin de mantener consistencia en las mediciones. La superficie total evaluada por parcela fue de $0,08\ m^2$. Los conteos de ambos marcos fueron sumados por parcela y posteriormente expresados como plantas m^{-2} .

En cada marco se registró el número de individuos por especie y, en el caso de *Echinochloa* spp., se clasificaron por tamaño de acuerdo con el número de macollos, como indicador del estadio de desarrollo. Las evaluaciones de malezas se realizaron previo a la aplicación POST y a los 15 DDA POST.

El 7 de febrero de 2025, con posterioridad a la floración del cultivo, se estimó el grado de enmalezamiento mediante una escala visual ordinal de 1 a 5, en la que 1 indicó ausencia o presencia mínima de malezas, 5 alta cobertura y los valores 2, 3 y 4 grados crecientes intermedios entre ambos extremos. La evaluación fue realizada de forma independiente por dos observadores, utilizando el promedio de ambas lecturas como valor final por parcela, a fin de reducir la subjetividad.

El rendimiento en grano se determinó mediante la cosecha manual de un área útil de $3,5\ m^2$ por parcela. La muestra obtenida fue acondicionada y limpiada. Posteriormente se determinó el peso del grano limpio y su contenido de humedad. El rendimiento se expresó en $kg\ ha^{-1}$ de grano limpio y seco, corregido a 13 % de humedad.

Los conteos de implantación y malezas correspondientes al momento previo a la aplicación POST se realizaron inmediatamente antes de aplicar los tratamientos

postemergentes. Por lo tanto, esta medición representa la situación previa a la acción de dichos tratamientos.

Para contextualizar los momentos de evaluación, se presenta el ciclo estimado del cultivo según ClimArroz (Tabla 8).

Tabla 8

Ciclo estimado del cultivo de arroz según ClimArroz para la zafra 2024 – 2025

Etapas	Fecha estimada
Emergencia	1 de noviembre de 2024
Macollaje	16 de noviembre de 2024
Primordio floral	13 de diciembre de 2024
50 % de floración	20 de enero de 2025
Maduración	21 de febrero de 2025

Nota. Las fechas corresponden a estimaciones obtenidas con ClimArroz. No constituyen registros de observación fenológica del ensayo.

Las evaluaciones realizadas, los momentos de muestreo y las variables registradas durante el ciclo del cultivo se resumen en la Tabla 9.

Tabla 9*Cronograma de evaluaciones del cultivo y malezas*

Fecha	Momento del cultivo	Manejo del cultivo	Variables evaluadas
22 de octubre	Siembra	Siembra y aplicación de herbicida preemergente	-
14 de noviembre	Evaluación previa y aplicación POST	Muestreo de implantación y malezas; aplicación de herbicidas postemergentes	Implantación del cultivo, capines y malezas no gramíneas al momento previo a la aplicación POST (plantas m ⁻²)
28 de noviembre	15 DDA POST	-	Capines y malezas no gramíneas a los 15 DDA POST (plantas m ⁻²)
7 de febrero	Posterior a la Floración	-	Grado de enmalezamiento (escala visual 1–5)
4 de marzo	Cosecha	Cosecha	Rendimiento en grano de arroz seco y limpio (kg ha ⁻¹)

Nota. POST: aplicación postemergente; DDA POST: días después de la aplicación postemergente. Las densidades de malezas se expresan como plantas m⁻²; el rendimiento se expresa como kg ha⁻¹ de grano seco y limpio. El grado de enmalezamiento se evaluó mediante la escala visual ordinal descrita en la sección 4.4.

4.5 Procesamiento de datos y análisis estadístico

Las bases de datos fueron consolidadas en una base analítica definitiva a nivel de parcela. Las variables de implantación, conteo de malezas y enmalezamiento se tomaron de la base original del ensayo, mientras que el rendimiento en grano se integró desde la planilla final de rendimiento. La unión de la información se realizó mediante la clave de diseño compuesta por bloque, aplicación de herbicida en otoño (HBOT), nivel de rastrojo (RT) y tratamiento herbicida aplicado durante el cultivo (THB). Previo al análisis se verificó la consistencia de la estructura factorial, la identificación de parcelas, la presencia de valores faltantes y la correspondencia entre los registros de campo y las variables finales utilizadas.

Los factores considerados fueron la aplicación de herbicida en otoño (HBOT), el nivel de rastrojo superficial (RT) y el tratamiento herbicida aplicado durante el ciclo del cultivo (THB). El análisis estadístico se definió considerando la estructura del diseño experimental y los estratos de error asociados a la disposición de los factores en campo.

Para las variables evaluadas inmediatamente antes de la aplicación POST — implantación del cultivo, capines y malezas no gramíneas—, el factor correspondiente al manejo herbicida (Herb. PRE) durante el cultivo se recodificó según los tratamientos efectivamente aplicados hasta ese momento. T1 y T2 se agruparon en un único nivel sin PRE, mientras que T3 y T4 se mantuvieron como niveles independientes debido a que recibieron tratamientos preemergentes diferentes. Para las evaluaciones realizadas después de la aplicación POST se conservaron los cuatro niveles originales de THB.

Para las variables continuas, implantación del cultivo y rendimiento en grano, se ajustaron modelos lineales mixtos. En el análisis de implantación se utilizó el factor Herb. PRE recodificado en tres niveles, mientras que para rendimiento se mantuvieron los cuatro niveles originales de THB. En ambos modelos se incluyeron como efectos fijos el bloque, HBOT, RT, el factor herbicida correspondiente al momento de evaluación y las interacciones dobles entre los factores experimentales. La estructura aleatoria incorporó los términos bloque $\times$ HBOT, bloque $\times$ RT y bloque $\times$ HBOT $\times$ RT, correspondientes a los estratos de error del diseño experimental.

La significancia de los efectos fijos en las variables continuas se evaluó mediante análisis de varianza tipo III, utilizando pruebas F con aproximación de grados de libertad de Satterthwaite. Las medias ajustadas se estimaron mediante el paquete emmeans y, cuando correspondió, se realizaron comparaciones múltiples mediante agrupamientos de letras. En los casos que hubo interacciones significativas, se evaluaron efectos simples mediante comparaciones de los niveles de RT y de THB dentro de cada condición de HBOT y, de forma complementaria, de HBOT dentro de cada nivel de RT y de THB; en ambos casos se aplicó el ajuste de Tukey.

En algunos modelos, determinados componentes de varianza fueron estimados próximos a cero. Dado que dichos componentes representaban estratos de error definidos por el diseño experimental, se mantuvieron en el modelo final y los resultados fueron interpretados considerando esta condición como una limitación técnica del ajuste.

Para las variables de conteo de malezas se utilizaron los valores originales integrados a nivel de parcela. Estos conteos correspondieron a la suma de las dos submuestras realizadas con marcos de $0,20 \times 0,20$ m. Dado que la superficie muestreada fue constante entre parcelas, las medias ajustadas fueron posteriormente interpretadas en la escala original y expresadas como plantas m^{-2} .

En las variables de conteo se evaluó inicialmente la adecuación de modelos Poisson y binomial negativa, considerando la presencia de sobredispersión y la estabilidad del ajuste. En función de dicha evaluación, los modelos finales para capines y malezas no gramíneas se ajustaron mediante modelos lineales generalizados mixtos con distribución binomial negativa y función de enlace logarítmica, adecuados para conteos con sobredispersión. Estos modelos incluyeron como efectos fijos el bloque, HBOT, RT y el factor herbicida correspondiente al momento de evaluación —Herb. PRE para la medición previa a POST y THB para la evaluación a los 15 DDA POST—, manteniendo

la estructura aleatoria asociada a los estratos bloque $\times$ HBOT, bloque $\times$ RT y bloque $\times$ HBOT $\times$ RT.

Las interacciones dobles entre HBOT, RT y el factor herbicida correspondiente fueron evaluadas inicialmente. En los modelos de conteo ninguna resultó significativa y su inclusión redujo la estabilidad de los ajustes. Por este motivo, los modelos finales se simplificaron a una estructura aditiva y la inferencia estadística se realizó sobre los efectos principales de HBOT, RT y del factor herbicida correspondiente al momento de evaluación.

La significancia de los efectos fijos en las variables de conteo se evaluó mediante análisis tipo III con pruebas de Wald χ^2 . Las medias ajustadas se estimaron en la escala de respuesta del modelo, para facilitar la interpretación agronómica de los resultados.

El grado de enmalezamiento fue registrado por dos evaluadores mediante una escala visual ordinal de 1 a 5. Para cada parcela se utilizó el promedio de ambas evaluaciones. Debido a esta naturaleza ordinal de la variable, se utilizó la prueba no paramétrica de Friedman para evaluar separadamente las diferencias globales entre los niveles de HBOT, RT y THB considerando el bloque como factor de bloqueo. Para cada factor, los valores correspondientes a los restantes factores se promediaron dentro de cada bloque. Como THB presentó diferencias significativas en la prueba global, se realizaron comparaciones post hoc mediante la prueba de Nemenyi para diseños bloqueados completos. No se evaluaron interacciones factoriales para esta variable.

