



Publicación Semestral. Vol. 2, No. 2, julio-diciembre 2023, Ecuador (p. 20-36). Edición continua

DETERMINACIÓN DE LA SORCIÓN EN TRES TIPOS DE SUELO Y ARENA LAVADA, EMPLEANDO DIEZ DOSIS DEL HERBICIDA SAFLUFENACIL

Richard Alcides Molina Alvarez^{1*}, Jasmín Kele Amancio Costa Da Silva¹, Rayra de Souza Ribeiro¹, Ingridy Do Nascimento Tavares¹, Yenara Alves Guedes¹

¹Centro de Ciencias Agrarias, Programa de Pós-graduação em agronomia. Universidade Federal de Roraima, POSAGRO/UFRR, CEP: 68.300-000, Boa Vista, Brasil.

*Dirección para correspondencia: richard.molina@ufrr.br

Fecha de Recepción: 07/03/2023

Fecha de Aceptación: 10/04/2023

Fecha de Publicación: 31/07/2023

Resumen

El objetivo de esta investigación es estudiar la relación de sorción en tres tipos de suelos típicos de Roraima (Si BCS); Latossolo Amarelo Distrocoeso Típico (Suelo 1); Latossolo Vermelho Distrófico (Suelo 2); Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (Suelo 3) y arena lavada (sustrato inerte), utilizando el herbicida Saflufenacil con 10 dosis, de 0; 0.3; 0.6; 0.9; 1.2; 2.40; 4.8; 9.6; 19.2; 38.4 gha⁻¹. Para el sustrato arenoso 0; 0.4; 0.8; 1.2; 2.4; 4.8; 9.6; 19.2; 38.4; 76.8 gha⁻¹. Utilizando un diseño estadístico DCA, con 4 repeticiones, se alcanzó un número de 160 macetas, utilizando 3 plántulas de pepino (*Cucumis sativus*) como indicador biológico en condiciones de invernadero, el sustrato se humedeció a capacidad de campo. Después de la siembra, al séptimo día después de la siembra se colocó solución nutritiva de (Murashige y Skoog, 1962) en dosis de 10 ml, para cada maceta, con el propósito de promover condiciones óptimas de desarrollo de las plántulas y optimizar el efecto de las lesiones causadas por el herbicida, el riego de mantenimiento se acompañó todos los días durante 14 días, en el día 15 se evaluó la fitotoxicidad utilizando una escala subjetiva en la escala de 0 - 100% donde 0 es la muerte de la plántula y 100% ausencia de daño, a continuación, las plántulas fueron cortadas a nivel del sustrato y colocadas en bolsas de papel para el subsecuente estudio de la pérdida de materia seca. La mejor característica se expresó en el Suelo 1 con una mayor relación de sorción, seguido por el Suelo 3 y Suelo 2, la variable que mejor contribuyó en la determinación de los resultados fue la variable fitotoxicidad, la pérdida de materia seca (mg), corroboró la tendencia de la variable fitotoxicidad, pero no fue tan eficiente para estudiar la relación de sorción.

Palabras Clave: Herbicida y suelo, Coeficiente de sorción, Saflufenacil, Tipos de suelo.

IDs Orcid:

Richard Alcides Molina Álvarez: <http://orcid.org/0000-0002-8152-3203>

Jasmin Kele Amancio Costa Da Silva: <http://orcid.org/0000-0001-5072-8022>

Rayra de Souza Ribeiro: <http://orcid.org/0009-0002-7401-2971>

Ingridy Do Nascimento Tavares: <https://orcid.org/0000-0002-2262-9710>

Yenara Alves Guedes: <https://orcid.org/0000-0002-4346-8143>

Artículo científico: Determinación de la sorción en tres tipos de suelo y arena lavada, empleando diez dosis del Herbicida Saflufenacil

Publicación Semestral. Vol. 2, No. 2, julio-diciembre 2023, Ecuador (p. 20-36)

DETERMINATION OF SORPTION RATIO IN THREE TYPES OF SOIL AND WASHED SAND, USING TEN DOSES OF SAFLUFENACIL HERBICIDE.

Abstract

The objective of this study was to investigate the sorption relationship in three typical soils of Roraima (SiBCS): Latossolo Amarelo Distrocoeso Típico (Soil 1), Latossolo Vermelho Distrófico (Soil 2) and Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (Soil 3), as well as washed sand (inert substrate). The herbicide Saflufenacil was used with 10 doses: 0, 0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 2.40, 4.8, 9.6, 19.2, and 38.4 g ha⁻¹ for the sandy substrate, and 0, 0.4, 0.8, 1.2, 2.4, 4.8, 9.6, 19.2, 38.4, and 76.8 g ha⁻¹. Using a DCA statistical design with 4 repetitions, a total of 160 pots were used, with 3 cucumber seedlings (*Cucumis sativus*) as a biological indicator under greenhouse conditions. The substrate was moistened to field capacity after sowing, and on the seventh day after sowing, a nutrient solution (Murashige and Skoog, 1962) was applied at a dose of 10 ml for each pot to promote optimal seedling development conditions and enhance the effect of herbicide-induced injuries. Daily maintenance watering was performed for 14 days, and on the 15th day, phytotoxicity was evaluated using a subjective scale ranging from 0 to 100%, where 0 represents seedling death and 100% represents no damage. Subsequently, the seedlings were cut at the substrate level and placed in paper bags for subsequent study of dry matter loss. The highest sorption ratio was observed in Soil 1, followed by Soil 3 and Soil 2. Phytotoxicity was the variable that most contributed to the determination of the results, and the loss of dry matter (mg) confirmed the trend of the phytotoxicity variable but was not as efficient in studying the sorption relationship.

Keywords: Herbicide and soil, Sorption Ratio, Saflufenacil, Soil types.

