

CONTROL DE RAIGRÁS ANUAL: DETERMINACIÓN DEL PERÍODO SIN LLUVIAS POSTAPLICACIÓN DE GLIFOSATO SIMULANDO PRECIPITACIONES

Vanina Soledad Wirsch¹, Francisco Bedmar^{1*}, Marino Puricelli² y Valeria Gianelli^{1,2}

¹ Universidad Nacional de Mar del Plata, Facultad de Ciencias Agrarias, Argentina

² Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), EEA Balcarce, Argentina

*E-mail: fbedmar@mdp.edu.ar

Recibido: 26/12/2023

Aceptado: 06/11/2024

RESUMEN

La ocurrencia de lluvias luego de la aplicación de los herbicidas postemergentes puede reducir su efectividad de control e incrementar el riesgo de contaminación del suelo y aguas superficiales. Los objetivos del trabajo fueron: (i) calibrar y validar un simulador de lluvia que reproduzca eventos representativos de las tormentas más frecuentes de la región sudeste de la provincia de Buenos Aires y (ii) determinar el período libre de lluvias postaplicación que no afecte la eficacia de glifosato para el control de raigrás anual (*Lolium multiflorum* Lam.). Los trabajos fueron realizados en la Estación Experimental Agropecuaria INTA Balcarce. Se realizaron aplicaciones sobre plantas de raigrás anual de 27,4 cm de altura promedio y 1,8 macollos, de glifosato sal amónica (42,8%) y 35,6% de equivalente ácido (e.a.) con y sin coadyuvantes (aceite vegetal siliconado y sulfato de amonio) y glifosato sal potásica (62%) y 50,6% e.a. Luego, se simularon lluvias de 11 mm durante 30 min a 1, 2, 4, 6 y 24 h desde la aplicación. Según los resultados, el simulador de lluvia reprodujo eventos con intensidad representativa de las tormentas más frecuentes de la región. El período libre de lluvias necesario para maximizar la efectividad de glifosato sal amónica, sin coadyuvante, fue de 2 h. Sin embargo, para los demás tratamientos, las lluvias ocurridas aún a 1 h de la aplicación no redujeron la efectividad. Estos resultados aportan criterios para el estudio del efecto de las lluvias y su influencia sobre la correcta aplicación de herbicidas como el glifosato.

Palabras clave: coadyuvantes, formulaciones, herbicidas postemergentes, período sin lluvias postaplicación, simulador de lluvia.

ANNUAL RYEGRASS CONTROL: DETERMINATION OF THE RAINFALL PERIOD POST-APPLICATION OF GLYPHOSATE UNDER SIMULATED PRECIPITATION

ABSTRACT

Rainfall after applying post-emergence herbicides can decrease effectiveness, increasing the risk of contaminating soil and surficial water. The objectives of this work were (i) to calibrate and validate a rainfall simulator for reproducing representative events of the most frequent storms in the southeastern region of Buenos Aires province, and (ii) to determine the post-application rainfall-free period (rainfastness) that does not affect the effectiveness of glyphosate for the control of annual ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.). The work was carried out at the INTA Balcarce Agricultural Experimental Station. Glyphosate ammonium salt (42.8%) and 35.6% acid equivalent (a.e.), was applied with and without the addition of adjuvants (organosilicone surfactant and ammonium sulphate) and glyphosate potassium salt (62%) and 50.6% (a.e.), on plants of 27.4 cm average height and 1.8 tillers. Rainfall (11 mm for 30 min) was then simulated at 1, 2, 4, 6 and 24 h from application. After the visual evaluations of control, plants were cut at ground level and the total and green aerial biomass was determined. According to the results, the rainfall simulator reproduced events with the intensity representative of the most frequent storms in the region. The rainfall-free period necessary for the greatest effectiveness of glyphosate ammonium salt without adjuvant was 2 h. However, for the other treatments, rains even 1 hour after application did not reduce effectiveness. These results provide criteria for the study of the effect of the rainfall and its influence on the correct application of herbicides such as glyphosate.

Key words: rainfastness, rain simulator, post-emergence herbicides, formulations, adjuvants.

INTRODUCCIÓN

La ocurrencia de lluvias luego de la aplicación de herbicidas postemergentes puede afectar su efectividad. Esto es debido a que, en general, existe una relación inversa entre la eficacia y la pérdida de herbicidas que generan las lluvias postaplicación por lavado desde la planta (James y Rahman, 2005; Koger *et al.*, 2007; Stewart *et al.*, 2010, 2012; Souza *et al.*, 2013, 2014). Por tal motivo, es de particular importancia conocer el período libre de lluvias requerido luego de la aplicación de estos productos. Sin embargo, la longitud de dicho período es sumamente variable y difícil de predecir, dado que depende de múltiples factores del herbicida (e.g. ingrediente activo, formulación, etc.), las malezas (e.g. especie, estado de crecimiento, etc.) y las condiciones ambientales (e.g. temperatura, luminosidad, humedad del aire, heladas) que pueden interactuar entre sí (Miller *et al.*, 1998; Anzalone, 2007; Zimdahl, 2018). En el caso de pérdida de eficacia por causas climáticas, la repetición de las aplicaciones es una práctica que aumenta el costo de producción, exige más tiempo e incrementa la contaminación del medio ambiente. Además, la efectividad de esta estrategia puede verse comprometida debido al estrés causado en la planta por el herbicida aplicado anteriormente.

En el caso de glifosato, el impacto de las lluvias postaplicación cobra mayor importancia debido a que es un herbicida sistémico de moderada absorción a través de la cutícula de las hojas de la planta, la cual depende en gran medida de su formulación y agregado de adyuvantes (Shaner, 2014). De esta manera, su aplicación durante temporadas de lluvias es riesgosa, lo cual obliga al fabricante a recomendar un período libre de lluvias de al menos 4 a 6 h (Pedrinho Júnior *et al.*, 2002; CASAFE, 2024). Por otro lado, el período libre de lluvias requerido después de la aplicación de glifosato puede ser muy variable, dependiendo de la especie objetivo y su estado de crecimiento, la intensidad de la lluvia y la dosis del herbicida utilizada (Bariuan *et al.*, 1999; Sivesind *et al.*, 2011; Willoughby y Stokes, 2015).

Desde el punto de vista ambiental, el proceso de lavado desde las plantas aumenta el riesgo de contaminación del suelo y las aguas por medio de los procesos de lixiviación y escurrimiento superficial (Grondona *et al.*, 2023; Navarro *et al.*, 2024). En el caso de glifosato, la lixiviación es despreciable en comparación con el escurrimiento, el cual fue estimado en un 3,9% respecto de la dosis aplicada (Lupi *et al.*, 2019). En tal sentido, hay evidencias que muestran que el escurrimiento superficial

podría contribuir en gran proporción a la contaminación de las aguas superficiales, como fue demostrado por la presencia de glifosato y su metabolito AMPA en algunas áreas de Estados Unidos (Battaglin *et al.*, 2003) y la Argentina (Aparicio *et al.*, 2013; Ronco *et al.*, 2016; Beriman *et al.*, 2018; Kanissery *et al.*, 2019; Halbach *et al.*, 2021). Por tanto, resulta clave conocer el período mínimo libre de lluvias después de la aplicación del herbicida que permita maximizar su eficacia y reducir el riesgo de contaminación (Dabrowski *et al.*, 2002; Villamar-Ayala *et al.*, 2019).

Para mejorar la eficacia de los fitosanitarios, existen formulaciones y adyuvantes que permiten acelerar el tiempo de absorción y la entrada a la cutícula vegetal luego de la aplicación (Pedrinho Junior *et al.*, 2002; James y Rahman, 2005; Gannon y Yelverton, 2008). Las recomendaciones vigentes en la Argentina para glifosato establecen que las lluvias dentro de las 6 h posteriores al tratamiento con formulaciones de sal isopropilamina (48%) o 4 h posteriores con formulaciones de sal potásica (62%) o amónica/monoamónica (78%) pueden reducir su efectividad (CASAFE, 2024). En el caso de los adyuvantes, estos suelen actuar como tensioactivos al reducir la tensión superficial de la gota sobre la cutícula, lo cual incrementa el área de absorción (James y Rahman, 2005; Anzalone, 2007; Koger *et al.*, 2007; Simonds, 2016). De esta manera, los adyuvantes mejoran o facilitan el manejo de las características físicas de los fitosanitarios, y por ende su acción, mediante la reducción y minimización de las pérdidas. Diversos trabajos determinaron que el agregado de adyuvantes a la formulación del glifosato permite reducir el tiempo mínimo sin lluvias necesario para obtener controles de malezas satisfactorios (Kogan, 2001; Willoughby y Stokes, 2015).