En todos los casos, las diferencias se consideraron significativas cuando $p \leq 0,05$, mientras que valores entre 0,05 y 0,07 fueron interpretados como tendencias. Los análisis se realizaron en R, utilizando los paquetes lme4, lmerTest, glmmTMB, car, emmeans, multcomp, multcompView y PMCMRplus, según correspondió.

5 Resultados

La respuesta de las variables evaluadas varió según el momento de medición y el grupo de malezas considerado. En la Tabla 10 se presenta un resumen de la significancia estadística de los factores evaluados para cada variable de respuesta.

Tabla 10

Resumen de significancia estadística de los factores evaluados según variable de respuesta

Variable	HBOT	RT	Herb. PRE	THB	Modelo o comparación complementaria
Implantación	0,092	0,938	0,028	-	LMM; sin interacciones significativas
Capines a POST	0,005	<i>0,051</i>	0,047	-	GLMM aditivo con distribución binomial negativa; comparación según Herb. PRE
Capines 15 DDA POST	0,010	0,109	-	0,522	GLMM aditivo con distribución binomial negativa
No gramíneas a POST	0,893	0,109	<i>0,068</i>	-	GLMM aditivo con distribución binomial negativa; comparación según Herb. PRE
No gramíneas 15 DDA POST	0,752	0,043	-	0,002	GLMM aditivo con distribución binomial negativa
Enmalezamiento — Friedman	0,083	1,000	-	0,039	Friedman bloqueado; Nemenyi para THB
Rendimiento	< 0,001	0,027	-	0,082	LMM; interacciones HBOT × RT y HBOT × THB

Nota. Los valores de p corresponden a pruebas estadísticas distintas según la naturaleza de cada variable, por lo que deben interpretarse dentro de cada variable y modelo. Para implantación y rendimiento se presentan valores de p del análisis de varianza tipo III; para las variables de conteo, pruebas de Wald χ^2 en modelos lineales generalizados mixtos; y para el enmalezamiento pruebas de Friedman realizadas separadamente para HBOT, RT y THB. La columna “Modelo, interacción o comparación complementaria” resume los efectos interpretados y no siempre corresponde a una interacción factorial formal. HBOT: aplicación de herbicida en otoño; RT: nivel de rastrojo; THB: tratamiento herbicida aplicado durante el cultivo; LMM: modelo lineal mixto; GLMM: modelo lineal generalizado mixto. Para implantación y los conteos realizados inmediatamente antes de la aplicación POST se utilizó el factor “Herb. PRE”, compuesto por tres niveles: sin PRE (T1 + T2), PRE con imazapic + imazapyr (T3) y PRE con clomazone + pendimetalina (T4). Para las evaluaciones posteriores se utilizó THB, correspondiente a los cuatro tratamientos herbicidas completos. El guion indica que el factor no correspondía al momento en que se realizó la evaluación. Los valores de p en **negrita** indican resultados significativos ($p \leq 0,05$) y los valores en *cursiva* indican tendencias estadísticas ($0,05 < p < 0,07$).

5.1 Implantación del cultivo

La implantación del cultivo fue evaluada inmediatamente antes de la aplicación POST. En el modelo lineal mixto, el manejo herbicida efectivamente aplicado hasta ese momento presentó un efecto significativo sobre la implantación ($p = 0,028$). La condición sin PRE, que agrupó T1 y T2, presentó una densidad ajustada de $205,4 \pm 8,3$ plantas m^{-2} ; T3 registró $197,7 \pm 8,9$ plantas m^{-2} y T4, $189,5 \pm 8,9$ plantas m^{-2} . En las comparaciones múltiples, T4 presentó menor implantación que la condición sin PRE ($p = 0,023$), mientras que T3 mostró un comportamiento intermedio y no se diferenció estadísticamente de los otros dos manejos (Tabla 11).

Tabla 11

Implantación del cultivo según manejo herbicida aplicado hasta el momento de la evaluación

Manejo herbicida	Implantación (plantas m^{-2})	EE	Grupo de comparación
Sin PRE (T1 + T2)	205,4	8,3	b
PRE imazapic + imazapyr (T3)	197,7	8,9	ab
PRE clomazone + pendimetalina (T4)	189,5	8,9	a

Nota. La condición sin PRE incluye a T1 y T2, que no habían recibido herbicidas durante el cultivo al momento de la evaluación. T3 recibió imazapic + imazapyr y T4 recibió clomazone + pendimetalina en preemergencia. Las medias fueron ajustadas mediante un modelo lineal mixto. EE: error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre los manejos según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

La aplicación de herbicida en otoño no presentó un efecto significativo sobre la implantación (HBOT; $p = 0,092$). Las medias ajustadas fueron de $190,5 \pm 8,8$ y $204,6 \pm 8,8$ plantas m^{-2} para las condiciones sin y con aplicación otoñal, respectivamente. El nivel de rastrojo no presentó efecto significativo sobre esta variable (RT; $p = 0,938$). No se detectaron interacciones significativas al 5 % para HBOT $\times$ RT ($p = 0,209$), RT $\times$ Herb. PRE ($p = 0,084$) ni HBOT $\times$ Herb. PRE ($p = 0,137$).

5.2 Capines

En las variables de conteo no se detectaron interacciones significativas entre los factores evaluados. Por este motivo, los resultados se presentan a partir de los modelos aditivos finales. Para los conteos realizados inmediatamente antes de la aplicación POST, el efecto del tratamiento corresponde al Herb. PRE efectivamente aplicado hasta ese momento, con T1 y T2 agrupados en la condición sin PRE. Para las evaluaciones realizadas a los 15 DDA POST, se mantuvieron los cuatro niveles originales de THB.

5.2.1 Capines al momento previo a la aplicación POST

La densidad de capines al momento previo a la aplicación POST presentó efecto significativo de la aplicación de herbicida en otoño (HBOT; $p = 0,005$) y del factor Herb. PRE ($p = 0,047$). Las parcelas con aplicación otoñal presentaron menor densidad ajustada de capines que las parcelas sin aplicación (Tabla 12). En la comparación de los manejos PRE, T4 presentó menor densidad de capines que la condición sin PRE, mientras que T3 mostró un comportamiento intermedio y no se diferenció estadísticamente de ambos (Tabla 13).

Tabla 12

Densidad de capines previa a la aplicación POST según aplicación de herbicida en otoño

Aplicación de herbicida en otoño	Capines al momento previo a la aplicación POST (plantas m ⁻²)	EE	Grupo de comparación
Con aplicación	11,7	2,6	a
Sin aplicación	24,9	4,6	b

Nota. HBOT: aplicación de herbicida clethodim en otoño; POST: aplicación postemergente. Las medias fueron ajustadas mediante un modelo lineal generalizado mixto con distribución binomial negativa, retransformadas a la escala original y expresadas como plantas m⁻². EE: error estándar aproximado en la escala de respuesta, calculado mediante el método delta. Letras distintas indican diferencias significativas entre los niveles de HBOT ($p \leq 0,05$).

Tabla 13

Densidad de capines previa a la aplicación POST según manejo herbicida aplicado hasta el momento de la evaluación

Manejo herbicida	Capines al momento previo a la aplicación POST (plantas m⁻²)	EE	Grupo de comparación
Sin PRE (T1 + T2)	24,5	4,4	b
PRE imazapic + imazapyr (T3)	20,0	5,2	ab
PRE clomazone + pendimetalina (T4)	10,2	3,2	a

Nota. La condición sin PRE agrupa T1 y T2, que no habían recibido herbicidas durante el cultivo al momento del muestreo; T3 recibió imazapic + imazapyr y T4 recibió clomazone + pendimetalina en preemergencia. POST: aplicación postemergente. Las medias fueron ajustadas mediante un modelo lineal generalizado mixto con distribución binomial negativa, retransformadas a la escala original y expresadas como plantas m⁻². EE: error estándar aproximado en la escala de respuesta, calculado mediante el método delta. Letras distintas indican diferencias significativas entre los manejos herbicidas ($p \leq 0,05$).

El nivel de rastrojo presentó una tendencia estadística (RT; $p = 0,051$). Numéricamente, el rastrojo simple presentó la mayor densidad ajustada de capines, con 26,2 plantas m⁻², frente a 13,1 y 14,5 plantas m⁻² en las condiciones sin rastrojo y con doble rastrojo, respectivamente. Sin embargo, las comparaciones múltiples de Tukey no separaron los niveles de rastrojo al 5 %.

5.2.2 Capines a los 15 DDA POST

A los 15 días después de la aplicación POST, la densidad de capines presentó efecto significativo de la aplicación de herbicida en otoño (HBOT; $p = 0,010$). Las parcelas con aplicación otoñal presentaron menor densidad ajustada de capines que las parcelas sin aplicación otoñal (Tabla 14).