1. INTRODUCCIÓN

La aparición de malas hierbas ocasiona pérdidas en la calidad y rendimiento de los cultivos, por lo cual se hace necesario un conocimiento adecuado para su control, uno de los principales problemas es su resistencia a los herbicidas, debido a que si no se realiza un control apropiado y oportuno su manejo demandará de nuevas aplicaciones con productos con diferentes modos de acción, lo que resulta en mayores costos e impactos ambientales (Bourouhou & Badouna, 2023; Meena et al., 2023). Antes de tomar medidas para controlar las malas hierbas en el campo, es fundamental comprender la susceptibilidad de las malas hierbas a los herbicidas (Garibaldi et al., 2023). Conocer los métodos que permiten determinar rápidamente los niveles de sensibilidad pueden ayudar a realizar recomendaciones adecuadas antes de su aplicación, lo que promueve una mayor eficiencia técnica, económica y ambiental en la gestión de las malas hierbas (Vargas et al., 2019).

Los herbicidas alteran la fisiología de las plantas, afectando su desarrollo y provocando hasta su muerte, los herbicidas pueden clasificarse de acuerdo al tiempo de aplicación, selectividad, movilidad en la planta, familia química y modo de acción (Jiao et al., 2022), el Saflufenacil pertenece al grupo de Herbicidas inhibidores de la Protoporfirinógeno Oxidasa (PROTOX) y la componen difeniléteres (acifluorfen, fomesafen, lactofen, oxyfluorfen), ftalanidas (flumicorac, flumioxazin) y triazolinonas (sulfentrazone, carfentrazone). Ha sido utilizado en el control selectivo de malezas dicotiledóneas anuales en etapa de plántula, algunos pueden aplicarse al suelo (Barcellos et al., 2021). La enzima PROTOX es parte de la ruta de síntesis de la clorofila. Convierte aminolevulinato (ALA) en protoporfirina IX, precursor de la clorofila. Esta transformación ocurre mediante varias reacciones químicas en los cloroplastos (Corteva Agriscience, 2018).

El Saflufenacil es un herbicida de contacto que puede aplicarse en preemergencia para controlar las malezas de hoja ancha (Yin et al., 2023), los mejores resultados se obtienen con una dosis media 125g/ha-1 con una eficacia del 80%, el Saflufenacil es un producto que no causa daños significativos al suelo ni al cultivo cuando se aplica correctamente (Bourouhou & Badouna, 2023; Agazzi et al., 2019). El modo de acción de un herbicida es el conjunto de eventos que ocurren desde que el herbicida es absorbido por la planta hasta que se produce la fitotoxicidad, la sorción de los herbicidas depende de las características del tipo de molécula y las propiedades

Artículo científico: Determinación de la sorción en tres tipos de suelo y arena lavada, empleando diez dosis del Herbicida Saflufenacil

Publicación Semestral. Vol. 2, No. 2, julio-diciembre 2023, Ecuador (p. 20-36)

del suelo, es así que los suelos que presentan mayor capacidad de sorción son aquellos que presentan mayor contenido de compuestos minerales y la materia orgánica, la sorción del herbicida Saflufenacil depende principalmente del pH, la temperatura y la humedad del suelo (Agazzari et al., 2019). En general, la sorción de Saflufenacil es mayor en suelos con pH inferior a 6.0, temperatura entre 10°C y 40°C y humedad entre el 40% y el 60%. Los estudios demuestran que la lixiviación del Saflufenacil es menor en los suelos arcillosos que en los arenosos. Además, la presencia de materia orgánica en el suelo también puede aumentar la sorción del herbicida (Monqueiro et al., 2012).

El Saflufenacil es herbicida desarrollado por BASF para el control de malas hierbas de hoja ancha en maíz, soja y otros cultivos antes de la emergencia del cultivo. Estudios realizados en Canadá durante un período de tres años (2008, 2009 y 2010) para evaluar el potencial del Saflufenacil aplicado en preemergencia a varias dosis para el control de malas hierbas de hoja ancha en avena. (Soltani et al., 2012), también existen estudios desarrollados por (Pigatto et al., 2020) donde se aplicó Saflufenacil en el cultivo de arroz donde no afectó al fisiología del cultivo, contrario a la fitotoxicidad producida en el cultivo de café, donde los tratamientos fueron las sub dosis de Saflufenacil: 10, 20, 30 y 40% de la dosis comercial, se pudo estimar la fitotoxicidad del herbicida Saflufenacil utilizando los parámetros fisiológicos y biométricos mediante redes neuronales con eficiencia (Locatelli et al., 2021; Lopes et al., 2024).

Con fundamento en la temática abordada, no cabe ninguna duda acerca de la importancia de comprender el comportamiento del herbicida Saflufenacil en suelos tropicales, en este sentido, es necesario explorar si, el uso de diferentes dosis del herbicida Saflufenacil presenta efectos tóxicos en el bioindicador y provoca cambios significativos en la sorción en suelos tropicales durante la etapa de preemergencia (EMBRAPA, 2018; Locatelli et al., 2021). Consecuentemente se planteó un objetivo con el propósito de estudiar la razón de sorción (RS) en tres tipos de suelos típicos de Roraima de acuerdo con el sistema brasileño de clasificación de suelos (Si BCS) (Meena et al., 2023); Latossolo Amarelo Distrocoeso Típico (Suelo 1); Latossolo Vermelho Distrófico (Suelo 2); Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (Suelo 3), y un sustrato de referencia que fue arena lavada (AL), utilizando el herbicida Saflufenacil con diez diferentes dosis del herbicida evaluando su fitotoxicidad y materia seca para determinar la sorción en cada uno de los suelos y en la arena lavada (Vasconcellos, 1994; Yin & Zhang, 2023).

2. METODOLOGÍA

2.1 Lugar

La investigación se realizó en el invernadero del programa de posgrado en agronomía POSAGRO, del Centro de Ciencias Agrarias (CCA) de la Universidad Federal de Roraima - UFRR, en Boa Vista - Brasil, localizada en las coordenadas 2°52'17.1 "N 60°42'34.5 "O. El experimento, fue conducido bajo condiciones controladas de riego, temperatura y humedad en el invernadero para el manejo del crecimiento vegetal en relación con la variable fitotoxicidad y en laboratorio el manejo de la pérdida de materia seca, para el posterior cálculo de sorción.