A fin de estudiar y determinar el período mínimo sin lluvia necesario para evitar reducciones de la efectividad en el control de malezas de un herbicida, suelen utilizarse dispositivos conocidos como simuladores de lluvia (James y Rahman, 2005; Souza *et al.*, 2012, 2014). Los simuladores de lluvia son instrumentos diseñados para aplicar agua de forma similar a los episodios tormentosos naturales. Son usados desde hace tiempo en investigaciones sobre erosión y escurrimiento a campo y en laboratorio (Bryan y De Ploey, 1983; Rončević *et al.*, 2023). No obstante, debe tenerse en cuenta que para que las características de la lluvia natural puedan ser simuladas de forma adecuada, la información pluviográfica debe ser analizada cuidadosamente y se debe

efectuar una adecuada interpretación de los resultados para obtener información fiable en un contexto determinado (Benito *et al.*, 2001). Para ello, es necesario conocer los parámetros físicos que caracterizan a la lluvia natural, tales como cantidad, intensidad, tamaño de las gotas y velocidad, para poder cuantificar por métodos indirectos variables como la energía cinética y cantidad de movimiento de la precipitación, que permitan analizar los efectos de la lluvia en los procesos de generación de escorrentía superficial y la erosión hídrica, mencionados anteriormente. Por lo tanto, para estudiar la eficacia de un fitosanitario empleando un simulador de lluvias se requiere previamente caracterizar los eventos pluviométricos de la región bajo estudio con el fin de reproducirlos de forma adecuada.

El raigrás anual (*Lolium multiflorum* Lam.; Poaceae) es una especie alógama muy difundida en la Argentina. Es originaria de Europa, adventicia en América (Marzocca, 1976) y naturalizada en toda la región pampeana y sur de la Mesopotamia. Su plasticidad y comportamiento como especie colonizadora le permitió establecerse en distintos sistemas de manejo, incluyendo siembra convencional, siembra directa y/o pasturas cultivadas o naturales tanto como especie con aptitud forrajera o como maleza (Vigna, 2018). Los mayores daños causados por el raigrás anual están relacionados a la competencia por recursos (*i.e.* agua, nutrientes y radiación solar) en los cultivos de trigo y cebada cervecera. Sin embargo, dada su gran expansión, está dificultando con mayor frecuencia el manejo de los barbechos para cultivos de invierno y verano, debido principalmente al fracaso del control con herbicidas por selección de resistencia (Gigon *et al.*, 2017; Vigna, 2018). Más aún, el raigrás anual es el primer caso de resistencia a múltiples herbicidas en la Argentina, lista que incluye al glifosato. Los primeros reportes de resistencia de esta maleza se localizan en el sudoeste y sudeste de Buenos Aires y están en proceso de expansión conjuntamente con varias especies del género *Lolium* en la provincia de Buenos Aires, Santa Fe, Entre Ríos y parte de Córdoba (REM-AAPRESID, 2023).

Por todo lo expuesto, los objetivos del presente trabajo consistieron en: (i) calibrar y validar un simulador de lluvia, (ii) caracterizar el tamaño de gota de la lluvia simulada y su distribución espacial y (iii) determinar la eficacia de control de raigrás anual (*L. multiflorum*) del herbicida glifosato en combinación con diferentes adyuvantes respecto de la ocurrencia de lluvias simuladas en distintos momentos luego de la aplicación.

METODOLOGÍA

El experimento fue realizado en el campo e invernáculos de la Estación Experimental Agropecuaria del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) de Balcarce, localizada en el sudeste de la provincia de Buenos Aires (37° 45' S; 58° 18'O), durante el año 2013. Dentro de la región sudeste de la provincia de Buenos Aires, se distingue una región ecológica homogénea denominada mixta papera de relevancia agrícola y económica a nivel nacional (Suero *et al.*, 2002). El partido de Balcarce se encuentra ubicado en dicha región en el sector central del sistema de Tandilia ocupando una superficie total de 4121,11 km². El régimen pluviométrico es isohigro con un promedio de precipitaciones que oscilan entre 750 mm y 1000 mm. El régimen pluvial característico de la zona determina que haya exceso de lluvias en invierno y déficit en verano, por lo cual, es frecuente la alternancia de períodos de anegamiento y sequías (Tricart, 1973; Mercáu *et al.*, 2013; Scarpatti y Capriolo, 2013). El mes de mayor precipitación es marzo y el de menor es agosto. El régimen pluviométrico presenta tres estaciones: (i) lluviosa (octubre a marzo), (ii) moderadamente lluviosa (abril, mayo, septiembre) y (iii) poco lluviosa (junio a agosto) (Suero *et al.*, 2002). A fin de caracterizar la intensidad de las tormentas que con alta frecuencia se producen en la zona, Puricelli (2014, 2018) realizó un análisis de los eventos de lluvia registrados entre los años 1991 y 2006 para la localidad de Balcarce.

Descripción del simulador de lluvias

Para la realización de este trabajo, se empleó un modelo de simulador de lluvias diseñado para generar eventos de precipitación (Figura 1). El equipo fue construido con tubería de polipropileno, de 0,5 pulgadas de diámetro interno, que alimenta a 10 microaspersores plásticos marca Naan modelo Hadar 7110 con boquillas de 1,1 mm y rotor invertido. El cuerpo del simulador ocupa un área cercana a 1,5 m². El agua se impulsa al equipo desde un reservorio plástico de 50 l mediante una bomba eléctrica de diafragma marca Shurflo, Serie 8000, alimentada con una batería de 12 voltios que erga un caudal máximo de 6,8 l min⁻¹ a una presión de 3,1 bar (Figura 2). El agua utilizada fue subterránea, proveniente del acuífero freático regional, extraída de una perforación cercana al lugar del ensayo.

El equipo fue fijado a una estructura metálica y suspendido del suelo mediante dos trípodes de acero. La

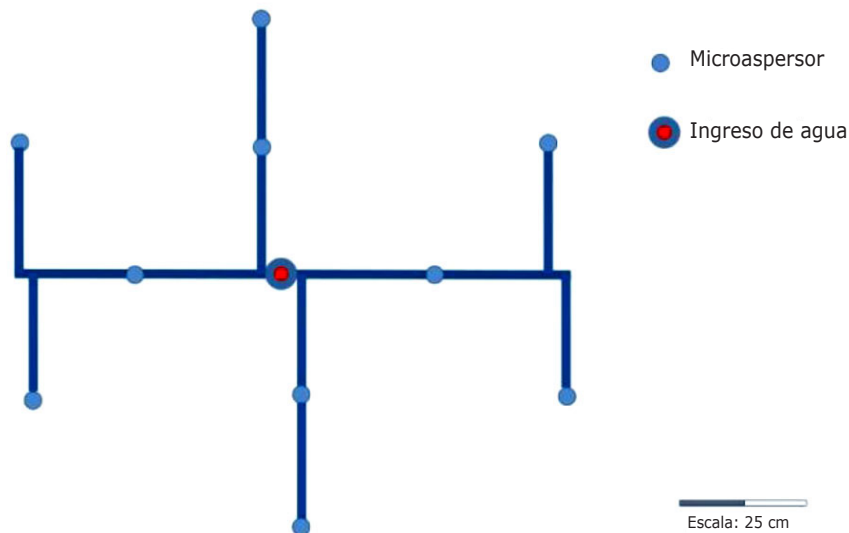


Figura 1. Diagrama esquemático del simulador de lluvia. Vista en planta.



Figura 2. Reservorio plástico desde el cual la bomba alimenta el equipo de simulación.

altura de la estructura se reguló mediante tornillos finados en los extremos donde se afirmaron los trípodes y se fijó en 1,5 m (Figura 3). El equipo se montó en un predio bajo resguardo de los vientos y lluvias en la Estación Experimental Agropecuaria INTA de Balcarce.

Elección de la intensidad de la lluvia simulada

A partir de la regulación del equipo impulsor, la intensidad de la lluvia simulada se seleccionó considerando las



Figura 3. Simulación de un evento de lluvia sobre plantas de raigrás anual (*Lolium multiflorum* Lam.) realizado en un predio bajo resguardo de la Estación Experimental Agropecuaria INTA de Balcarce.

características de las tormentas frecuentes en Balcarce, según Puricelli (2014, 2018). Se descartaron los valores extremos de intensidad correspondientes a corta duración y altos tiempos de retorno. Así, el equipo se reguló para que la lluvia simulada coincidiese con una intensidad, duración y frecuencia representativa de los eventos de precipitación observados en la zona (Puricelli, 2014, 2018). En consecuencia, el valor de intensidad media de referencia fue de 20 mm h^{-1} , correspondiente a eventos de lluvia de 60 min de duración asociados a un tiempo de retorno de dos años. Este último valor corresponde, en términos estadísticos, a la cantidad de años que tardaría en repetirse un

evento de precipitación de esas características (Chow *et al.*, 1988).