Tabla 14

Densidad de capines a los 15 DDA POST según aplicación de herbicida en otoño

Aplicación de herbicida en otoño	Capines 15 DDA POST (plantas m⁻²)	EE	Grupo de comparación
Con aplicación	5,4	1,5	a
Sin aplicación	13,5	3,4	b

Nota. HBOT: aplicación de herbicida clethodim en otoño; DDA POST: días después de la aplicación postemergente. Medias ajustadas del modelo generalizado mixto con distribución binomial negativa, retransformadas a la escala original y expresadas como plantas m⁻². EE: error estándar aproximado en la escala de respuesta, calculado mediante el método delta. Letras distintas indican diferencias significativas entre niveles de HBOT ($p \leq 0,05$).

El nivel de rastrojo (RT; $p = 0,109$) y el tratamiento herbicida aplicado durante el cultivo (THB; $p = 0,522$) no presentaron efectos significativos sobre la densidad de capines a los 15 DDA POST.

5.3 Malezas no gramíneas

5.3.1 No gramíneas al momento previo a la aplicación POST

La densidad de malezas no gramíneas al momento previo a la aplicación POST presentó una tendencia asociada con el manejo herbicida efectivamente aplicado hasta ese momento ($p = 0,068$), sin alcanzar significancia al 5 %. La condición sin PRE, que agrupó T1 y T2, presentó una densidad ajustada de 18,4 plantas m⁻², mientras que T3 y T4 registraron 10,5 y 8,9 plantas m⁻², respectivamente. Sin embargo, las comparaciones múltiples de Tukey no separaron estadísticamente los tres manejos evaluados (Tabla 15).

Tabla 15

Densidad de malezas no gramíneas previa a la aplicación POST según manejo herbicida previo

Manejo herbicida	No gramíneas al momento previo a la aplicación POST (plantas m⁻²)	EE	Grupo de comparación
Sin PRE (T1 + T2)	18,4	3,3	a
PRE imazapic + imazapyr (T3)	10,5	3,2	a
PRE clomazone + pendimetalina (T4)	8,9	2,8	a

Nota. La condición sin PRE agrupa T1 y T2, que no habían recibido herbicidas durante el cultivo al momento del muestreo; T3 recibió imazapic + imazapyr y T4 recibió clomazone + pendimetalina en preemergencia. POST: aplicación postemergente. Las medias fueron ajustadas mediante un modelo lineal generalizado mixto con distribución binomial negativa, retransformadas a la escala original y expresadas como plantas m⁻². EE: error estándar aproximado en la escala de respuesta, calculado mediante el método delta. El efecto global del manejo herbicida mostró una tendencia ($p = 0,068$), pero las comparaciones múltiples de Tukey no separaron los manejos al 5 %. Medias acompañadas por la misma letra no difieren significativamente entre sí.

La aplicación de herbicida en otoño no presentó efecto significativo sobre la densidad de malezas no gramíneas previa a la aplicación POST (HBOT; $p = 0,893$). El nivel de rastrojo tampoco presentó un efecto significativo sobre esta variable (RT; $p = 0,109$).

5.3.2 No gramíneas a los 15 DDA POST

A los 15 días después de la aplicación POST, la densidad de malezas no gramíneas presentó efecto significativo del nivel de rastrojo (RT; $p = 0,043$) y del tratamiento herbicida aplicado durante el cultivo (THB; $p = 0,002$). La aplicación de herbicida en otoño no presentó efecto significativo sobre esta variable (HBOT; $p = 0,752$).

En las comparaciones múltiples, el doble rastrojo presentó menor densidad ajustada de no gramíneas que la condición sin rastrojo, mientras que el rastrojo simple no se diferenció estadísticamente de ambos niveles (Tabla 16). Para THB, el tratamiento T3 presentó menor densidad ajustada que el testigo T1, mientras que T2 y T4 no se diferenciaron estadísticamente de ambos (Tabla 17).

Tabla 16

Densidad de malezas no gramíneas a los 15 DDA POST según nivel de rastreo

Nivel de rastreo	No gramíneas 15 DDA POST (plantas m ⁻²)	EE	Grupo de comparación
Doble rastreo	2,9	1,2	a
Rastreo simple	7,3	2,1	ab
Sin rastreo	9,0	2,4	b

Nota. RT: nivel de rastreo; DDA POST: días después de la aplicación postemergente. Medias ajustadas del modelo generalizado mixto con distribución binomial negativa, retransformadas a la escala original y expresadas como plantas m⁻². EE: error estándar aproximado en la escala de respuesta, calculado mediante el método delta. Letras distintas indican diferencias significativas entre niveles de rastreo ($p \leq 0,05$).

Tabla 17

Densidad de malezas no gramíneas a los 15 DDA POST según tratamiento herbicida

Tratamiento	No gramíneas 15 DDA POST (plantas m ⁻²)	EE	Grupo de comparación
T3	2,3	1,2	a
T2	5,6	2,0	ab
T4	5,8	2,0	ab
T1	15,1	3,7	b

Nota. T1: sin aplicación; T2: aplicación postemergente; T3: imazapyr + imazapic en preemergencia y postemergencia; T4: clomazone + pendimetalina en preemergencia y penoxsulam + cyhalofop-butyl en postemergencia. DDA POST: días después de la aplicación postemergente. Medias ajustadas del modelo generalizado mixto con distribución binomial negativa, retransformadas a la escala original y expresadas como plantas m⁻². EE: error estándar aproximado en la escala de respuesta, calculado mediante el método delta. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$).

5.4 Enmalezamiento

En la prueba de Friedman, THB presentó diferencias significativas ($p = 0,039$), HBOT y RT no presentaron diferencias ($p = 0,083$ y $p = 1,000$ respectivamente). En consecuencia, el efecto más consistente correspondió a THB (Tabla 10).

El testigo presentó el mayor valor promedio de enmalezamiento, mientras que los menores valores se registraron en los tratamientos T3 y T4 (Tabla 18). Las comparaciones post hoc de Nemenyi no separaron pares de tratamientos al 5 % (Tabla C3). Las comparaciones T3 – T1 y T4 – T1 presentaron un $p = 0,083$ en ambos casos, por lo tanto, la prueba global indica heterogeneidad entre los tratamientos, pero las comparaciones post hoc no permiten identificar diferencias significativas entre pares específicos.

Tabla 18

Grado de enmalezamiento según tratamiento herbicida aplicado durante el cultivo

Tratamiento	Promedio descriptivo de enmalezamiento	EE
T3	1,42	0,14
T4	1,50	0,05
T2	2,06	0,35
T1	3,14	0,12

Nota. T1: sin aplicación; T2: aplicación postemergente; T3: imazapyr + imazapic en preemergencia y postemergencia; T4: clomazone + pendimetalina en preemergencia y penoxsulam + cyhalofop-butyl en postemergencia. Los valores son resúmenes descriptivos de la escala visual de 1 a 5. La inferencia se basó en la prueba de Friedman bloqueada ($p = 0,039$); las comparaciones post hoc de Nemenyi no separaron pares de tratamientos al 5 %.

5.5 Rendimiento en grano

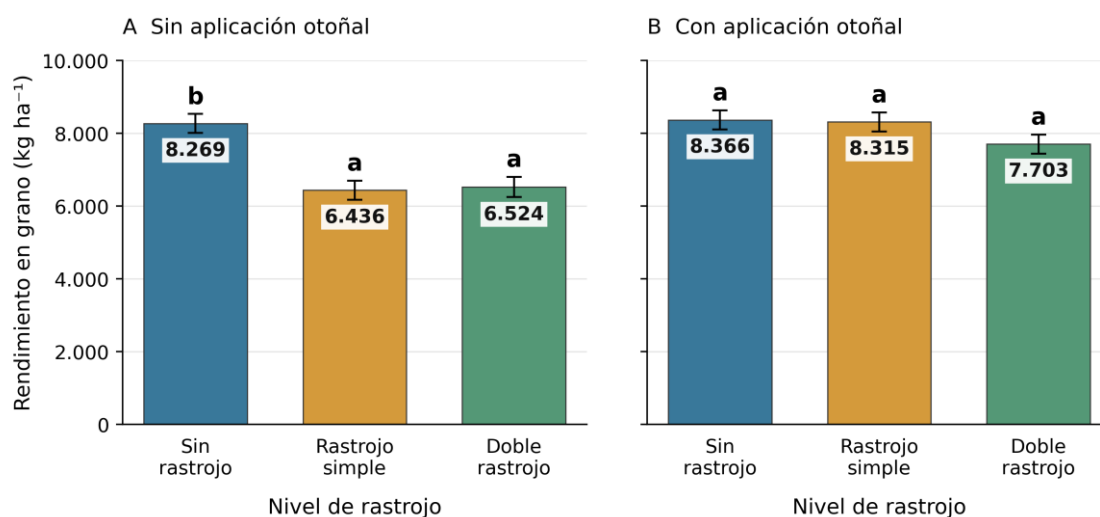
El rendimiento en grano promedio del experimento fue de 7613 kg ha^{-1} . El análisis detectó efectos significativos de la aplicación de herbicida en otoño (HBOT; $p < 0,001$) y del nivel de rastrojo (RT; $p = 0,027$), mientras que THB no mostró efectos significativos ($p = 0,082$). Además, se detectaron interacciones significativas HBOT $\times$ RT ($p = 0,002$) y HBOT $\times$ THB ($p = 0,002$). La interacción RT $\times$ THB presentó una tendencia estadística ($p = 0,060$).