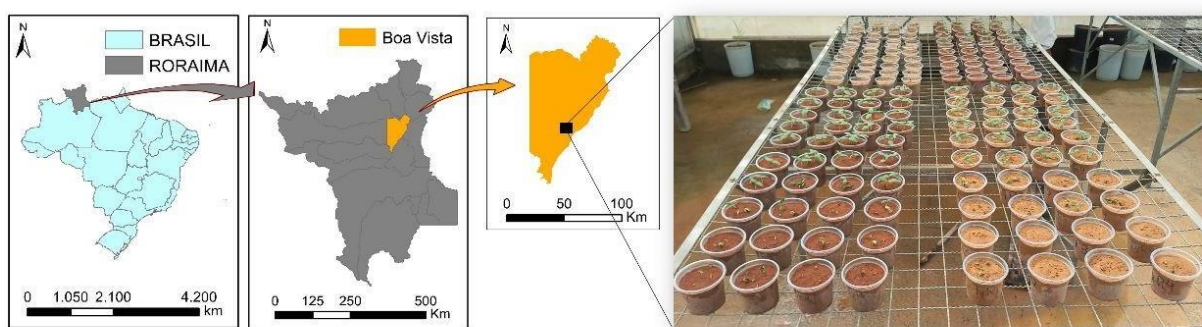


Figura 1. Lugar del experimento, POSAGRO – CCA

2.2 Tipo de suelos y muestras

Los tres perfiles de suelo seleccionados se clasificaron según el sistema brasileño de clasificación de suelos como: Latossolo Amarelo Distrocoeso Típico (Suelo 1); Latossolo Vermelho Distrófico (Suelo 2); Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (Suelo 3), (EMBRAPA, 2018). Cada tipo de sustrato para el experimento fue caracterizado, tratado después del secado a sombra y distribuido en partes iguales en el lugar experimental.

A partir de los atributos físicos y químicos de los suelos, Tabla 1 se calculó la cantidad de cal y la dosis utilizada para neutralizar el aluminio (Al^{+3}) del suelo, basándose en dos métodos tradicionales, a saber: neutralización de la acidez intercambiable (Vasconcellos et al., 1994).

Artículo científico: Determinación de la sorción en tres tipos de suelo y arena lavada, empleando diez dosis del Herbicida Saflufenacil

Publicación Semestral. Vol. 2, No. 2, julio-diciembre 2023, Ecuador (p. 20-36)

Tabla 1. Características fisicoquímicas de los tres tipos de suelo.

Solo	pH (H ₂ O)	pH (CaCl ₂)	Ca	Mg	Al	CTC _{pH7}	H+Al	V	K	P	P- Rem	M O
	Cmolc kg ⁻¹							%	mg kg ⁻¹		mg L ⁻¹	%
S1	4.83	3.95	0.24	0.08	0.68	2.65	2.3	13.2	12.0	0.9	35.3	0.53
S2	5.1	4.17	0.16	0.16	0.29	1.92	1.6	16.7	0.0	0.7	42.2	0.66
S3	4.89	4.02	0.15	0.08	0.29	1.34	1.1	17.9	2.0	0.7	47.8	0.26
	Arena	Limo	Arcilla	Clase Textural			Clasificación					
	%											
S1	64.7	7.9	27.4	Media			<i>Latossolo Amarelo Distrocoeso Típico</i>					
S2	71.55	8.6	19.85	Arenosa/media			<i>Latossolo Vermelho Distrófico</i>					
S3	82.5	4.8	12.7	Arenosa			<i>Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico</i>					

Nota. Laboratorio de Análisis de suelo. Tomado de (Universidad Federal de Viçosa, 2021).

Tabla 2. Dosis equivalentes de carbonato cálcico (CaCO₃) aplicadas por maceta para la corrección del pH del suelo.

Suelo	Dosis (kg ha ⁻¹)
Arena	000
S1	910
S2	434
S3	434

2.3 Corrección del pH de los suelos

Para las características presentadas de los suelos típicos de la sabana de Roraima, con la metodología de incubación fue adicionada carbonato de calcio y sellada en una bolsa plástica por 14 días para la corrección del pH en el suelo, con las dosis establecidas y calculadas para remover el Aluminio (Al⁺³).

2.4 Caracterización del experimento

Se utilizaron macetas de plástico transparente con una capacidad de 400 gramos, se distribuyeron 180 gramos tanto de tierra como de arena, se calculó el agua en función de la capacidad de retención de humedad para determinar la capacidad de campo, con el método de la estufa (Krzyzanowski et al., 1999).

2.5 Diseño y análisis estadístico

Para el cálculo de las variables fitotoxicidad y materia seca se utilizó un diseño estadístico DCA con cuatro repeticiones, con tres semillas de pepino (*Cucumis sativus*) por maceta y tomando las variables biométricas en escala visual y materia seca (mg) a los 15 días. Para el análisis estadístico se utilizó el software RStudio con el paquete AgroReg, (función Log. Logística de 4 parámetros (LL.4) y la función logística de 3 tres parámetros (L.3) (Shimizu & Goncalves, 2023).

Para el análisis de la materia seca del suelo 3 se empleó el modelo logístico del mismo paquete que fue la función que dio el mejor ajuste en la regresión no lineal (Shimizu & Goncalves, 2023).

Fórmula 1: Log. Función logística de 4 parámetros:

$$y = c + \frac{d - c}{1 + \exp(b(\log(x) - \log(e)))} \quad (1)$$

Fórmula 2: Función logística de 3 parámetros:

$$y = 0 + \frac{d}{1 + \exp(b(x - e))} \quad (2)$$

Al ejecutar la función LL.4 y LL.3, para cada sustrato se obtiene la ED50 utilizando los datos de las variables estudiadas, en este caso particular; fitotoxicidad y materia seca. Para el análisis de la relación de sorción (SR) se calculó con los datos de fitotoxicidad evaluados en arena y la ED50 con la fórmula utilizada por (GOMES, 2020).