Validación y caracterización de la lluvia simulada

La intensidad de la lluvia lograda por el simulador se midió mediante un conjunto de 15 ensayos en los cuales se realizaron simulaciones de 10 min cada una sobre una superficie plana y protegida de corrientes de aire en la cual se ubicaron nueve pluviómetros distribuidos en una grilla de 3 m x 3 m, cubriendo un área de 9 m². La intensidad de la precipitación en cada pluviómetro se dedujo a partir del cociente entre el volumen recolectado (en mm) y el tiempo de duración de la simulación (en h). El equipo se instaló en un recinto techado y con paredes que protegían a la simulación del efecto de las corrientes de aire. La presión del agua en el sistema se controló mediante una llave de paso a la salida de la bomba impulsora.

Para caracterizar la energía cinética de la lluvia simulada, se desarrolló un procedimiento para el recuento y tipificación de las gotas generadas basado en registrar los impactos de las gotas sobre tarjetas de papel hidrosensible Syngenta de 3" x 1". Las tarjetas fueron expuestas en los diferentes eventos de simulación separadas de los microaspersores a una distancia vertical de 1,5 m. Se realizaron 15 repeticiones de forma aleatoria. Las tarjetas obtenidas fueron almacenadas y posteriormente digitalizadas con un escáner (1200 dpi) y analizadas mediante el software CIR 1.5, con el cual se obtuvo la distribución de frecuencias del tamaño de gota y el diámetro volumétrico medio (DVM), definido como el valor de diámetro de gota que divide el volumen total asperjado en dos mitades iguales (Matthews, 1985).

En el ensayo, la medición de la pluviometría incluyó definir el patrón de distribución espacial de la lluvia simulada y su uniformidad. Para esto último se utilizó el coeficiente de uniformidad de Christiansen (Howell, 2003), el cual se define en la ecuación 1, donde el coeficiente de uniformidad C_u se calcula a partir de las diferencias entre las mediciones de volumen caído (x) en cada pluviómetro respecto al valor medio del conjunto:

$$C_u = 100 \left[\frac{(1 - (\sum (x - \bar{x}))^2)}{\sum x} \right]$$

Ecuación 1

El patrón de distribución espacial se analizó a partir de la interpolación de los valores medios de intensidad de precipitación simulada, para cada pluviómetro en los ensayos realizados. El método seleccionado para la interpolación fue el de inverso a la distancia (Davis, 2002).

A fin de contar con un valor preliminar de la energía cinética descargada en cada evento m , de simulación de lluvias, se procesó la información de intensidad de lluvia I_m , medida en cada pluviómetro n , utilizando la ecuación 2 (Renard *et al.*, 1997). La energía total descargada en cada evento es la sumatoria de los valores de $E_{m,n}$ (en MJ ha⁻¹ mm⁻¹) de dicho evento.

$$E_{m,n} = 0,29 [1 - 0,72 e^{(-0,005 I_{m,n})}]$$

Ecuación 2

Determinación del período libre de lluvias postaplicación y eficacia de control

Se realizó un bioensayo en invernáculo para determinar la eficacia de control de raigrás anual del herbicida glifosato en combinación con diferentes adyuvantes (Peluso, 2021). El glifosato utilizado para los tratamientos 1-3 (Cuadro 1) fue formulado como líquido soluble en forma de sal amónica al 42,8% y al 35,6% de equivalente ácido (e.a.) (Glifotop Zamba, de la empresa Nidera). Para el tratamiento 4 (Cuadro 1), se utilizó glifosato formulado como líquido soluble en forma de sal potásica al 62% y al 50,6% de e.a. (Sulfosato Touchdown, de la empresa Syngenta). Como adyuvantes se utilizaron: (i) aceite vegetal metilado siliconado (AMS), compuesto por ésteres metílicos de ácidos grasos de aceites vegetales, 70% (Rizospray Extremo®, de la empresa Rizospray); y (ii) fertilizante foliar líquido sulfato de amonio, que contiene 9,2% de azufre y 8,4% de nitrógeno total (Sulfato de amonio®, de la empresa YPF). Las dosis de glifosato aplicadas en los diferentes tratamientos fueron similares en términos de equivalente ácido (0,89 kg de e.a.). Los tratamientos (Cuadro 1) se aplicaron el 12 de julio de 2013 sobre plantas de raigrás anual creciendo en macetas, cuando estas presentaban una altura promedio de 27,4 cm, 1,8 macollos y 3,6 hojas. Las simulaciones de las lluvias se realizaron 1, 2, 4, 6 y 24 h luego de la aplicación. Cada evento de simulación tuvo una duración de lluvia de 30 min, equivalente a 11 mm de lámina, lo que equivale a una intensidad

Cuadro 1. Tratamientos de herbicidas y adyuvantes evaluados.

Tratamiento	Concentración (%)		Dosis de formulado (l ha ⁻¹)	Adyuvante y dosis
	Sal	e.a.		
(1) Glifosato sal amónica	42,8	35,6	2,5	-
(2) Glifosato sal amónica + aceite vegetal	42,8	35,6	2,5	Aceite vegetal metilado siliconado (0,2 l ha ⁻¹)
(3) Glifosato sal amónica + (NH ₄) ₂ SO ₄	42,8	35,6	2,5	Sulfato de amonio 2% v/v
(4) Glifosato sal potásica	62	50,6	1,76	-
Testigo	-	-	-	-

de 22 mm h⁻¹ (en la Figura 3 se muestra la disposición de las macetas bajo el simulador de lluvia). Una vez finalizadas las simulaciones, las macetas se condujeron a invernáculo nuevamente.

La efectividad de control de los tratamientos químicos se determinó mediante tres observaciones visuales a los 7, 17 y 39 días desde la aplicación (DDA). A tal fin, se estimó el porcentaje de control para cada tratamiento químico por comparación con las plantas testigo sin aplicación de herbicida (0%: ausencia de síntomas, y 100%: muerte de las plantas). Al culminar las evaluaciones visuales, las plantas se cortaron al ras del suelo e inmediatamente se determinó el peso fresco verde (PFV) y el peso fresco total (PFT), mediante balanza de precisión (peso mínimo 0,001 g).

Para generar las plantas, se sembraron 20 semillas de raigrás anual (variedad Krusa Plus comercializada por KWS) en macetas de 0,6 kg de capacidad para lograr una densidad de 10 individuos por maceta. La siembra se realizó de forma manual el 28 de mayo de 2013 y el raleo se efectuó cuando las plantas alcanzaron el estado de dos hojas expandidas. Las macetas se dispusieron siguiendo un diseño factorial en bloques completos aleatorizados con siete repeticiones para cada combinación de tratamiento y momento de lluvia, lo cual totalizó 175 macetas. Las plantas se mantuvieron en un invernáculo de vidrio, sin control de la temperatura y con riego manual de dos a tres veces por semana, según fuese necesario. Si bien no se registró la temperatura en el invernáculo durante la realización del experimento, la temperatura media en abrigo meteorológico a 1,5 m medida en la estación agrometeorológica de la EEA INTA de Balcarce desde el momento de aplicación a

la finalización del ensayo, fue de 8,1 °C, con un desvío estándar de 2,7 °C y un error estándar de 0,4 °C.

Para aplicar los tratamientos químicos, se utilizó una mochila experimental de presión constante (40 lb pulg⁻²), que utiliza CO₂ como fuente de presión y arroja un volumen de 125 l ha⁻¹. La mochila posee un barral con cuatro picos y es accionada manualmente por el operario.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos se analizaron mediante el programa estadístico SAS (versión 8.0). Uno de los factores a estudiar fue el momento de lluvia desde la aplicación (cinco niveles) y el segundo factor los tratamientos de control (cinco niveles). Se realizó un análisis de varianza de los datos ($p=0,05$) y en caso de detectar diferencias significativas entre tratamientos, momento de lluvia y/o interacción, se compararon los promedios mediante el test de diferencias mínimas significativas (DMS) al nivel de 5%.

RESULTADOS

Simulador de lluvia

El valor de intensidad media obtenido a partir de las 15 simulaciones que permitió cubrir un área total de 16 m², fue de 20 mm h⁻¹, con un desvío estándar de ± 8 mm h⁻¹. Del total de las observaciones, el mínimo absoluto fue de 11 mm h⁻¹ y el máximo absoluto de 51 mm h⁻¹. La Figura 4 muestra la distribución de frecuencias de los valores de intensidad media para cada ensayo.