Debido a la presencia de interacciones significativas, los efectos principales de HBOT, RT y THB no fueron interpretados de forma aislada. La interpretación se centró en las comparaciones de los niveles de RT y de THB dentro de cada condición de HBOT.

Sin aplicación de herbicida en otoño, el rendimiento fue mayor en la condición sin rastrojo que con rastrojo simple o doble, mientras que estos dos últimos no difirieron entre sí. Con aplicación otoñal, no se detectaron diferencias significativas entre los niveles de rastrojo (Figura 1).

Figura 1

Rendimiento en grano según nivel de rastrojo dentro de cada condición de aplicación de herbicida en otoño (HBOT)

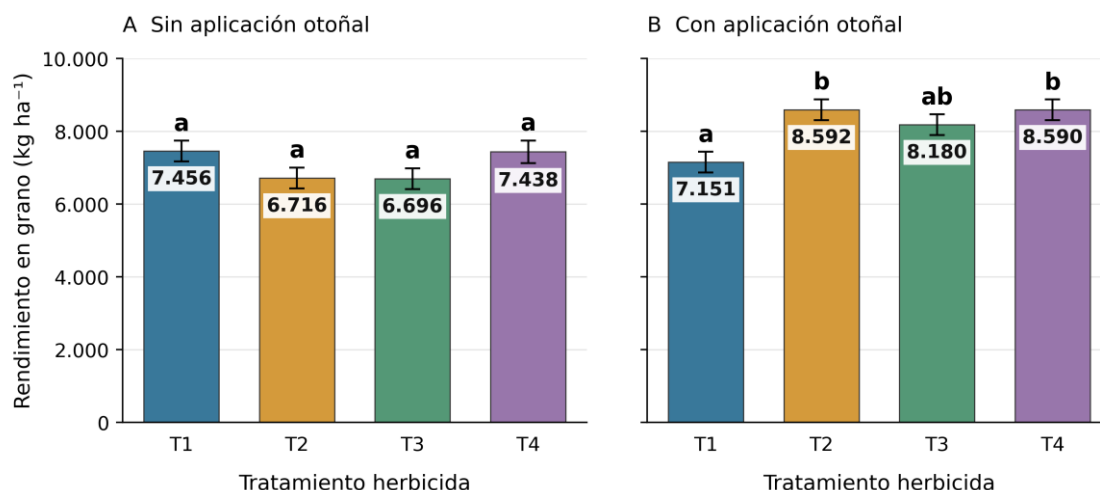


Nota. Las barras representan medias ajustadas y las líneas verticales ± 1 error estándar. A: sin aplicación otoñal; B: con aplicación otoñal. Dentro de cada panel, las medias que comparten al menos una letra no difieren significativamente según la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$). Las letras comparan únicamente los niveles de rastrojo dentro de cada condición de aplicación otoñal y no permiten comparar entre paneles. La interacción HBOT $\times$ RT fue significativa ($p = 0,002$). HBOT: aplicación de herbicida en otoño; RT: nivel de rastrojo.

Sin aplicación de herbicida en otoño, no se detectaron diferencias significativas de rendimiento entre los tratamientos T1, T2, T3 y T4. Con aplicación otoñal, T2 y T4 presentaron mayores rendimientos que T1, mientras que T3 ocupó una posición intermedia y no difirió significativamente de los demás tratamientos (Figura 2).

Figura 2

Rendimiento en grano según tratamiento herbicida dentro de cada condición de aplicación de herbicida en otoño (HBOT)



Nota. Las barras representan medias ajustadas y las líneas verticales ± 1 error estándar. A: sin aplicación otoñal; B: con aplicación otoñal. T1: sin aplicación de herbicidas durante el cultivo; T2: penoxsulam + cyhalofop-butyl en postemergencia; T3: imazapyr + imazapic en preemergencia y postemergencia; T4: clomazone + pendimetalina en preemergencia y penoxsulam + cyhalofop-butyl en postemergencia. Dentro de cada panel, las medias que comparten al menos una letra no difieren significativamente según la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$). Las letras comparan únicamente los tratamientos herbicidas dentro de cada condición de aplicación otoñal y no permiten comparar entre paneles. La interacción HBOT $\times$ THB fue significativa ($p = 0,002$). HBOT: aplicación de herbicida en otoño; THB: tratamiento herbicida durante el cultivo.

La interacción RT $\times$ THB presentó una tendencia estadística ($p = 0,060$), pero no alcanzó significancia al 5 %. Las medias ajustadas de sus combinaciones se presentan, con finalidad descriptiva, en la Tabla C4.

6 Discusión

Los factores evaluados se asociaron con respuestas diferentes según la variable, el momento de evaluación y la combinación de manejos. La discusión se organiza en torno a esos patrones, con énfasis en las interacciones de rendimiento y sin atribuir a un único factor respuestas que dependieron del contexto experimental.

6.1 Implantación del cultivo

Una implantación rápida y uniforme favorece la ocupación temprana del espacio y la capacidad competitiva del cultivo frente a las malezas. En sistemas arroceros comerciales de Uruguay, variables vinculadas al manejo inicial del cultivo, el control de malezas y el riego se han asociado con la variabilidad del rendimiento entre chacras (Berberian et al., 2020).

En este ensayo, el manejo herbicida preemergente aplicado hasta el momento de la evaluación afectó la implantación del cultivo. La condición sin aplicación de herbicida PRE presentó la mayor densidad de plantas, T3 mostró un comportamiento intermedio y T4 presentó una implantación significativamente menor que la condición sin aplicación de herbicida PRE. Como la evaluación se realizó antes de la aplicación POST, esta respuesta se encuentra asociada únicamente con los componentes preemergentes de los tratamientos.

La menor implantación observada con T4 indica una respuesta asociada con la mezcla de clomazone + pendimetalina aplicada en preemergencia. Sin embargo, el ensayo no incluyó evaluaciones de fitotoxicidad ni otras mediciones que permitan identificar el mecanismo responsable o atribuir el resultado a uno de los ingredientes activos por separado. Por lo tanto, el resultado debe interpretarse como una diferencia entre los tratamientos evaluados. Cabe destacar que, si bien se detectó un efecto del uso de estos herbicidas PRE sobre la recuperación de plantas de arroz, los niveles de poblaciones alcanzados se mantuvieron próximas a 200 plantas m^{-2} en las tres condiciones evaluadas.

La aplicación de herbicida en otoño y el nivel de rastrojo no presentaron efectos significativos sobre la implantación. La ausencia de efecto del rastrojo indica que, bajo las condiciones del ensayo, los niveles evaluados no generaron una limitante marcada para el establecimiento inicial del arroz. Aunque la bibliografía indica que el rastrojo puede modificar el ambiente superficial del suelo y la emergencia de plántulas (Ortega & Agüero-Alvarado, 2005), los niveles de materia seca y la tecnología de siembra pueden estar afectando de forma diferencial dichas variables. Tampoco se detectaron interacciones significativas entre los factores, por lo que no existe evidencia de que la respuesta al tratamiento herbicida preemergente variara por el nivel de rastrojo o el uso de herbicida en otoño.

6.2 Capines

La presencia de capines varió según el momento de evaluación. Previo a la aplicación POST, tanto la aplicación de herbicida en otoño como el factor Herb. PRE presentaron efectos significativos, y el rastreo mantuvo una clara tendencia. A los 15 DDA POST, en cambio, solamente se mantuvo el efecto de la aplicación otoñal (HBOT).

La aplicación de un herbicida graminicida en otoño fue el factor más consistente. Tanto en la medición previa a la aplicación POST como a los 15 DDA POST, las parcelas con HBOT presentaron menor densidad ajustada de capines que las parcelas sin aplicación otoñal. La aplicación otoñal se asoció con una menor densidad de capines en la evaluación previa a POST, y esta diferencia se mantuvo en la evaluación posterior a POST y al inicio de la inundación. Este resultado es relevante para el manejo del cultivo, ya que reducir tempranamente la presión de malezas contribuye a disminuir la competencia con el arroz, y un control adecuado se asocia con mejores rendimientos (Marchesi & Lavecchia, 2011). Esta respuesta coincide con el objetivo de los controles anticipados, que buscan reducir la presencia de malezas antes de la siembra y disminuir la interferencia durante las primeras etapas del cultivo. En antecedentes locales, las aplicaciones otoñales fueron evaluadas como herramienta para reducir la presión posterior de gramíneas problemáticas, como gramas finas, dentro de sistemas arroceros (Saldain & Sosa, 2013). Si bien dicho antecedente corresponde a otras gramíneas problemáticas y no específicamente a capines, aporta un marco para discutir la respuesta al manejo otoñal. En este ensayo no se evaluaron la composición, la densidad ni el estado de desarrollo de las malezas presentes al momento de la aplicación de otoño. Por lo tanto, no fue posible determinar sobre qué población actuó el tratamiento ni establecer el mecanismo que explica la menor densidad de capines observada durante el cultivo.