Fórmula 3: Relación de sorción (RS):

$$RS = \frac{C_{50 \text{ solo}} - C_{50 \text{ arena}}}{C_{50 \text{ arena}}} \quad (3)$$

Artículo científico: Determinación de la sorción en tres tipos de suelo y arena lavada, empleando diez dosis del Herbicida Saflufenacil

Publicación Semestral. Vol. 2, No. 2, julio-diciembre 2023, Ecuador (p. 20-36)

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Fitotoxicidad y la materia seca

Al realizar en análisis mediante el modelo propuesto en la ecuación 1, determinamos que la variable fitotoxicidad se ajusta a la respuesta del bioindicador, pero la ED50 no expresa una dosis real posiblemente por encontrarse el sustrato en una maceta de volumen estático, así como la subjetiva por parte del investigador, el efecto del herbicida aparenta una eficacia del 50% con una baja dosis (0.82 g ha^{-1}), no en tanto la variable de materia seca se ajusta perfectamente a la realidad, debido a que el herbicida Saflufenacil en un evento de campo con la presencia de sustrato arenoso se necesitaría ciertamente mayores dosis (9.99 g ha^{-1}) para alcanzar la eficacia en el 50% del bioindicador, esto debido a la baja capacidad adsorptiva de la arena, así como la carencia de materia orgánica, arcilla, CTC y otras propiedades que juegan un rol importante en la sorción del herbicida Saflufenacil. Resultados se asemejan a estudio relatado utilizando el bioindicador (*Beta vulgaris*) y 8 tipo de suelos (AGAZZI, 2019). Al ejecutar la función (LL.4) y (LL.3), se obtienen los siguientes resultados:

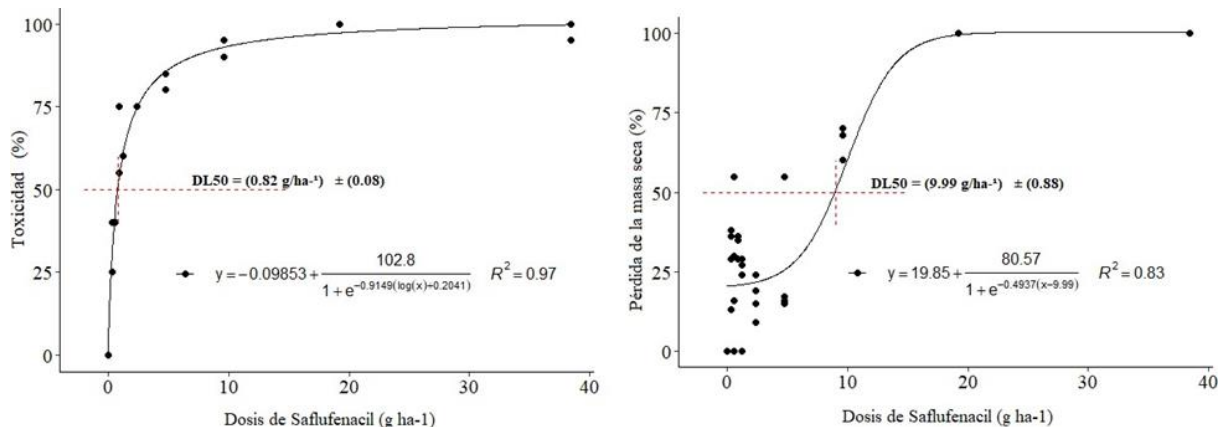


Figura 2. Efecto de la toxicidad y materia seca en 10 dosis de Saflufenacil en sustrato de arena.

Los resultados para la variable fitotoxicidad indican que: El coeficiente "b" (intercepción) tiene un valor estimado de -0.915 y es altamente significativo, lo que indica un efecto importante en el ajuste del modelo. De igual manera el intercepto "d" y "e" son significativos. Dado que este coeficiente corresponde a la ED50, indica que una dosis de 0.81534 g ha^{-1} es la cantidad necesaria para lograr que el efecto del herbicida en la fitotoxicidad sea la mitad del efecto

máximo alcanzado. Sin embargo, el intercepto "c" tiene un valor estimado no significativo estadísticamente, lo que sugiere que su contribución en el modelo puede no ser relevante.

Los resultados para la variable pérdida de materia seca indican que el intercepto "b" tiene un valor estimado de -0.494, pero no es significativo estadísticamente (valor t = -1.26). Pero los intercepto "c" tiene un valor estimado (19.847) altamente significativo, de igual manera el intercepto "d" y "e", lo que implica que tiene un efecto significativo en el ajuste del modelo.

Al ser la ED50, indica que una dosis de 9.990 g ha⁻¹ es la cantidad necesaria para lograr que el efecto del herbicida en la materia seca sea la mitad del efecto máximo alcanzado.

Para las 2 variables, se presentan también el RMSE y el número de grados de libertad del modelo (36), que son métricas utilizadas para evaluar la bondad del ajuste del modelo a los datos observados. Un valor menor de RMSE indica un mejor ajuste del modelo a los datos.

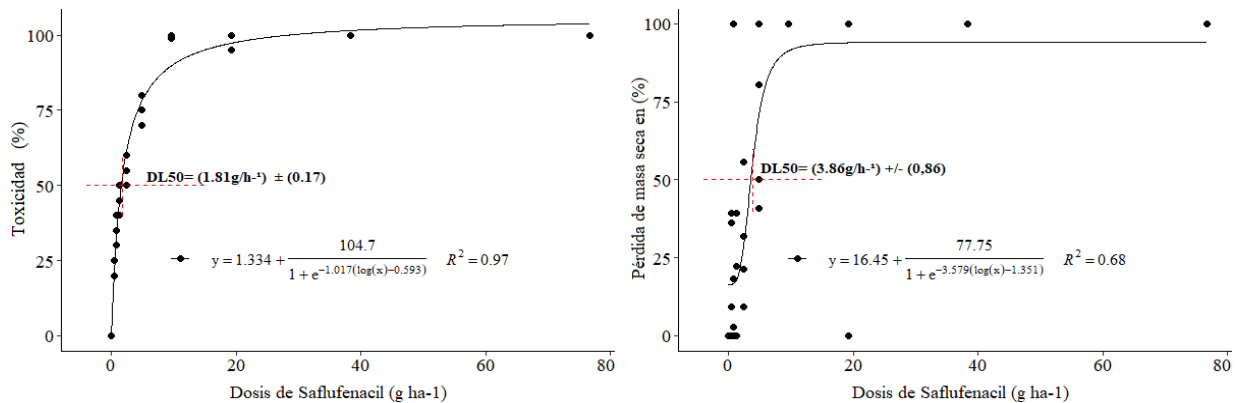
Tabla 3. Estimaciones de los parámetros de fitotoxicidad y materia seca en la arena.