En el presente trabajo, el valor promedio del coeficiente de Christiansen fue de 69,3%. El valor mínimo

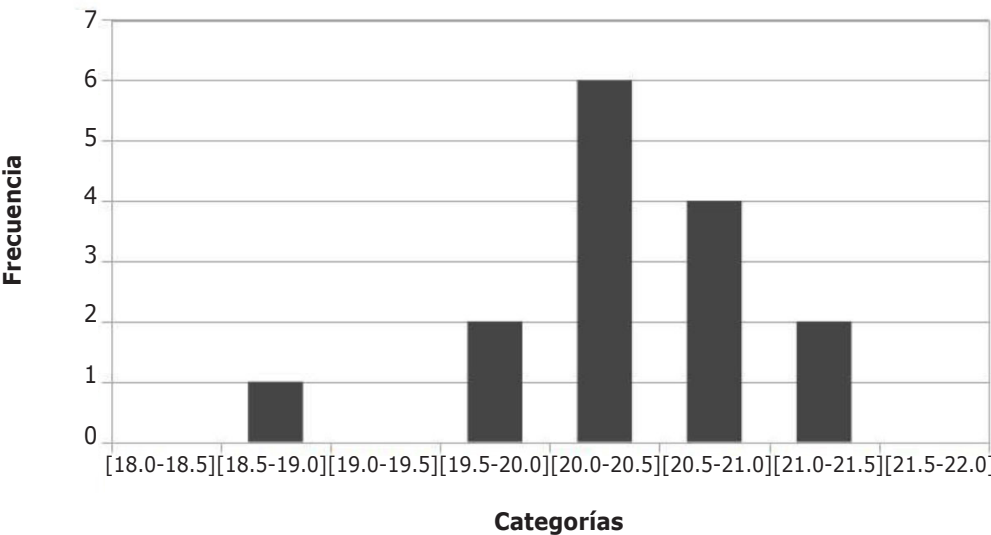


Figura 4. Distribución de frecuencia (cantidad de casos) de los valores de intensidad media de cada ensayo realizado (15 en total) para caracterizar las lluvias simuladas en la Estación Experimental Agropecuaria INTA de Balcarce, provincia de Buenos Aires. Ordenadas: frecuencia de casos observados. Abscisa: intensidad de lluvia medida, distribuida por intervalos (categorías).

obtenido fue de 61,2% y el máximo de 74%. Estos valores indican una buena uniformidad de la lluvia simulada, garantizando la reproducibilidad de la misma en los diferentes tratamientos del experimento desarrollado. La Figura 5 muestra la distribución de frecuencias de las diferentes mediciones realizadas.

En la Figura 6 se muestra la distribución espacial de los valores de intensidad media para cada pluviómetro, obtenida en los 15 ensayos realizados para caracterizar las lluvias simuladas en un área que contiene a la

experimental definida (16 m²), para poder apreciar con claridad. La distribución disminuyó desde el centro hacia los bordes. Sin embargo, dentro del área bajo el simulador la uniformidad fue máxima.

El análisis de las tarjetas hidrosensibles permitió determinar que el diámetro volumétrico medio de las gotas de las lluvias simuladas fue de 1050 ± 308 µm. El mínimo absoluto del conjunto de valores analizados fue de 511 µm y el máximo de 1539 µm. La Figura 7 muestra la distribución de frecuencias acumuladas de

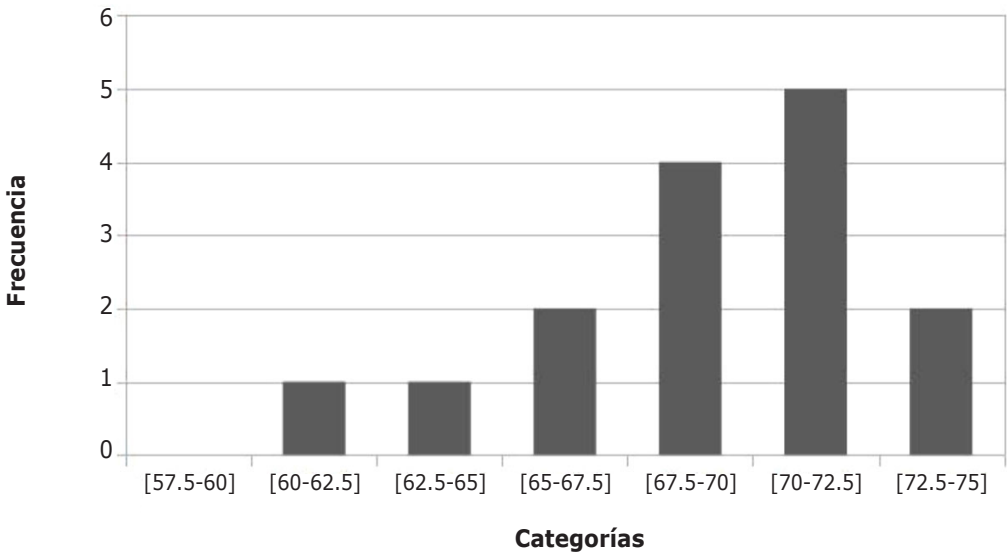


Figura 5. Distribución de valores del coeficiente de uniformidad de Christiansen. Los datos provienen del ensayo realizado en la Estación Experimental Agropecuaria INTA de Balcarce, provincia de Buenos Aires (15 repeticiones). Ordenadas: frecuencia de casos observados. Abscisas: valores de uniformidad, distribuidos por intervalos (categorías).

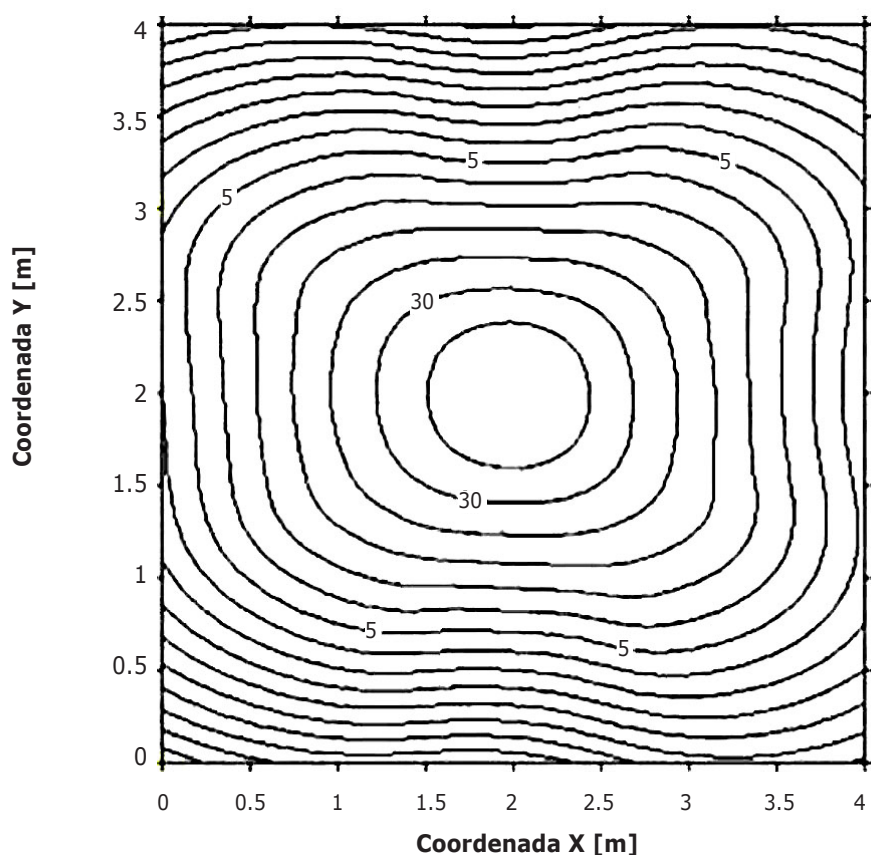


Figura 6. Distribución espacial de la lluvia simulada en el ensayo realizado en la Estación Experimental Agropecuaria INTA de Balcarce, provincia de Buenos Aires (15 repeticiones). Isolíneas expresadas en mm h^{-1} ; Coordenada x: distancia desde el origen (metros). Coordenada y: distancia desde el origen (metros).