Antes de la aplicación POST, T4 presentó menor densidad de capines que la condición sin PRE, mientras que T3 mostró un comportamiento intermedio. Debido al momento de evaluación, esta respuesta se encuentra asociada exclusivamente con los componentes preemergentes de los tratamientos. El resultado indica que la mezcla de clomazone + pendimetalina incluida en T4 se asoció con una menor densidad inicial de capines en comparación con la ausencia de PRE. Sin embargo, como T3 no se diferenció de los demás tratamientos, no corresponde generalizar el efecto a todos los tratamientos preemergentes. La eficacia de estos herbicidas puede variar según el ingrediente activo y las condiciones de suelo, humedad y cobertura superficial (Chauhan & Abugho, 2012; Saldain & Marchesi, 2019c). El uso de clomazone como herbicida PRE de base está ampliamente extendido en los sistemas arroceros, ocupando un 60-70 % del área; evidentemente esto se debe a su muy buen control de malezas, principalmente capines. Sin embargo, en condiciones desfavorables o en cultivares sensibles, puede provocar fitotoxicidad en el cultivo de arroz (Saldain & Marchesi, 2012). En este experimento, se mezcló con pendimetalina. Hay evidencias del buen control que ejercen ambos en mezcla (Marchesi, 2020); sin embargo, también hay reportes internacionales que le atribuyen efectos fitotóxicos a este herbicida sobre el cultivo, dependiendo de su posición en el suelo respecto a la semilla (Bond & Walker, 2009). El hecho de que esta mezcla haya

afectado positivamente el control de capín, pero negativamente la implantación puede estar indicando algún efecto de fitotoxicidad; sin embargo, con la información recabada no podemos confirmar cuál de los dos activos podría ser el responsable en este caso.

A los 15 DDA POST no se detectaron diferencias significativas entre los cuatro niveles de THB. Por lo tanto, en ese momento el ensayo no permitió separar estadísticamente las secuencias herbicidas completas. Este resultado no demuestra que los componentes PRE y POST carecieran de aporte agronómico, ya que el control observado fue el resultado acumulado de las diversas prácticas implementadas.

El nivel de rastrojo mostró solo una tendencia en la medición previa a la aplicación POST y no presentó un efecto significativo a los 15 DDA POST. Esto indica que, para este grupo de malezas, el efecto del rastrojo no es de lo más relevante. Si bien la cobertura superficial puede interferir en la emergencia de malezas o en la cantidad de herbicidas que llegan al suelo (Chauhan & Abugho, 2012; Ortega & Agüero-Alvarado, 2005), en las condiciones evaluadas no se observó un efecto significativo de RT sobre la presencia de capines.

6.3 Malezas no gramíneas

La respuesta de las malezas no gramíneas difirió de la observada en capines. La aplicación de herbicida en otoño no presentó efecto significativo sobre este grupo en ninguna de las dos evaluaciones, lo cual es esperable ya que se trató de un graminicida; por otro lado, el nivel de rastrojo en superficie y el tratamiento herbicida adquirieron relevancia recién a los 15 DDA POST.

En la medición previa a la aplicación POST, la condición sin PRE, correspondiente a T1 y T2 agrupados, presentó la mayor densidad ajustada de malezas no gramíneas con 18,4 plantas m^{-2} , mientras que T3 y T4 registraron 10,5 y 8,9 plantas m^{-2} respectivamente. Aunque el factor Herb. PRE presentó una tendencia estadística, las comparaciones múltiples no separaron los manejos evaluados. Por lo tanto, los resultados muestran menores densidades en las parcelas que recibieron herbicidas preemergentes, pero no permiten establecer diferencias concluyentes entre los manejos.

A los 15 DDA POST, el tratamiento herbicida presentó un efecto significativo sobre la densidad de malezas no gramíneas. T3 mostró una densidad ajustada menor que T1, mientras que T2 y T4 ocuparon posiciones intermedias y no se diferenciaron estadísticamente de ambos extremos (T1 y T3). En este momento de evaluación resulta válido relacionar la respuesta con las secuencias herbicidas aplicadas. Aparentemente, las imidazolinonas fueron más eficientes o tienen un espectro más amplio en el control de no gramíneas que la secuencia convencional (clomazone + pendimetalina seguido de penoxsulam).

El nivel de rastrojo también afectó la densidad de malezas no gramíneas a los 15 DDA POST. El doble rastrojo presentó una densidad ajustada menor que la condición sin rastrojo, mientras que el rastrojo simple no se diferenció estadísticamente de ambos

niveles. Este patrón es compatible con antecedentes que indican que la cobertura superficial puede modificar la emergencia de malezas, aunque la magnitud y la dirección de la respuesta dependen de la especie, la cantidad y distribución del residuo y las condiciones ambientales (Ortega & Agüero-Alvarado, 2005). En consecuencia, el resultado observado puede interpretarse como un efecto del rastreo sobre el tipo de maleza evaluada y no generalizable a todos los grupos de malezas.

En conjunto, considerando las evaluaciones sobre capines y no gramíneas, los resultados muestran que no corresponde generalizar la respuesta a las variables estudiadas para todas las malezas. HBOT fue más relevante para capines, mientras que RT y THB explicaron parte de la respuesta de las no gramíneas a los 15 DDA POST. Esta respuesta diferenciada es consistente con antecedentes que muestran que la emergencia y la eficacia del control pueden variar entre especies, según la cobertura de rastreo, el herbicida utilizado y el estado de desarrollo de las malezas al momento de la aplicación (Chauhan & Abugho, 2012; Saldain & Marchesi, 2019b). Además, como no se detectaron interacciones significativas, no existe evidencia de que la respuesta de las malezas a los factores evaluados variara según el efecto de los demás, como que THB dependiera de HBOT o de RT en no gramíneas, o HBOT del uso de PRE en capines.

6.4 Enmalezamiento final

El grado de enmalezamiento final estuvo asociado principalmente con el tratamiento herbicida aplicado durante el cultivo. La prueba de Friedman mostró diferencias para THB ($p = 0,039$), mientras que la aplicación de herbicida en otoño y el nivel de rastreo no mostraron diferencias significativas ($p = 0,083$ y $p = 1,000$ respectivamente). Por lo tanto, la respuesta más consistente para esta variable correspondió a las estrategias herbicidas aplicadas durante el cultivo.

En términos descriptivos, el testigo T1 presentó el mayor grado promedio de enmalezamiento (3,1), seguido por T2 (2,1), mientras que T3 y T4 registraron los menores valores, con 1,4 y 1,5, respectivamente. Estos valores también permiten contextualizar la magnitud del enmalezamiento observado en el ensayo. Considerando que la evaluación se realizó en una escala de 1 a 5, donde 1 representó ausencia o presencia mínima de malezas y 5 alta cobertura, los promedios de los tratamientos se ubicaron entre 1,4 y 3,1. Por lo tanto, aun el testigo, que presentó el mayor promedio, se ubicó próximo al nivel medio de la escala y no al extremo de mayor enmalezamiento. Este aspecto debe considerarse al interpretar la magnitud de las diferencias observadas entre tratamientos.

Si bien Friedman detectó diferencias globales entre los tratamientos herbicidas, las comparaciones post hoc de Nemenyi no separaron pares de tratamientos al 5 %. Las comparaciones T1–T3 y T1–T4 presentaron valores de p ajustados de 0,083, mostrando menores grados de enmalezamiento (T3 y T4), pero sin evidencia estadística suficiente para afirmar diferencias entre estos tratamientos y el testigo. En consecuencia, los resultados permiten señalar un patrón descriptivo de menor enmalezamiento en las

secuencias que incluyeron aplicaciones PRE + POST, pero no permiten afirmar su superioridad estadística.

6.5 Rendimiento en grano

El rendimiento en grano presentó dos interacciones dobles significativas que involucraron a la aplicación de herbicida en otoño: HBOT $\times$ RT y HBOT $\times$ THB. Debido a estas interacciones, los efectos principales no deben interpretarse de forma aislada. En consecuencia, la discusión se centra en las comparaciones de los niveles de RT y THB dentro de cada condición de HBOT.