Modelo de ajuste de la fitotoxicidad: Log-logístico (ED ₅₀) (4 parámetros)			
Estimación	Std. Error	valor t	valor p
b:(Intercepción)	-0.91488	0.087434	-104.637***
c:(Intercepción)	-0.0985	2,430.375	-0.0405
d:(Intercepción)	102,684	2,725.702	376.726***
e:(Intercepción)	0.81534	0.078745	103.543***
RMSE	4.67637		
Grados de libertad	36		
Error estándar residual	4.929329		
Modelo ajustado para materia seca: Log-logístico (ED ₅₀) (4 parámetros)			
b:(Intercepción)	-0.494	0.391	-1.26
c:(Intercepción)	19.847	5.068	3.92***
d:(Intercepción)	100.417	5.568	18.03***
e:(Intercepción)	9.990	0.878	11.38***
RMSE	14.03		
Grados de libertad	36		
Error estándar residual	14.79		

Artículo científico: Determinación de la sorción en tres tipos de suelo y arena lavada, empleando diez dosis del Herbicida Saflufenacil

Publicación Semestral. Vol. 2, No. 2, julio-diciembre 2023, Ecuador (p. 20-36)

La Tabla 3 presenta los resultados del efecto de 10 dosis de Saflufenacil en el Suelo 1. Se analizó la fitotoxicidad y la producción de materia seca como indicadores para evaluar los efectos del herbicida en este tipo de suelo. Las dos variables dependientes expresan un ajuste conforme las características observadas en el bioensayo el coeficiente de determinación (R^2) manifiesta la confiabilidad del experimento, la dosis eficaz (ED50) tanto para la fitotoxicidad ($1,81 \text{ g ha}^{-1}$) y materia seca ($3,86 \text{ g ha}^{-1}$), serán componente del estudio para determinar la sorción del herbicida Saflufenacil en este tipo de suelo. Resultados similares fueron obtenidos por



(GOMES, 2020), utilizando varios tipos de suelo y (*Beta vulgaris*) como bioindicador, estos hallazgos proporcionan información valiosa sobre los efectos del herbicida y contribuyen al conocimiento sobre su comportamiento en el suelo estudiado.

Figura 3. Efecto de la fitotoxicidad y de la materia seca en 10 dosis de Saflufenacil en el Suelo 1.

Para el modelo de la variable fitotoxicidad, el coeficiente "b" (intercepción) tiene un valor estimado de -1.016.771, con un error estándar de 0.083588. El valor t es -121.641, lo que indica un efecto altamente significativo. De igual manera el intercepto "c" y "e" son significativos. Además, se identifica como la ED50, con una dosis de $1.809363 \text{ g ha}^{-1}$ necesaria para lograr el 50% del efecto máximo. Pero el intercepto "c" tiene un valor estimado de 1.334.131, con un error estándar de 2.742.757. El valor t es 0.4864, lo que indica que no es significativo estadísticamente.

Para el modelo de materia seca el intercepto "b" (intercepción) tiene un valor estimado de -357.858, con un error estándar de 235.517. El valor t es -15.195, lo que indica un efecto significativo, de igual manera el intercepto "d" y "e" son altamente significativo. También, se

identifica como la ED50, con una dosis de 3.86321 g ha⁻¹ necesaria para lograr el 50% del efecto máximo.

El RMSE y el error estándar residual son métricas utilizadas para evaluar la calidad del ajuste del modelo a los datos observados. Un valor menor de RMSE indica un mejor ajuste.

Tabla 4. Estimaciones de los parámetros de fitotoxicidad y materia seca en el suelo 1

Modelo ajustado para fitotoxicidad: Log-logístico (ED ₅₀) (4 parámetros)			
Estimación	Std. Error	valor t	valor p
b: (Intercepción)	-1.016.771	0.083588	-121.641
c: (Intercepción)	1.334.131	2.742.757	0.4864
d: (Intercepción)	105.997.751	2.374.561	446.389
e: (Intercepción)	1.809363	0.172368	104.971
RMSE	5.167466		
Grados de libertad	36		
Error estándar residual			
Modelo ajustado para materia seca: Log-logístico (ED ₅₀) (4 parámetros)			
b:(Intercepción)	-357.858	235.517	-15.195
c:(Intercepción)	1.644.550	711.172	23.124*
d:(Intercepción)	9.419.973	687.949	136.928***
e:(Intercepción)	3.86321	0.86079	44.880***
RMSE	24.38288		
Grados de libertad	36		
Error estándar residual	25.70181		

En la Tabla 4 se muestra el impacto de diferentes dosis de Saflufenacil en el Suelo 2, evaluando la fitotoxicidad y la masa como indicadores. Estos resultados son relevantes para comprender los efectos del herbicida en este tipo de suelo. Las dos variables dependientes expresan un ajuste conforme las características observadas en el bioensayo el coeficiente de determinación (R²) manifiesta la confiabilidad del experimento, la dosis eficaz (ED50) tanto para la fitotoxicidad (093g ha⁻¹) y materia seca (1.8 g ha⁻¹), serán componente del estudio para determinar la sorción del herbicida Saflufenacil en este tipo de suelo. En un estudio con el

Artículo científico: Determinación de la sorción en tres tipos de suelo y arena lavada, empleando diez dosis del Herbicida Saflufenacil

herbicida sulfometuron-methyl se determinó que el tipo de suelo independientemente de sus características fisicoquímicas tuvo influencia directa en la sorción del herbicida, demostrando así la importancia de estudiar el comportamiento del herbicida Saflufenacil en suelos tropicales (DA SILVA et al., 2022).