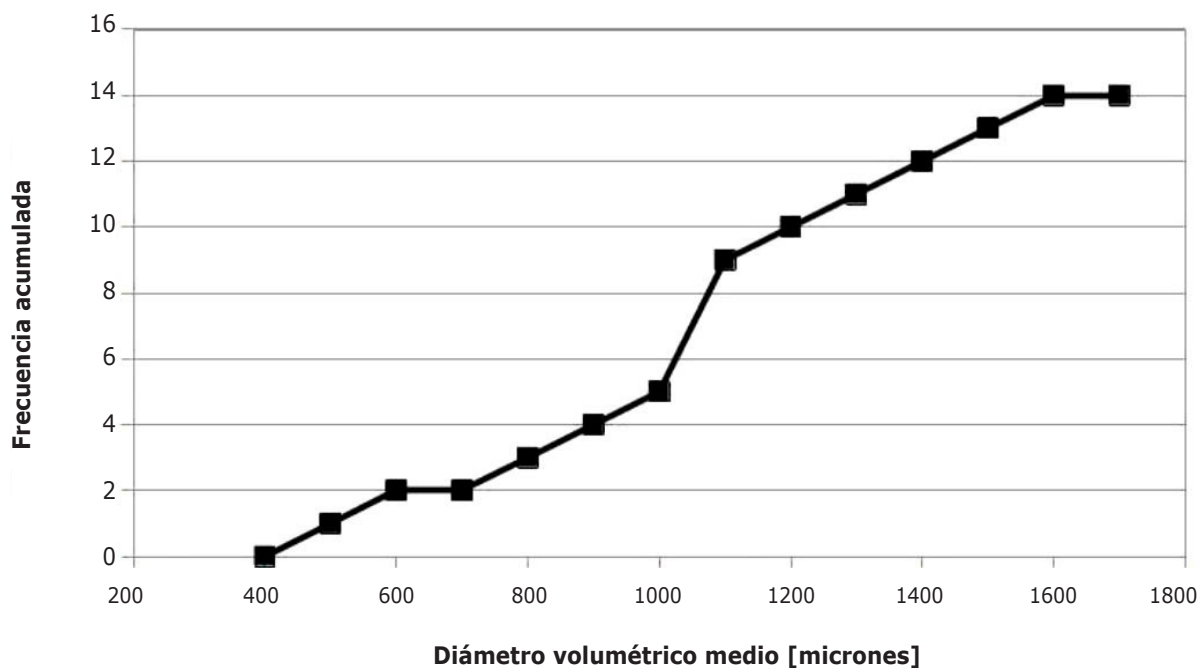


Figura 7. Frecuencia acumulada de valores del diámetro volumétrico medio de las diferentes simulaciones. Los datos provienen del ensayo realizado en la Estación Experimental Agropecuaria INTA de Balcarce, provincia de Buenos Aires, para caracterizar la energía cinética de la lluvia simulada (15 repeticiones). Ordenadas: frecuencia de casos observados. Abscisas: valores de diámetro volumétrico medio (en micrones).

los valores del diámetro volumétrico medio, correspondientes a las simulaciones de lluvia realizadas. Aplicando la ecuación 2, se obtuvo un valor promedio de energía cinética (Em,n) de $6,7 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, con un desvío estándar de $\pm 0,3 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. El valor mínimo fue de $6,1 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ y el máximo alcanzó los $7,1 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$.

Período libre de lluvias postaplicación para el control de raigrás anual

Se encontró efecto de interacción ($p < 0,0001$) entre los tratamientos de aplicación de glifosato y el momento de la lluvia (1, 2, 4, 6 y 24 h desde la aplicación de los tratamientos), en todos los momentos de evaluación del control de raigrás anual. Dada la interacción entre los factores tratamientos y momento de lluvia, se realizó la apertura de la interacción para cada una de las fechas de evaluación.

En lo referente a la evaluación realizada a 7 DDA, los porcentajes de control para todas las combinaciones de tratamientos y momentos de lluvia fueron muy bajos en general, no alcanzando ninguno de ellos el 40% (Cuadro 2). A raíz de estos resultados se observó que dentro de cada tratamiento se encontraron diferencias significativas entre momentos de lluvia. Para el caso de glifosato sal amónica sin coadyuvante, las lluvias realizadas 1 y 2 h después de la aplicación redujeron los porcentajes de control respecto de los valores obtenidos a las 4, 6 y 24 h, mientras que estas no presentaron diferencias estadísticas entre sí. Para el tratamiento de glifosato sal amónica + aceite vegetal, los mayores controles, se

alcanzaron con lluvias posteriores a las 6 y 24 h de la aplicación. Por su parte, para el caso del sulfato de amonio, los mayores controles se observaron solo con las lluvias simuladas a las 24 h desde la aplicación del tratamiento químico. El mayor porcentaje de control para esta evaluación fue de 37,1% obtenido para el tratamiento con glifosato sal potásica con lluvia a las 24 h de la aplicación, valor que resultó significativamente superior a los demás momentos de lluvia. La lluvia simulada 1 h después de la aplicación no generó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, mientras que, con lluvias producidas a las 2 h, el tratamiento más efectivo fue glifosato sal potásica y el de menor eficacia glifosato sal amónica sin adyuvante. Con respecto a las 6 y 24 h, el agregado de sulfato de amonio alcanzó los menores controles en comparación con el resto de los tratamientos.

En cuanto a las evaluaciones realizadas a los 17 DDA (Cuadro 3), todos los herbicidas alcanzaron los porcentajes de control más elevados, cercanos al 80%, cuando las lluvias se simularon entre las 4 y 24 h. Para las lluvias ocurridas a las 24 h, se destacó el tratamiento con formulación de sal potásica, el cual presentó el valor más elevado. En el caso de las formulaciones sal amónica, sola o en mezcla con sulfato de amonio y en el caso de la sal potásica, se presentaron diferencias significativas entre las primeras horas de lluvia (1 y 2 h) y las últimas (24 h), momento en el que lograron los porcentajes de control más elevados. En lo referente al tratamiento con el agregado de aceite vegetal, no existió efecto de los momentos de lluvia. Para las lluvias producidas a la hora de

Cuadro 2. Comparación del porcentaje de control de raigrás anual (*Lolium multiflorum* Lam.) entre tratamientos con herbicida y momento de lluvias simuladas, para las observaciones realizadas a los 7 DDA (días desde la aplicación del herbicida) en el bioensayo efectuado en la Estación Experimental Agropecuaria INTA de Balcarce, provincia de Buenos Aires. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas para cada tratamiento entre los momentos de lluvias (en el sentido de las filas) y letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre tratamientos en cada momento de simulación de lluvia (en el sentido de las columnas).

Tratamiento	Control a los 7 DDA (%)				
	Momento de lluvia (horas después de la aplicación)				
	1	2	4	6	24
Glifosato sal amónica	7,1 b A	8,6 b C	28,6 a A	30,7 a A	32,9 a A
Glifosato sal amónica + aceite vegetal	4,7 d A	11,4 c BC	28,0 b A	31,0 ab A	34,3 a A
Glifosato sal amónica + (NH ₄) ₂ SO ₄	10,0 c A	14,7 c AB	20,7 b B	18,6 b B	27,1 a B
Glifosato sal potásica	7,9 d A	19,3 c A	24,3 bc AB	27,1 b A	37,1 a A
Testigo	0 a B	0 a D	0 a C	0 a C	0 a C

Cuadro 3. Comparación del porcentaje de control de raigrás anual (*Lolium multiflorum* Lam.) entre tratamientos con herbicida y momento de lluvias simuladas, para las observaciones realizadas a los 17 DDA (días desde la aplicación del herbicida) en el bioensayo efectuado en la Estación Experimental Agropecuaria INTA de Balcarce, provincia de Buenos Aires. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas para cada tratamiento entre los momentos de lluvias (en el sentido de las filas) y letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre tratamientos en cada momento de simulación de lluvia (en el sentido de las columnas).

Tratamiento	Control a los 17 DDA (%)				
	Momento de lluvia (horas después de la aplicación)				
	1	2	4	6	24
Glifosato sal amónica	70,7 b B	68,6 b B	74,3 a A	75,0 a A	75,0 a BC
Glifosato sal amónica + aceite vegetal	75,0 a A	75,0 a A	75,0 a A	73,6 a A	73,3 a C
Glifosato sal amónica + (NH ₄) ₂ SO ₄	69,3 b BC	72,9 b A	75,7 ab A	77,1 a A	77,9 a AB
Glifosato sal potásica	65,7 c C	75,0 b A	76,4 ab A	75,0 b A	79,3 a A
Testigo	0 a D	0 a C	0 a B	0 a B	0 a D

la aplicación de los tratamientos con herbicida, la mayor eficacia de control se observó con glifosato sal amónica + aceite vegetal; en tanto, el tratamiento con menor eficacia fue glifosato sal potásica. En cambio, para las lluvias producidas entre las 4 y 6 h no se detectaron diferencias estadísticas entre tratamientos ($p > 0,05$).

En la última evaluación (39 DDA), todos los tratamientos alcanzaron un 100% de control o valores muy cercanos, no presentando diferencias significativas entre momentos de lluvia (Cuadro 4), con excepción del tratamiento glifosato sal amónica sin adyuvante y lluvias a la hora posterior a la aplicación. Este último tratamiento dio como resultado un 97,6% de control y se diferenció estadísticamente del resto. Cabe destacar

que para lluvias producidas luego de las 2 h no se observaron diferencias significativas entre tratamientos para cada una de ellas.