La interacción HBOT $\times$ RT mostró que la respuesta productiva al nivel de rastrojo dependió de la condición de aplicación de graminicida en el otoño previo. Sin HBOT, la condición sin rastrojo presentó mayor rendimiento que el rastrojo simple y el doble rastrojo, mientras que estos dos últimos no difirieron entre sí. En cambio, con HBOT no se detectaron diferencias significativas entre los tres niveles de rastrojo, siendo estos 12% superiores en promedio al rendimiento sin HBOT (8,1 vs 7,1 ton ha⁻¹). La presencia de rastrojo puede modificar la respuesta productiva del cultivo mediante cambios en el microambiente superficial y en distintos procesos asociados a la cantidad y distribución del residuo, las condiciones de siembra, la disponibilidad de nutrientes, la sanidad y la competencia con malezas. Por lo tanto, su efecto sobre el cultivo depende del ambiente y del manejo considerado (Deambrosi et al., 2004; Ortega & Agüero-Alvarado, 2005). En un experimento de largo plazo en nuestro país, el análisis conjunto de cinco zafras (2016–2020), el rendimiento de arroz sobre rastrojos fue menor que sobre pasturas y soja, siendo estas últimas un 8,4 % y 13,9 % mayores, respectivamente (Macedo et al., 2020). En este ensayo, el hecho de que las diferencias entre niveles de rastrojo se observaran únicamente en ausencia de HBOT, se puede asociar a algún efecto del graminicida que no es posible determinar, ya que no se evaluaron directamente cambios en el microambiente del suelo, u otros procesos asociados al rastrojo.

La interacción HBOT $\times$ THB mostró asimismo que la respuesta productiva a los tratamientos herbicidas durante el cultivo dependió del uso de graminicida en otoño. Sin HBOT, no se detectaron diferencias significativas entre T1, T2, T3 y T4. En cambio, con HBOT, T2 y T4 presentaron mayores rendimientos que T1, mientras que T3 ocupó una posición intermedia y no difirió significativamente de los demás tratamientos. Este resultado indicaría que las diferencias productivas están relacionadas al control de malezas (capines). La relación entre el control oportuno de malezas y el rendimiento es coherente con antecedentes locales que destacan la importancia de reducir la interferencia temprana de capines y otras malezas en arroz (Marchesi & Lavecchia, 2011). Asimismo, los antecedentes sobre sistemas arroceros con rastrojo muestran que las respuestas productivas pueden depender de múltiples procesos asociados al ambiente, al manejo del suelo, al cultivo y a las malezas (Deambrosi et al., 2004). Tomando en cuenta los resultados en cuanto al efecto de HBOT sobre el control de capines en los dos momentos evaluados y en rendimiento en grano, a través de efectos individuales o en interacción, se

puede interpretar la relevancia del control de malezas, en especial capines, sobre el rendimiento del cultivo,

La interacción $RT \times THB$ presentó únicamente una tendencia estadística ($p = 0,060$). En consecuencia, no existe evidencia suficiente para afirmar que la respuesta productiva a los tratamientos herbicidas haya dependido del nivel de rastrojo.

Finalmente, dado que el experimento se realizó en un único año y sitio, la estabilidad de las interacciones observadas deberá evaluarse mediante repeticiones en otros ambientes y zafras. Esto permitiría determinar si las respuestas detectadas corresponden a patrones consistentes de manejo o estuvieron condicionadas por las características particulares del ambiente experimental.

6.6 Integración con objetivos e hipótesis

En relación con el primer objetivo, orientado a determinar el efecto del manejo herbicida, el nivel de rastrojo y de la aplicación otoñal sobre la implantación del arroz, se observó un efecto significativo del herbicida preemergente ($p = 0,028$). La condición sin PRE presentó la mayor densidad de plantas, T3 mostró un comportamiento intermedio y T4 presentó una implantación menor que la condición sin PRE. En cambio, la aplicación de herbicida en otoño y el nivel de rastrojo no presentaron efectos significativos ($p = 0,092$ y $p = 0,938$, respectivamente), y tampoco se detectaron interacciones significativas entre los factores evaluados. Por lo tanto, la primera hipótesis se sustentó parcialmente: la implantación varió según el manejo herbicida preemergente, pero no se obtuvo evidencia de efectos de HBOT o RT ni de dependencia entre estos factores.

Respecto al segundo objetivo, orientado a analizar los efectos de los tratamientos herbicidas, el nivel de rastrojo y la aplicación otoñal sobre la dinámica de capines y malezas no gramíneas y el enmalezamiento final, la respuesta varió según el grupo de malezas y el momento de evaluación. En capines, la aplicación de herbicida en otoño redujo la densidad en ambas evaluaciones. Antes de la aplicación POST, Herb. PRE también presentó un efecto significativo, mientras que a los 15 DDA POST no se detectaron diferencias entre los cuatro niveles de THB. En las malezas no gramíneas, Herb. PRE mostró una tendencia en la evaluación previa a POST, sin diferencias entre manejos en las comparaciones múltiples; a los 15 DDA POST, en cambio, RT y THB presentaron efectos significativos. Para el enmalezamiento final, la prueba de Friedman detectó diferencias globales entre los tratamientos herbicidas, aunque las comparaciones post hoc de Nemenyi no separaron pares al 5 %. HBOT y RT no presentaron diferencias significativas. No se detectaron interacciones significativas en las variables de conteo y no se evaluaron interacciones factoriales para el enmalezamiento. En consecuencia, la segunda hipótesis se sustentó parcialmente, ya que los efectos de HBOT, RT y del manejo herbicida dependieron del grupo de malezas y del momento de evaluación.

En relación con el tercer objetivo, orientado a evaluar el efecto de los tratamientos herbicidas, el nivel de rastrojo y la aplicación otoñal, así como sus interacciones, sobre el rendimiento en grano, se detectaron interacciones significativas $HBOT \times RT$ y $HBOT \times$

THB ($p = 0,002$ en ambos casos). Sin HBOT, la condición sin rastrojo presentó mayor rendimiento que el rastrojo simple y el doble rastrojo, mientras que con HBOT no se detectaron diferencias entre los niveles de rastrojo. Asimismo, sin HBOT no se observaron diferencias entre los tratamientos herbicidas; con HBOT, T2 y T4 presentaron mayores rendimientos que T1 y T3 ocupó una posición intermedia. La interacción $RT \times THB$ presentó una tendencia estadística ($p = 0,060$), pero no alcanzó significancia al 5 %. Por lo tanto, la tercera hipótesis se sustentó parcialmente: la respuesta productiva al nivel de rastrojo y a los tratamientos herbicidas dependió de la condición de aplicación otoñal, pero no se obtuvo evidencia concluyente de que el nivel de rastrojo modificara la respuesta a las secuencias herbicidas.

En conjunto, ninguna de las prácticas evaluadas explicó por sí sola todas las respuestas observadas. La importancia relativa de HBOT, RT y del manejo herbicida varió según la variable, el grupo de malezas y el momento de evaluación. Estos resultados respaldan una interpretación integrada del manejo de malezas en arroz sobre rastrojo, en la cual la respuesta del cultivo y de las malezas depende del contexto y de la combinación de prácticas evaluadas.

7 Conclusiones

Bajo las condiciones evaluadas, la aplicación de graminicida en otoño fue la práctica más consistente para reducir la densidad de capines, ya que su efecto positivo se mantuvo antes y después de la aplicación postemergente. Además, la respuesta del rendimiento al nivel de rastrojo y a los tratamientos herbicidas durante el cultivo dependieron de esta práctica de manejo. En conjunto, ambos resultados destacan la importancia de iniciar el cultivo con menor presión de malezas, aunque el ensayo no permite atribuir causalmente las diferencias de rendimiento a su control.

El manejo preemergente con la mezcla clomazone + pendimetalina redujo la densidad inicial de capines, pero también se asoció con una menor implantación del arroz. Las malezas no gramíneas y el enmalezamiento final respondieron de manera diferente según el momento de evaluación y la práctica considerada, por lo que no se identificó una mejor estrategia única para todas las variables.

Los efectos del rastrojo y de los herbicidas dependieron de su combinación y del grupo de malezas en cuestión. Si bien parte de la limitación de rendimiento de arroz sobre rastrojo puede ser revertida por prácticas de manejo como el uso de graminicida en otoño, no queda claro cuál proceso sería el responsable. De todas formas, los resultados preliminares respaldan la importancia de aplicar diferentes estrategias que consideren varios aspectos, como el manejo en barbechos y la cobertura de rastrojo, el control en preemergencia, la selectividad de los herbicidas y las aplicaciones durante el cultivo.

Al tratarse de un único sitio experimental y una sola zafra, los resultados obtenidos se encuentran condicionados por las características específicas del ambiente edafoclimático y de la presión de malezas del año de estudio, por lo que las conclusiones son solo parciales, y se requiere reiteración en el tiempo y validación en otros ambientes para confirmar la consistencia de las respuestas observadas.