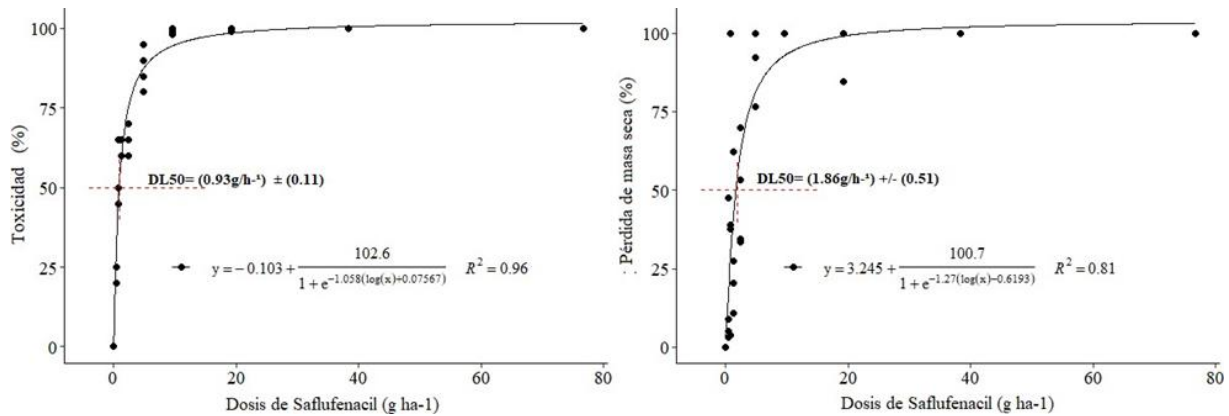


Figura 4. Efecto de fitotoxicidad y masa en 10 dosis de Saflufenacil en el Suelo 2.

Para el modelo de la variable fitotoxicidad el coeficiente "b" (intercepción) tiene un valor estimado de -105.786, con un error estándar de 0.12000. El valor t es -88.16, lo que indica un efecto altamente significativo en el ajuste del modelo; de la misma forma, el coeficiente "d" y "e". Además, se identifica como la ED50, con una dosis de 0.92713 g ha⁻¹ necesaria para lograr el 50% del efecto máximo. Pero el intercepto "c" tiene un valor estimado de -0.10305, con un error estándar de 345.183. El valor t es -0.0299, lo que indica que su contribución en el modelo puede no ser relevante y no es significativo estadísticamente.

Para el modelo de la variable pérdida de la materia seca el intercepto "b" tiene un valor estimado de -126.993, con un error estándar de 0.37925. El valor t es -33.485, lo que indica un efecto altamente significativo en el ajuste del modelo; de la misma manera, el coeficiente "d" y "e". Pero el intercepto "c" no contribuye en el modelo; es decir, puede no ser relevante y no es significativo estadísticamente. El RMSE y el error estándar residual son métricas utilizadas para evaluar la calidad del ajuste del modelo a los datos observados. Un valor menor de RMSE indica un mejor ajuste.

Tabla 5. Estimaciones de los parámetros de fitotoxicidad en el suelo 2

Modelo ajustado para fitotoxicidad: Log-logístico (ED ₅₀) (4 parámetros)			
Estimación	Std. Error	valor t	valor p
b:(Intercepción)	-105.786	0.12000	-88.159***
c:(Intercepción)	-0.10305	345.183	-0.0299
d:(Intercepción)	10.250.557	262.024	391.206***
e:(Intercepción)	0.92713	0.10560	87.794***
RMSE	6.7022456		
Grados de libertad	36		
Error estándar residual	7.064787		
Modelo ajustado para la masa seca: Log-logístico (ED ₅₀) (4 parámetros)			
b:(Intercepción)	-126.993	0.37925	-33.485**
c:(Intercepción)	324.540	979.277	0.3314
d:(Intercepción)	10.399.208	636.111	163.481***
e:(Intercepción)	1.85766	0.51475	36.088***
RMSE	18.3717		
Grados de libertad	36		
Error estándar residual	17.428923		

Al estudiar la variable fitotoxicidad del Saflufenacil en el suelo 3, utilizando la fórmula 1 propuesta para este estudio, de igual forma que los sustratos anteriores, refleja el desempeño ocurrido en el experimento la ED₅₀ (1,57g ha⁻¹) y el alto porcentaje del R² (96%) confiere alta confianza en el manejo del bioensayo, ya para la variable de materia seca, mediante la fórmula 1 no fue posible determinar la ED₅₀ por lo que se ajustó mediante la fórmula 2 propuesta para este estudio (log logistic de 3 parámetros) consiguiendo un ajuste altamente confiable; R² = 70% y una ED₅₀ = 6,75g ha⁻¹. Cada tipo de suelo expresa su comportamiento en cuanto a la sorción del herbicida Saflufenacil, así fue evidenciado en un estudio utilizando dos tipos de suelo y cinco concentraciones, utilizando espectrofotometría para determinar la sorción, encontrando diferencias notables, corroborando la relación de la sorción de este herbicida y el tipo de suelo (MATALLO et al., 2014).

Artículo científico: Determinación de la sorción en tres tipos de suelo y arena lavada, empleando diez dosis del Herbicida Saflufenacil

Publicación Semestral. Vol. 2, No. 2, julio-diciembre 2023, Ecuador (p. 20-36)