Efecto sobre el peso fresco aéreo total (PFT) y verde (PFV)

De acuerdo con el análisis de la varianza, no se encontró interacción significativa ($p > 0,05$) entre los tratamientos de glifosato (Cuadro 1) y los momentos de lluvia simulada (1, 2, 4, 6 y 24 h después de la aplicación del glifosato). Sin embargo, se registraron diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) entre los momentos de lluvia para todos los tratamientos y entre tratamientos para todos los momentos simulados ($p < 0,01$), lo cual

Cuadro 4. Comparación del porcentaje de control de raigrás anual (*Lolium multiflorum* Lam.) entre tratamientos con herbicida y momento de lluvias simuladas, para las observaciones realizadas a los 39 DDA (días desde la aplicación del herbicida) en el bioensayo efectuado en la Estación Experimental Agropecuaria INTA de Balcarce, provincia de Buenos Aires. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas para cada tratamiento entre los momentos de lluvias (en el sentido de las filas) y letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre tratamientos en cada momento de simulación de lluvia (en el sentido de las columnas).

Tratamiento	Control a los 39 DDA (%)				
	Momento de lluvia (horas después de la aplicación)				
	1	2	4	6	24
Glifosato sal amónica	97,6 b B	99,9 a A	100 a A	100 a A	100 a A
Glifosato sal amónica + aceite vegetal	100 a A	100 a A	100 a A	100 a A	100 a A
Glifosato sal amónica + (NH ₄) ₂ SO ₄	100 a A	100 a A	100 a A	100 a A	99,9 b A
Glifosato sal potásica	100 a A	100 a A	100 a A	100 a A	100 a A
Testigo	0 a C	0 a B	0 a B	0 a B	0 a B

indica un efecto individual de las variables. Por ello, se analizó por separado el efecto de los tratamientos químicos y las lluvias simuladas.

Todos los tratamientos con glifosato determinaron una disminución del PFT estadísticamente significativa en comparación con el testigo ($p < 0,05$). Entre tratamientos solo difirieron entre sí los PFT de plantas tratadas con glifosato sal amónica y con glifosato sal potásica. Además, el PFT obtenido con el tratamiento con glifosato sal amónica resultó significativamente superior a glifosato sal potásica, el cual presentó el valor más bajo (Cuadro 5).

En cuanto al análisis de los momentos de lluvia (Cuadro 6), el mayor PFT para todos los tratamientos se generó con lluvias simuladas a la hora posterior de la aplicación, mostrando diferencias significativas con el resto de las horas evaluadas (2, 4, 6 y 24 h). Por el contrario, los menores valores de PFT se obtuvieron con lluvias entre 4 y 24 h, las cuales no difirieron significativamente entre sí ($p > 0,05$).

En cuanto al peso fresco aéreo verde (PFV), no se detectó interacción significativa ($p > 0,05$) entre los

tratamientos con glifosato y los momentos de lluvia simulada, como así tampoco se encontraron diferencias para el efecto individual de los momentos de lluvia ($p > 0,05$). Sin embargo, se determinó un efecto altamente significativo entre los tratamientos con glifosato ($p < 0,01$). En este sentido, se observó que el único tratamiento que presentó valores de PFV apreciables fue glifosato sal amónica, el cual se diferenció significativamente del testigo, pero no así de los demás tratamientos químicos (Cuadro 7).

Cuadro 7. Peso fresco aéreo verde (PFV) del raigrás anual (*Lolium multiflorum* Lam.) de los tratamientos con herbicidas luego de las lluvias simuladas en el bioensayo realizado en la Estación Experimental Agropecuaria INTA de Balcarce, provincia de Buenos Aires. Letras minúsculas distintas denotan diferencias significativas entre tratamientos.

Tratamiento	PFV (g)
Glifosato sal amónica	0,143 b
Glifosato sal amónica + aceite vegetal	0,000 b
Glifosato sal amónica + (NH ₄) ₂ SO ₄	0,000 b
Glifosato sal potásica	0,000 b
Testigo	10,529 a

DISCUSIÓN

La simulación de lluvias representa una línea de investigación actualmente vigente (Calazans da Silva Luz *et al.*, 2024). Los resultados obtenidos indican que el simulador de lluvias permite generar precipitaciones con una intensidad que se ajusta con lo señalado por Puricelli (2014, 2018), es decir, lluvias que resultan representativas de la región de Balcarce (provincia de Buenos Aires): tormentas de dos años de tiempo de retorno y una hora de duración. Por su parte, las lluvias simuladas presentaron una distribución espacial que resultó de acuerdo a lo previsible, tal como lo mostraron los resultados del funcionamiento del simulador. Por lo tanto, estos resultados (Figura 6) pueden ser considerados satisfactorios, teniendo en cuenta lo señalado por otros autores, como Estévez *et al.* (2000) y Lascelles *et al.* (2000), quienes en experiencias previas obtuvieron patrones de distribución espacial menos uniformes al logrado en este trabajo. Los resultados son comparables a otros casos exitosos de simulación de lluvia, como los expuestos por Iseroh *et al.* (2013) y Green y Pattinson (2022).

En cuanto al diámetro volumétrico medio de las gotas de las lluvias simuladas, los valores obtenidos coinciden con aquellos alcanzados en trabajos anteriores

Cuadro 5. Peso fresco aéreo total (PFT) del raigrás anual (*Lolium multiflorum* Lam.) de los tratamientos con herbicidas luego de las lluvias simuladas en el bioensayo realizado en la Estación Experimental Agropecuaria INTA de Balcarce, provincia de Buenos Aires. Letras minúsculas distintas denotan diferencias significativas entre tratamientos.

Tratamiento	PFT (g)
Glifosato sal amónica	1,709 b
Glifosato sal amónica + aceite vegetal	1,440 bc
Glifosato sal amónica + (NH ₄) ₂ SO ₄	1,303 bc
Glifosato sal potásica	1,180 c
Testigo	10,529 a

Cuadro 6. Peso fresco aéreo total (PFT) del raigrás anual (*Lolium multiflorum* Lam.) entre momentos de lluvias simuladas integrando todos los tratamientos en el bioensayo realizado en la Estación Experimental Agropecuaria INTA de Balcarce, provincia de Buenos Aires. Letras minúsculas distintas denotan diferencias significativas entre momentos.

Momento de lluvia (horas después de la aplicación)	PFT (g)
1	4,089 a
2	3,131 b
4	2,829 b
6	2,977 b
24	3,134 b

(Estévez *et al.*, 2000; Lascelles *et al.*, 2000; Mhaske *et al.*, 2019). En consecuencia, se pudo realizar una determinación de la energía cinética de las tormentas generadas con el simulador, haciéndolas comparables con las estimaciones provenientes de la información pluviográfica disponible.

El simulador permitió estudiar el efecto de las lluvias postaplicación del glifosato sobre la efectividad de control en plantas de raigrás anual. La clasificación agronómica utilizada para calificar la efectividad de control establece que valores de control dentro del rango 90-100% se consideran buenos a excelentes (EWRC, 1964). Por lo tanto, los resultados de este trabajo muestran que en la evaluación de los 39 DDA todos los tratamientos químicos determinaron un control efectivo, inclusive aquellos que recibieron una lluvia a la hora de la aplicación. Sin embargo, se observaron algunas particularidades. Por un lado, los resultados indicaron que, para lluvias simuladas a la hora de la aplicación, el control de raigrás anual con el tratamiento de glifosato sal amónica fue levemente inferior en comparación con el mismo herbicida en mezcla con adyuvantes y con glifosato sal potásica. Asimismo, si bien en las observaciones realizadas entre los 7 y 17 DDA la eficacia de control de los tratamientos fue baja (< 80%), a los 39 DDA todos los tratamientos, a excepción de glifosato sal amónica, controlaron en su totalidad las plantas de raigrás anual, no manifestándose diferencias entre el uso de aceite vegetal, sulfato de amonio o glifosato sal potásica en ninguno de los momentos de lluvia simulada (Cuadros 2, 3 y 4). En el caso del glifosato sal amónica, su menor control estuvo dado por la aparición de rebrotes, observados a los 39 DDA, en macollos que recibieron lluvias a la hora posterior a la aplicación.