8 Bibliografía

- Altamirano, A., Da Silva, H., Durán, A., Echevarría, A., Panario, D., & Puentes, R. (1976). *Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay: Tomo I: Clasificación de suelos*. MAP. https://descargas.mgap.gub.uy/DGRN/Comunicaciones/carta_de_reconocimiento_de_suelos_Tomo_I.pdf
- Berberian, N., Rosas, J. E., Pérez de Vida, F., Marella, M., & Massa, F. (2020). Predicción de rendimiento en chacras: ¿Qué es importante? En J. A. Terra, S. Martínez, H. Saravia, B. Mesones, & O. Álvarez (Eds.), *Arroz 2020* (pp. 9-12). INIA. <https://doi.org/10.35676/INIA/ST.257>
- Bond, J. A., & Walker, T. W. (2009). Effect of pendimethalin formulation and application timing on stale seedbed rice performance. *Research Report*, 24(3), 1-5. <https://www.mafes.msstate.edu/publications/research-reports/rr24-3.pdf>
- Carracelas, G., Guilpart, N., Grassini, P., Zorrilla, G., & Cassman, K. (2019). Potencial y brecha de rendimiento de arroz irrigado en Uruguay y otros países arroceros. En J. Terra, S. Martínez, & H. Saravia (Eds.), *Arroz 2019* (pp. 53-56). INIA. <https://doi.org/10.35676/INIA/ST.250>
- Castillo, J., Vaz, P., & Terra, J. A. (2015). Fertiliz-Arr: Herramienta de ayuda para la toma de decisiones en la fertilización del cultivo de arroz. En *Arroz-soja: Resultados experimentales 2014-15* (pp. 1-3). INIA. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/7893/1/ad-748-cap-2-p.1-3.pdf>
- Chauhan, B. S., & Abugho, S. B. (2012). Interaction of rice residue and PRE herbicides on emergence and biomass of four weed species. *Weed Technology*, 26(4), 627-632. <https://doi.org/10.1614/WT-D-12-00067.1>
- Deambrosi, E., & Méndez, R. (1996). Fertilidad de suelos en el cultivo de arroz. En A. Morón, D. Martino, & J. Sawchik (Eds.), *Manejo y fertilidad de suelos* (pp. 51-55). INIA. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2981/1/111219240807135249.pdf>
- Deambrosi, E., Méndez, R., & Ávila, S. (2004). Estudio sobre la problemática de disminución de los rendimientos en los rastrojos de arroz. En *Arroz: Resultados experimentales 2003-04* (pp. 20-38). INIA. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/10038/1/Ad-373-cap.3-p.20-38.pdf>
- Dirección General de Servicios Agrícolas. (s.f.). *Consulta de productos fitosanitarios* [Base de datos]. MGAP. <https://www.mgap.gub.uy/profit/productosweb.aspx>
- Herbicide Resistance Action Committee. (2026). *2026 HRAC global herbicide MoA classification*. <https://hracglobal.com/tools/2026-hrac-global-herbicide-moa-classification>

- Llovet, P., & Molina, F. (2025). XXI Taller de Evaluación de Zafra de Arroz: Récord de producción y fuerte articulación del sector. *Revista INIA*, (81), 125.
<https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/18293/1/Revista-INIA-81-Junio-2025-27.pdf>
- Macedo, I., Castillo, J., Riccetto, S., Bordagorri, A., & Terra, J. A. (2020). Productividad y eficiencia del uso del N en el cultivo de arroz en rotaciones de intensidad variable. En J. A. Terra, S. Martínez, H. Saravia, B. Mesones, & O. Álvarez (Eds.), *Arroz 2020* (pp. 109-112). INIA. <https://doi.org/10.35676/INIA/ST.257>
- Macedo, I., Roel, Á., Terra, J. A., & Castillo, J. (2025). Sostenibilidad de sistemas arroceros en Uruguay: Una mirada integrada. En *VII Simposio Nacional de Agricultura: Agricultura en evolución: Integrando conocimiento para un futuro sostenible: Trabajos presentados* (pp. 51-55). Universidad de la República.
<https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/18578/1/Macedo-et.al-VII-Simposio-Agricultura-2025.pdf>
- Marchesi, C. (2020). Comportamiento de herbicidas preemergentes en arroz: Clomazone y pendimetalina en INIA Merín. En J. A. Terra, S. Martínez, H. Saravia, B. Mesones, & O. Álvarez (Eds.), *Arroz 2020* (pp. 51-54). INIA.
<https://doi.org/10.35676/INIA/ST.257>
- Marchesi, C. (2021). Resistencia de capines a herbicidas en sistemas de producción de arroz. En H. Saravia & B. Mesones (Eds.), *Manejo sustentable del arroz resistente a las imidazolinonas* (pp. 44-54). INIA. <https://doi.org/10.35676/INIA/ST.260>
- Marchesi, C., & Lavecchia, A. (2011). Evaluación de herbicidas para el control de capín—*Echinochloa crus-galli*—en las zonas norte y centro (Artigas y Tacuarembó): Educación continua. En *Presentación resultados experimentales arroz 2010-2011* (pp. 12-23). INIA.
<https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/12551/1/652p12-23.pdf>
- Marchesi, C., Lavecchia, A., Laborde, J., & Santos, W. (2014). Evaluación del control de capín (*Echinochloa* spp.) según sistema de riego y sistematización. En *Presentación resultados experimentales de arroz, 20 agosto, Artigas; 21 agosto, Tacuarembó, 2014* (pp. 58-61). INIA.
<https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/10215/1/SAD-738p58-61.pdf>
- Ortega, Y. M., & Agüero-Alvarado, R. (2005). Efecto de la cobertura de rastrojos en la germinación del arroz (*Oryza sativa* L.) y principales malezas asociadas. *Agronomía Mesoamericana*, 16(1), 51-61. <https://doi.org/10.15517/am.v16i1.5182>
- Pereira, A. L., Oxley, M., Saldain, N. E., Marchesi, C., & Pimienta, A. (2018). Después de cinco zafras, ¿el banco de semillas en el suelo de capín resistente al quinclorac continúa siendo relevante? En G. Zorrilla, S. Martínez, J. A. Terra, & H. Saravia (Eds.), *Arroz 2018* (pp. 49-51). INIA. <https://doi.org/10.35676/INIA/ST.246>

- Pittelkow, C. M., Zorrilla, G., Terra, J. A., Riccetto, S., Macedo, I., Bonilla, C., & Roel, Á. (2016). Sustainability of rice intensification in Uruguay from 1993 to 2013. *Global Food Security*, 9, 10-18. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2016.05.003>
- Rava, C., & Lavista, N. (2025). Arroz: Situación y perspectivas. En *Anuario OPYPA 2025: Análisis sectorial y cadenas productivas* (pp. 3-30). MGAP. <https://descargas.mgap.gub.uy/OPYPA/Anuarios/Anuarioopypa2025/CP/10/CP10web/CP10Arrozsituacionyperspectivas.pdf>
- Saldain, N. E. (2009). Semillazón del capín en la rotación de la Unidad de Producción Arroz-Ganadería. En E. Deambrosi, F. Montossi, H. Saravia, P. Blanco, & W. Ayala (Eds.), *10 años de la Unidad de Producción Arroz-Ganadería* (pp. 199-209). INIA. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/7617/1/st-180-p.199-209.pdf>
- Saldain, N. E., & Marchesi, C. (2012). Evaluación de clomazone microencapsulado en el control del capín. En *Arroz: Resultados experimentales 2011-12* (pp. 3-8). INIA.
- Saldain, N., & Marchesi, C. (2019a). *Barbechos químicos*. INIA. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/12897/1/Ficha-tecnica-50.pdf>
- Saldain, N., & Marchesi, C. (2019b). *Control de malezas en post-emergencia del arroz*. INIA. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/12899/1/Ficha-tecnica-52.pdf>
- Saldain, N., & Marchesi, C. (2019c). *Control de malezas en preemergencia del arroz*. INIA. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/12898/1/Ficha-tecnica-51.pdf>
- Saldain, N., & Marchesi, C. (2019d). *Descripción de las principales malezas del arroz en el Uruguay*. INIA. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/12896/1/Ficha-tecnica-49.pdf>
- Saldain, N. E., & Marchesi, C. (2021). Recomendaciones para un manejo sustentable del arroz resistente a imidazolinonas y herramientas de apoyo disponibles. En H. Saravia & B. Mesones (Eds.), *Manejo sustentable del arroz resistente a las imidazolinonas* (pp. 19-22). INIA. <https://doi.org/10.35676/INIA/ST.260>
- Saldain, N. E., & Sosa, B. (2013). Glifosato solo y mezclado en el tanque con otros herbicidas para el control de la grama fina (*Leersia hexandra*). En *Arroz-soja: Resultados experimentales 2012-2013* (pp. 9-11). INIA. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/7973/1/Ad-713-c.5-p.9-11.pdf>
- Shaner, D. L. (2014a). Clomazone. En D. L. Shaner (Ed.), *Herbicide handbook* (10th ed., pp. 109-110). Weed Science Society of America.
- Shaner, D. L. (2014b). Pendimethalin. En D. L. Shaner (Ed.), *Herbicide handbook* (10th ed., pp. 343-345). Weed Science Society of America.