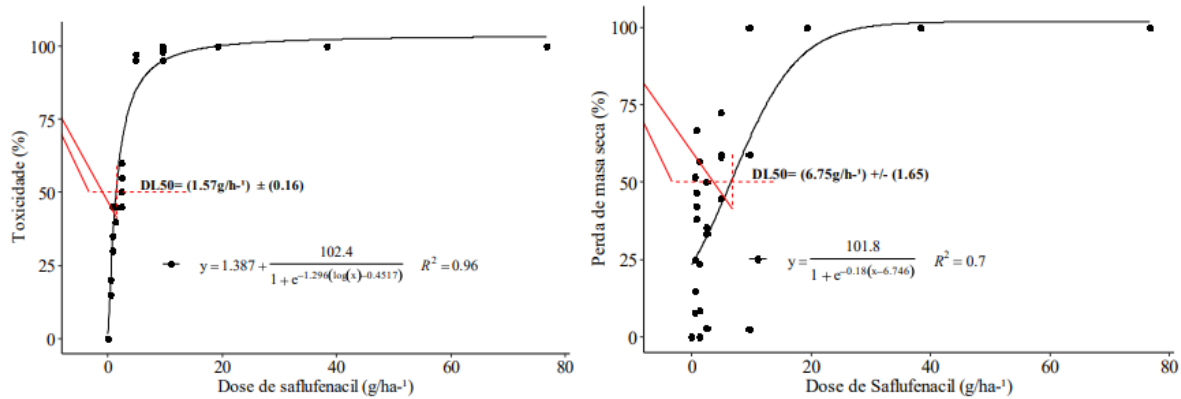


Figura 5. Efecto de la toxicidad y de la materia seca en 10 dosis de Saflufenacil en el suelo 3.

Para el modelo de la variable fitotoxicidad el coeficiente "b" (intercepción) tiene un valor estimado de -1.296, con un error estándar de 0.139. El valor t es -9.34, lo que indica un efecto altamente significativo en el ajuste del modelo, al igual que los intercepto "e" y "d" Además, se identifica como la ED50, con una dosis de 1.571 g/ha⁻¹ necesaria para lograr el 50% del efecto máximo.

En este contexto, los resultados serían los siguientes, intercepto "b" tiene un valor estimado de -0.180031, con un error estándar de 0.045308. El valor t es -39.735, lo que indica un efecto altamente significativo en el ajuste del modelo. Este coeficiente representa el efecto mínimo alcanzado en la materia seca. El intercepto "c" y "d" es altamente significativo en el ajuste del modelo. En este caso, como "d" se considera la ED50, significa que una dosis de 6.745686 g/ha⁻¹ es la cantidad necesaria para lograr que el efecto del herbicida en la materia seca sea la mitad del efecto máximo alcanzado. El RMSE y el error estándar residual son métricas utilizadas para evaluar la calidad del ajuste del modelo a los datos observados. El RMSE es una medida de la precisión del modelo, y un valor más bajo indica un mejor ajuste. El error estándar residual es una medida de la dispersión de los datos alrededor de la línea de regresión.

Tabla 6. Estimaciones de los parámetros de fitotoxicidad en el suelo 3

Modelo ajustado para fitotoxicidad: Log-logístico (ED ₅₀) (4 parámetros)			
Estimación	Std. Error	valor t	valor p
b: (Intercepción)	-1.296	0.139	-9.34***
c: (Intercepción)	1.387	3.722	0.37
d: (Intercepción)	103.788	2.427	42.77***
e: (Intercepción)	1.571	0.164	9.57***
RMSE	7.05		

Grados de libertad	36		
Error estándar residual	7.4		
Modelo ajustado para masa seca: Log-logístico (ED ₅₀) (3 parámetros)			
b: (Intercepción)	-0.180031	0.045	-39.735***
c: (Intercepción)	101.774.387	7190.619	141.538***
d: (Intercepción)	6.745686	1.644.958	41.008***
RMSE	20.43925		
Grados de libertad	36		
Error estándar residual	21.25172		

3.2 Relación de sorción

La relación de sorción (RS) de los herbicidas en el suelo se calculó con los valores obtenidos del C50 tanto del suelo como de la arena. A mayores valores de RS, mayor capacidad de sorción del herbicida estudiado en el suelo y, probablemente, menor potencial de lixiviación del compuesto en el perfil de este sustrato (GOMES, 2020).

Tabla 7. Relación de sorción (RS) de las variables fitotoxicidad y pérdida de masa seca

SUSTRATO	ED ₅₀ (TOX)	RS (TOX)	ED ₅₀ (MS)	RS(MS)
ARENA	0.82	0.0	9.99	0.0
SUELO 1	1.81	1.207	3.86	-0.614
SUELO 2	0.93	0.134	1.86	-0.814
SUELO 3	1.57	0.915	6.75	-0.324

ED₅₀ (TOX) dosis-respuesta con ajustes para la variable fitotoxicidad, ED₅₀ (MS) dosis-respuesta con ajustes para la variable pérdida de masa seca.

La determinación de la relación de sorción C50 y RS permite comprender mejor cómo se retiene un herbicida en el suelo. Se sabe que la sorción es uno de los procesos más importantes para predecir el movimiento de los herbicidas en el suelo, su tasa de degradación y su eficacia en el control de las malas hierbas (GOMES, 2020).

Artículo científico: Determinación de la sorción en tres tipos de suelo y arena lavada, empleando diez dosis del Herbicida Saflufenacil

Publicación Semestral. Vol. 2, No. 2, julio-diciembre 2023, Ecuador (p. 20-36)

4. CONCLUSIÓN

La razón de sorción, estudiando las variables fitotoxicidad (%) y materia seca (mg), manifiestan alta diferencia dependiendo del tipo de sustrato y las características físico-químicas, tanto del suelo y la arena, el Suelo 2 demostró poca capacidad de razón de sorción para retener la molécula del herbicida Saflufenacil, influenciado probablemente por la CTC del suelo y contenido de arena, por el contrario demostró una alta eficacia (ED50) para alcanzar el daño sobre el 50% de las plantas de pepino, en relación a los otros tipos de suelo, esto posiblemente debido al contenido superior de materia orgánica, pH superior a 5 y el porcentaje de arcilla.

El suelo 1 y el suelo 3 en cuanto a la relación de sorción (RS) demostraron una aparente capacidad de retención del herbicida Saflufenacil, que probablemente esté siendo influenciada por el pH del sustrato, la CTC y porcentaje de arcilla de estos suelos.