Por lo tanto, de acuerdo a estos resultados, la efectividad de control de esta maleza por los tratamientos estudiados no sería afectada si las lluvias más frecuentes para la región de Balcarce se produjeran a partir de las dos horas luego de la aplicación. Resultados similares fueron obtenidos por James y Rahman (2005) sobre raigrás anual, utilizando diferentes formulaciones de glifosato y lluvias simuladas entre 2 y 6 h luego de la aplicación. Dichos autores observaron inicialmente bajas eficacias de control, pero controles de 100% al finalizar las evaluaciones a las cuatro semanas luego de la aplicación. Sin embargo, en otros trabajos donde se evaluó la efectividad del glifosato con simulación de lluvias, se obtuvieron resultados que difieren sustancialmente de lo reportado en el presente estudio. Por ejem-

plo, Martini *et al.* (2003), en un trabajo realizado en Brasil, encontraron mejores controles con el herbicida glifosato cuando las lluvias ocurrían en un período mayor a las 48 h. Por su parte, Marochi *et al.* (1995) determinaron que el control con glifosato sal potásica superó al proporcionado por el glifosato solo, en aproximadamente 20%, con períodos de 0, 2 y 4 h sin lluvia. Estos autores también reportaron que el período entre la aplicación y la precipitación afecta de manera significativa la eficacia de glifosato y sumado a lo anterior, observaron que entre 6 y 8 h sin lluvias proporcionaron mejores resultados, sin diferencias estadísticas entre sí. Las diferencias encontradas con estos trabajos podrían deberse a divergencias entre las formulaciones de los herbicidas, sumado a una mayor intensidad de lluvia (24,2 mm) y a un mayor tiempo de la lluvia simulada utilizada en el caso de Martini *et al.* (2003).

Respecto de los adyuvantes estudiados, en la primera evaluación visual (7 DDA) se obtuvo mejor control del raigrás anual con la adición de aceite vegetal en comparación con sulfato de amonio (Cuadro 2). Sin embargo, en la última observación (39 DDA) no se encontraron diferencias en la eficacia de control entre estos adyuvantes con lluvias a una hora, como tampoco difirieron con el resto de los tratamientos para períodos de lluvias iguales o superiores a dos horas. Tal situación podría deberse a que las formulaciones de los herbicidas comerciales, tanto de glifosato sal amónica como de sal potásica, ya poseen distintos adyuvantes que podrían haber enmascarado las diferencias. De acuerdo a los resultados obtenidos a partir de la simulación de lluvias con una intensidad representativa para la zona bajo estudio, se podría especular que el uso de adyuvantes solo se justificaría si hay riesgos de lluvias antes de las dos horas postaplicación.

Los resultados del presente trabajo sugieren que si bien las recomendaciones de los fabricantes para la Argentina expresan que lluvias entre cuatro y seis horas después de la aplicación pueden reducir la efectividad de las formulaciones de glifosato (CASAFE, 2024), estos valores podrían ser precautorios dado que dependen de la dosis y la formulación a utilizar, entre otras cuestiones, según fue demostrado también en otros estudios (Kogan, 2001; Willoughby y Stokes, 2015; Symonds, 2016). Por último, se debe destacar que, si bien el simulador fue calibrado satisfactoriamente para las condiciones regionales del estudio, su utilización en otros ambientes requiere su adaptación a los eventos pluviométricos característicos de los mismos.

CONCLUSIONES

Se logró poner a punto un simulador de lluvia que reprodujo eventos con la intensidad representativa de las tormentas más frecuentes de la región de Balcarce, provincia de Buenos Aires, pudiéndose avanzar en el conocimiento del efecto del momento de ocurrencia de lluvias sobre la eficacia para el control del raigrás anual del glifosato. El agregado de sulfato de amonio o aceite metilado de soja al caldo de aplicación que contiene una formulación de glifosato sal amónica, mostró una mejora en la eficiencia de control solo con lluvias ocurridas dentro de la hora postaplicación, mientras que no tuvo efecto en el caso de lluvias producidas luego de las dos

horas. El glifosato formulado como sal potásica presentó un comportamiento similar a la formulación de glifosato sal amónica con el agregado de sulfato de amonio o aceite metilado de soja, siendo todas estas superiores a la formulación individual solo para lluvias ocurridas a la hora postaplicación. Los resultados obtenidos permiten contar con criterios para la correcta aplicación de herbicidas como los utilizados en este trabajo, evitando la reducción de su eficacia y disminuyendo, en consecuencia, el riesgo de contaminación del suelo y las aguas superficiales por medio de los procesos de lixiviación y escurrimiento superficial.

BIBLIOGRAFÍA

- Anzalone, A. (2007). Herbicidas. *Modos y mecanismos de acción en plantas* (pp. 72). Universidad Centrocidental Lisandro Alvarado, Decanato de Agronomía, Departamento de Fitotecnia, UCLA. https://www.researchgate.net/publication/259175751_Herbicidas_Modos_y_mecanismos_de_accion_en_plantas
- Aparicio, V. C., De Geronimo, E., Marino, D., Primost, J., Carriquiriborde, P. y Costa, J. L. (2013). Environmental fate of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in surface waters and soil of agricultural basins. *Chemosphere*, 93, 1866-1873. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.06.041>
- Bariuan, J. V., Reddy, K. N. y Wills, G. D. (1999). Glyphosate injury, rainfallness, absorption, and translocation in purple nutsedge (*Cyperus rotundus*). *Weed Technology*, 13, 112-119.
- Benito, E., De Blas, E., Santiago, J. L. y Varela, M. E. (2001). Descripción y puesta a punto de un simulador de lluvia de campo para estudios de escorrentía superficial y erosión del suelo. *Cadernos Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, 26, 211-220.
- Berman, M. C., Marino, D. J., Quiroga, M. V. y Zagarese, H. (2018). Occurrence and levels of glyphosate and AMPA in shallow lakes from the Pampean and Patagonian regions of Argentina. *Chemosphere*, 200, 513-522. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.02.103>
- Bryan, R. B. y De Ploey, J. (1983). Comparability of soil erosion measurements with different laboratory rainfall simulators. En: De Ploey, J. (Ed). *Rainfall simulation, runoff and soil erosion* (pp. 36-53). *Catena Supplement* 4.
- Calasanz da Silva Luz, C., Sampaio de Almeida, W., Pacheco de Souza, A., Schultz, N., Ayach Anache, J. A. y Fonseca de Carvalho, D. (2024). Simulated rainfall in Brazil: An alternative for assessment of soil surface processes and an opportunity for technological development. *International Soil and Water Conservation Research*, 12, 29-42. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2023.05.002>
- Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes-CASAFE. (2024). Guía online de productos fitosanitarios. Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes. https://guiaonline.casafe.org/index.php/ms_session_manager
- Chow, V. T., Maidment, D. y Mays, L. (1988). *Hidrología aplicada* (pp. 540). Mc Graw Hill.
- Dabrowski, J. M., Peall, S. K., Van Niekerk, A., Reinecke, A. J., Day, J. A. y Schulz, R. (2002). Predicting runoff-induced pesticide input in agricultural sub-catchment surface waters: linking catchment variables and contamination. *Water Research*, 36(20), 4975-4984.
- Davis, J. C. (2002). *Statistics and data analysis in Geology*. John Wiley & Sons.
- Estevez, M., Planchon, O., Lapetitte, J. M., Slivera, N. y Cadet, P. (2000). The "Emire" large rainfall simulator: design and field testing. *Earth Surface Processes and Landforms*, 25, 681-690.
- European Weed Research Council-EWRC. (1964). Report of the 3th and 4th meetings of EWRC-Committee of methods in weed research. *Weed Research*, 4, 88.
- Gannon, T.W. y Yelverton, F. H. (2008). Effect of simulated rainfall on Tall Fescue (*Lolium arundinaceum*) control with glyphosate. *Weed Technology*, 22, 553-557.
- Gigón, R., Vigna, M. y Yannicari, M. (2017). Raigrás (*Lolium spp.*). *Bases para su manejo y control en sistemas de producción* (pp. 27). Editorial responsable-REM-AAPRESID. https://issuu.com/aapresid/docs/raigras_rem_final_
- Green, D. y Pattison, I. (2022). Christiansen uniformity revisited: Re-thinking uniformity assessment in rainfall simulator studies. *Catena*, 217, 106424. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106424>
- Grondona, S. I., Lima, M. L., Massone, H. E. y Miglioranza, K. S. (2023). Pesticides in aquifers from Latin America and the Caribbean. *Science of the Total Environment*, 901, 165992. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165992>
- Halbach, K., Möder, M., Schrader, S., Liebmann, L., Schäfer, R. B., Schneeweiss, A., Schreiner, V. C., Vormeier, P., Weisner, O., Liess, M. y Reemtsma, T. (2021). Small streams-large concentrations? Pesticide monitoring in small agricultural streams in Germany during dry weather and rainfall. *Water Research*, 203, 117535. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117535>
- Howell, T. A. (2003). Irrigation Efficiency. En: Trimble, W. S. (Ed.). *Encyclopedia of Water Science* (pp. 1596), CRC Press.