Soil Survey Staff. (2022). *Keys to soil taxonomy* (13th ed.). USDA.

<https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-09/Keys-to-Soil-Taxonomy.pdf>

Zorrilla, G., Bica, M. E., Carmona, L., Cedres, S., Fariña, M. F., Gussoni, A., & Rovira, A. (2023). + Arroz + Margen: Proyecto de transferencia de tecnología para reducir las brechas de rendimientos y mejorar los ingresos de la producción arroceras: Resumen de cuatro años (2019-2023). En J. Terra, S. Martínez, I. Macedo, & C. Villalba (Eds.), *Arroz 2023* (pp. 82-85). INIA.

<https://doi.org/10.35676/INIA/ST.267>

9 Anexos

Los anexos se estructuran como respaldo complementario del análisis estadístico final. Se incluyen controles de diseño y base, el contexto climático utilizado para interpretar el ensayo y las salidas estadísticas complementarias necesarias para sostener los resultados presentados en el cuerpo del documento. Las salidas completas generadas en R se conservan como archivo de respaldo del análisis estadístico final.

Anexo A

Este anexo documenta la disposición de los tratamientos en el diseño experimental. La Tabla A1 presenta la estructura por bloque, nivel de rastreo y aplicación otoñal; dentro de cada combinación se muestra la secuencia espacial de los tratamientos herbicidas asignados durante el cultivo.

Tabla A1

Esquema del diseño experimental del ensayo de control de malezas en arroz

Bloque	Rastrojo	Sin aplicación otoñal				Con aplicación otoñal			
1	Simple	T1	T2	T3	T4	T4	T3	T2	T1
	Doble	T3	T4	T2	T1	T1	T4	T3	T2
	Sin	T2	T4	T1	T3	T3	T1	T2	T4
2	Simple	T3	T1	T4	T2	T1	T3	T2	T4
	Sin	T4	T2	T3	T1	T3	T1	T4	T2
	Doble	T1	T3	T2	T4	T4	T2	T3	T1
3	Sin	T1	T3	T2	T4	T3	T1	T4	T2
	Doble	T3	T1	T4	T2	T4	T2	T3	T1
	Simple	T4	T2	T3	T1	T1	T3	T2	T4

Nota. Se representan los tres bloques (1, 2 y 3), los niveles de cobertura de rastreo (Simple, Doble y Sin), las franjas correspondientes a la aplicación de herbicida en otoño (Sin aplicación otoñal y Con aplicación otoñal) y el tratamiento aplicado a cada parcela. T1: sin aplicación de herbicidas durante el cultivo; T2: postemergente con penoxsulam + cyhalofop-butyl; T3: preemergente y postemergente con imazapyr + imazapic; T4: preemergente con clomazone + pendimetalina y postemergente con penoxsulam + cyhalofop-butyl.

Anexo B Contexto climático

Se presenta el resumen climático utilizado para contextualizar la implantación, las aplicaciones herbicidas y la cosecha del ensayo.

Tabla B1

Contexto climático de la zafra considerado para la interpretación del ensayo

Etapas	Temp. mínima media (°C)	Temp. media (°C)	Temp. máxima media (°C)	Precipitaciones (mm)
Presiembra (1/9/2024– 21/10/2024)	13,7	19,2	24,9	153,8
Siembra (22/10/2024)	21,2	28,2	34,6	0,0
Ciclo del cultivo (22/10/2024–3/3/2025)	18,0	24,5	31,7	358,6
Cosecha (4/3/2025)	29,6	36,1	38,7	0,0

Nota. Elaborado a partir de los registros climáticos utilizados para contextualizar el ensayo. Las temperaturas mínima, media y máxima se expresan como promedios en °C; las precipitaciones se expresan como suma acumulada en mm para cada etapa.

Anexo C Resultados estadísticos complementarios

Se presentan tablas sintéticas de respaldo de los análisis estadísticos finales. En el cuerpo del documento se mantuvieron las tablas necesarias para interpretar las variables principales, mientras que el anexo reúne solo resultados complementarios indispensables para la trazabilidad del análisis.

Tabla C1

Análisis de varianza tipo III para variables continuas

Variable	Efecto	gl num.	gl den.	F	Valor de p
Implantación	Aplicación otoñal	1	6,6	3,87	0,092
Implantación	Rastrojo	2	4,1	0,06	0,938
Implantación	Herb. PRE	2	46,0	3,87	0,028
Implantación	Aplicación otoñal × rastrojo	2	6,0	2,05	0,209
Implantación	Aplicación otoñal × Herb. PRE	2	46,0	2,07	0,137
Implantación	Rastrojo × Herb. PRE	4	46,0	2,20	0,084
Rendimiento	Aplicación otoñal	1	47,1	28,00	< 0,001
Rendimiento	Rastrojo	2	4,0	9,99	0,027
Rendimiento	Tratamiento herbicida	3	47,1	2,37	0,082
Rendimiento	Aplicación otoñal × rastrojo	2	47,1	6,93	0,002
Rendimiento	Aplicación otoñal × tratamiento herbicida	3	47,1	5,84	0,002
Rendimiento	Rastrojo × tratamiento herbicida	6	47,1	2,20	<i>0,060</i>

Nota. ANOVA tipo III de modelos lineales mixtos. gl num.: grados de libertad del numerador; gl den.: grados de libertad del denominador; F: estadístico F; Valor de p: probabilidad asociada al efecto evaluado. Los valores de p en **negrita** indican resultados significativos ($p \leq 0,05$) y los valores en *cursiva* indican tendencias estadísticas ($0,05 < p < 0,07$).

Tabla C2*Pruebas de Wald tipo III para variables de conteo*

Variable	Efecto	χ^2	gl	Valor de <i>p</i>
Capines previo a POST	Aplicación otoñal	7,87	1	0,005
Capines previo a POST	Rastrojo	5,94	2	<i>0,051</i>
Capines previo a POST	Herb. PRE	6,11	2	0,047
Capines 15 DDA POST	Aplicación otoñal	6,56	1	0,010
Capines 15 DDA POST	Rastrojo	4,44	2	0,109
Capines 15 DDA POST	Tratamiento herbicida	2,25	3	0,522
No gramíneas previo a POST	Aplicación otoñal	0,02	1	0,893
No gramíneas previo a POST	Rastrojo	4,43	2	0,109
No gramíneas previo a POST	Herb. PRE	5,39	2	<i>0,068</i>
No gramíneas 15 DDA POST	Aplicación otoñal	0,10	1	0,752
No gramíneas 15 DDA POST	Rastrojo	6,30	2	0,043
No gramíneas 15 DDA POST	Tratamiento herbicida	15,19	3	0,002

Nota. Pruebas de Wald tipo III mediante χ^2 en modelos generalizados mixtos con distribución binomial negativa. χ^2 : estadístico de Wald; gl: grados de libertad; Valor de *p*: probabilidad asociada al efecto evaluado. Las medias del cuerpo del documento fueron retransformadas y expresadas en plantas m⁻². Los valores de *p* en **negrita** indican resultados significativos ($p \leq 0,05$) y los valores en *cursiva* indican tendencias estadísticas ($0,05 < p < 0,07$).

Tabla C3*Comparaciones post hoc de Nemenyi para tratamiento herbicida en enmalezamiento*

Comparación	Valor de <i>p</i> ajustado
T2 vs T1	0,778
T3 vs T1	0,083
T4 vs T1	0,083
T3 vs T2	0,485
T4 vs T2	0,485
T4 vs T3	1,000

Nota. Comparaciones post hoc de Nemenyi entre tratamientos herbicidas para grado de enmalezamiento. T1: sin aplicación; T2: aplicación postemergente; T3: imazapyr + imazapic en preemergencia y postemergencia; T4: clomazone + pendimetalina en preemergencia y penoxsulam + cyhalofop-butyl en postemergencia. Valor de *p* ajustado: probabilidad corregida por comparaciones múltiples mediante la prueba de Nemenyi. No se separaron pares de tratamientos al 5 %.

Tabla C4*Rendimiento ajustado según nivel de rastrojo y tratamiento herbicida*

Nivel de rastrojo	T1	T2	T3	T4
Sin rastrojo	8331	8262	8700	7978
Rastrojo simple	6766	7435	7072	8228
Doble rastrojo	6814	7264	6541	7836

Nota. Medias ajustadas expresadas en kg ha⁻¹ y promediadas sobre las condiciones de aplicación otoñal. El error estándar fue de 356 kg ha⁻¹ para todas las combinaciones. La interacción global RT × THB presentó *p* = 0,060. Los valores se presentan con finalidad descriptiva y no se interpretan diferencias entre combinaciones.