- Iserloh, T., Ries, J. B., Arnáez, J., Boix-Fayos, C., Butzen, V., Cerdà, A., Echeverría, M. T., Fernández-Gálvez, J., Fister, W. *et al.*, Wirtz, S. (2013). European small portable rainfall simulators: A comparison of rainfall characteristics. *Catena*, 110, 100-112. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2013.05.013>
- James, T. K. y Rahman, A. (2005). Efficacy of several organic herbicides and glyphosate formulations under simulated rainfall. *New Zealand Plant Protection*, 58, 157-163.
- Kanissery, R., Gairhe, B., Kadyampakeni, D., Batuman, O. y Alferez, F. (2019). Glyphosate: its environmental persistence and impact on crop health and nutrition. *Plants*, 8, 499. doi:10.3390/plants8110499
- Kogan, M. (2001). Uso de adyuvantes para disminuir el efecto del lavado del glifosato desde el follaje de *Cyperus rotundus* L. *Ciencia e Investigación Agraria*, 28(3), 151-156.
- Koger, C. H., Dodds, D. M. y Reynolds, D. B. (2007). Effect of adjuvants and urea ammonium nitrate on bispyribac efficacy, absorption, and translocation in Barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*). I Efficacy, rainfastness, and soil moisture. *Weed Science*, 55, 399-405.
- Lascelles, B., Favis-Mortlock, D. T., Parsons, A. J. y Guerra, A. J. (2000). Spatial and temporal variation in two rainfall simulators: implications for spatially explicit rainfall simulation experiments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 25, 709-721.
- Lupi, L., Bedmar, F., Puricelli, M., Marino, D., Aparicio, V. C., Wunderlin, D. y Miglioranza, K. S. B. (2019). Glyphosate runoff and its occurrence in rainwater and subsurface soil in the nearby area of agricultural fields in Argentina. *Chemosphere*, 225, 906-914. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.03.090>
- Marochi, A. I., Mierlo, C. V. y Gallo, P. (1995). Avaliação do período ideal entre aplicação e ocorrência de chuva, para herbicidas de ação sistêmica, utilizados em dessecção para plantio direto (pp. 318). En: Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas, Florianópolis. Resumos. Florianópolis.
- Martini, G., Ferrari Pedrinho Júnior, A. F. y Durigan, J. C. (2003). Eficácia do herbicida Glifosato potássico submetido à chuva simulada após a aplicação. *Bragantia, Campinas*, 62(1), 39-45. http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S000687052003000100005&script=sci_arttext
- Marzoca, A. (1976). *Manual de malezas* (pp. 564). Hemisferio Sur.
- Matthews, G. A. (1985). *Pesticide Application Methods*. Longman.
- Mercau, J. L., Jobbagy, E. G., Viglizzo, E., Menéndez, A., Di Bella, C., Bert, F., Portela, S., Figeroa Schiebbler, E., Florio, E., Giménez, R., García, P. y Murray, F. (2013). Sequía e inundación en la hiperllanura pampeana. Una mirada desde el lote al municipio. *Agronomía y Ambiente*, 33(1-2), 71-77.
- Mhaske, S. N., Pathaka, K. y Basak, A. (2019). A comprehensive design of rainfall simulator for the assessment of soil erosion in the laboratory. *Catena*, 172, 408-420. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.08.039>
- Miller, D. K., Griffin, J. L. y Richard, Jr., E. P. (1998). Johnsongrass (*Sorghum halepense*) control and rainfastness with glyphosate and adjuvants. *Weed Technology*, 12, 617-622.
- Navarro, I., de la Torre, A., Sanz, P., Abrantes, N., Campos, I., Alaoui, A., Christ, F., Alcon, F., Contreras, J., *et al.*, Martínez, M. A. (2024). Assessing pesticide residues occurrence and risks in water systems: A Pan-European and Argentina perspective. *Water Research*, 254, 121419. doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.121419>
- Pedrinho Júnior, A. F., Martini, G., Felici, G. V., Piva, F. M. y Durigan, J. C. (2002). Momento da chuva após a aplicação e a eficácia dos herbicidas sulfosate e glyphosate aplicados em diferentes formulações. *Planta Daninha*, 20(1), 115-123.
- Peluso, M. L. (2021). Bioensayos de toxicidad. En: Carriquiriborde, P. (Ed.). *Principios de ecotoxicología* (pp. 268-290). Editorial de la Universidad Nacional de La Plata.
- Puricelli, M. (2014). Actualización y análisis de las curvas intensidad - duración - frecuencia para la localidad de Balcarce, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*, 32, 61-70.
- Puricelli, M. (2018). Rainfall extremes modeling under shortage of data and uncertainty in the Pampean Region (Argentina). *Geographical Research Letters*, 44(2), 719-742.
- Red de Manejo de Plagas-REM y Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa-AAPRESID. (2023). El raigrás sigue ganado terreno y sumando resistencias. <https://www.aapresid.org.ar/blog/raigras-sigue-ganado-terreno-sumando-resistencias>
- Renard, K. G., Foster, G. R., Wessies, G. A., McCool, D. K. y Yoder, D. C. (1997). Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Soil Loss Equation (RUSLE). United States Department of Agriculture. *Agriculture handbook*, 703, 64.
- Rončević, V., Zivanović, N., Van Boxel, J., Iserloh, T. y Štrbac, S. (2023). Dripping Rainfall Simulators for Soil Research-Performance Review. *Water*, 15, 1314. <https://doi.org/10.3390/w15071314>
- Ronco, A. E., Marino, D. J., Abelando, M., Almada, P. y Apartin, C. D. (2016). Water quality of the main tributaries of the Parana basin: glyphosate and AMPA in surface water and bottom sediments. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(8), 458. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5467-0>
- Scarpatti, O. E. y Capriolo, A. D. (2013). Sequías e inundaciones en la provincia de Buenos Aires y su distribución espacio-temporal. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 82, 38-51.
- Shaner, D. L. (Ed.). (2014). *Herbicide handbook*. 10ª ed. (pp. 513). Weed Sci. Soc. of Am.
- Sivesind, E. C., Gaska, J. M., Jeschke, M. R., Boerboom, C. M. y Stoltenberg, D. E. (2011). Common lambsquarters response to glyphosate across environments. *Weed Technology*, 25(1), 44-50.
- Souza, G. S., Martins, D. y Pereira, M. R. (2013). Efeito da chuva na eficiencia de herbicidas aplicados em pós-emergência sobre corda-de-viola. *Planta Daninha*, 31(1), 175-184.
- Souza, G. S., Martins, D., Pereira, M. R. y Bagatta, M. V. (2014). Action of rain on the efficiency of herbicides applied post-emergence in the control of *Senna obtusifolia*. *Ciência Agrônômica*, 45(3), 550-557.

- Stewart, C. L., Nurse, R. E., Hamillm A. S. y Sikkema, P. H. (2010). Environment and soil conditions influence pre- and postemergence herbicide efficacy in soybean. *Weed Technology*, 24, 234-243.
- Stewart, C. L., Soltani, N., Nurse, R. E., Hamillm A. S. y Sikkema, P. H. (2012). Precipitation influences pre- and post-emergence herbicide efficacy in corn. *American Journal of Plant Sciences*, 3, 1193-1204.
- Suero, E. E., Santa Cruz, J. N., Silva Busso, A., Della Maggiora, A. I., Yrigoyen, A. I., Costa, J. L. y Gardiol, J. M. (2002). Caracterización de los recursos naturales en sistemas bajo riego del Sudeste Bonaerense. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 30(1), 71-90.
- Symonds, B. L. (2016). *Investigating water-soluble polymers as rainfastness adjuvants for agrochemicals* (Thesis of Doctor of Philosophy). School of Pharmacy University of Reading. United Kingdom. https://centaur.reading.ac.uk/77825/1/17011892_Symonds_thesis.pdf
- Tricart, J. L. (1973). *Geomorfología de la Pampa Deprimida: base para los estudios edafológicos y agronómicos* (pp. 202). Colección Científica, vol. 12. Inst. Nac. Tecnol. Agropecuaria.
- Vigna, M. (2018). *Lolium L.* En: Fernández, O. A., Leguizamón, E. S. y Acciaresi, H. A. (Eds.). *Malezas e invasoras de la Argentina* (pp. 487-510). Tomo III: Historia y Biología. 1ª ed. Editorial de la Universidad Nacional del Sur - Ediuns.
- Villamar-Ayala, C. A., Carrera-Cevallos, J. V., Vásquez-Medrano, R. y Espinoza-Montero, P. J. (2019). Fate, eco-toxicological characteristics, and treatment processes applied to water polluted with glyphosate: A critical review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 49, 1476-1514. <https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1579627>
- Willoughby, I. H. y Stokes, V. J. (2015). Mixture B New Formulation adjuvant increases the rainfastness and hence effectiveness of glyphosate for rhododendron control. *Forestry*, 88, 172-179.
- Zimdahl, R. L. (2018). *Fundamentals of Weed Science*. 5ª ed. Academic Press.