5. REFERENCIAS

- AGAZZI, L. R. (2019). *Sorção e lixiviação do saflufenacil em latossolos com. DIFERENTES ATRIBUTOS*. En Carbohydrate Polymers (Vol. 6, Número 1). <http://locus.ufv.br/handle/123456789/26009>
- Agazzi, L. R., Pereira, G. A. M., da Silva, E. M. G., Piratoba, A. R. A., Paulo, S. Ã., & da Silva, A. A. (2019). EspÃcies indicadoras de resíduos de saflufenacil em solos. *Revista Brasileira de Herbicidas*, 18(2), 653-1. file:///C:/Users/Usuario_2/Downloads/653-3105-1-PB.pdf
- Barcellos Júnior, L. H., Pereira, G. A. M., da Conceição de Matos, C., Souza, P. S. R., Agazzi, L. R., da Silva, E. M. G., & da Silva, A. A. (2021). Influence of organic matter in sorption of the saflufenacil in ferralsols. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 107, 263-268. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00128-020-02800-5>
- Bourouhou, M., & Badouna, B. E. (2023). Effect of a herbicide (floramix) on the development of main weeds and on the yield parameters of wheat, *Triticum durum* desf. Cv vitron. *Acta Ecologica Sinica*, 43(6), 1001-1006. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2023.02.004>
- Corteva Agriscience. (2018). Manejo de plantas daninhas. *En Divisão Agrícola da DowDuPont*. https://www.corteva.com.br/content/dam/dpagco/corteva/la/br/pt/bpa-site/ebooks/pdfs/Ebook_MPD_Manejo_de_Plantas_Daninhas_Mecanismos_de_acao_de_herbicidas.pdf
- DA SILVA, C. C., DE ALMEIDA, A. H. B., DE FREITAS, D. V., DA SILVA, F. D., Das Chagas, P. S. F., & Silva, D. V. (2022). Sorption, Desorption, Half-Life and Leaching of Sulfometuron-Methyl in Different Soil Classes I. *Revista Caatinga*, 35(3), 557-566. <https://doi.org/10.1590/1983-21252022v35n306rc>
- EMBRAPA. (2018). Sistema brasileiro de classificação de solos. *En Embrapa Solos*. <https://www.agroapi.cnptia.embrapa.br/portal/assets/docs/SiBCS-2018-ISBN-9788570358004.pdf>
- Garibaldi, L. A., Goldenberg, M. G., Burian, A., Santibañez, F., Satorre, E. H., Martini, G. D., & Seppelt, R. (2023). Smaller agricultural fields, more edges, and natural habitats reduce herbicide-resistant weeds. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 342, 108260. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108260>
- GOMES, D. S. E. M. G. (2020). *Sorção e persistência do 2,4-d em horizontes de um. ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO. En Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa* (Vol. 8, Número 75). <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/28942/1/texto%20completo.pdf>

- Jiao, Q., Mu, Y., Deng, J., Yao, X., Zhao, X., Liu, X., Li, X., Jiang, X., & Zhang, F. (2022). Direct toxicity of the herbicide florasulam against *Chlorella vulgaris*: An integrated physiological and metabolomic analysis. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 246, 114135. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.114135>
- Krzyzanowski, F. C., Vieira, R. D., & Franca-Neto, J. de B. (1999). *VIGOR DE SEMENTES: CONCEITOS E TESTES*. En F. C. Krzyzanowski, R. D. Vieira, & J. de B. Franca-Neto (Eds.), Associação Brasileira de Tecnologia de Sementes—ABRATES (Vol. 1). Associação Brasileira de Tecnologia de Sementes. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/446594/1/Vigordesementes.pdf>
- Locatelli, T., de Jesus Freitas, I. L., de Paiva Freitas, S., da Vitória, E. L., Batista, A. G., & Locatelli, T. P. (2021). Redes neurais artificiais para estimativa da fitotoxidez de Saflufenacil em mudas de Café Conilon. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 14(4), 1-13. DOI:10.17765/2176-9168.2021v14n4e9032
- Lopes, J. R. A., Mendonça, Z. L. L., da Silva, J. P. S., Amaral, A., & Netto, A. M. (2024). Enhancing herbicide adsorption in low-fertility soil using sugarcane biochar: Insights from Imazapic dynamics. *Journal of Contaminant Hydrology*, 104412. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2024.104412>
- Matallo, M. B., Franco, D. A. S., Almeida, S. D. B., & Cerdeira, A. L. (2014). Sorption and desorption of Suflafenacil in two soils in the state of São Paulo with different physical and chemical attributes. *Planta Daninha*, 32, 393-399. <https://www.scielo.br/j/pd/a/fdDg4m4rnwrpwwzNWzHynxpq/?format=pdf&lang=en>
- Meena, S. D., Susank, M., Guttula, T., Chandana, S. H., & Sheela, J. (2023). Crop Yield Improvement with Weeds, Pest and Disease Detection. *Procedia Computer Science*, 218, 2369-2382. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.01.212>
- Monqueiro, P. A., Sabbag, R., Orzari, I., Hijano, N., Galvani Filho, M., Dallacosta, V., & Hirata, A. S. (2012). *Lixiviação de saflufenacil e residual após períodos de seca Saflufenacil and residual leaching after drought periods*. <https://www.scielo.br/j/pd/a/Z73zZTZdV3gWJnpcGHnMvTb/#>
- Pigatto, C. S., Tarouco, C. P., Nicoloso, F. T., Berghetti, Á. L. P., Leães, G. P., Werle, I. S., & Ulguim, A. da R. (2020). Barnyardgrass control using tank-mixed herbicides with saflufenacil and its influence in photosynthesis and chlorophyll fluorescence. *Ciencia Rural*, 50(7), 1-9. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20190919>
- Shimizu, G. D., & Gonçalves, L. S. A. (2023). AgroReg: Main regression models in agricultural sciences implemented as an R Package. *Scientia Agricola*, 80, e20220041. <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2022-0041>
- Soltani, N., Shropshire, C., & Sikkema, P. H. (2012). Weed control and sensitivity of oats (*Avena sativa*) with various doses of saflufenacil. *Crop Protection*, 31(1), 45-49. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.08.016>
- Vargas, L., Henckes, J. R., Gava, F., Agostinetto, D., Carvalho, I. R., Ramos, R., & Rodrigues, R. (2019). Rapid detection of horseweed and black picker sensitivity levels to saflufenacil. *Planta Daninha*, 37, 1-7. <https://doi.org/10.1590/s0100-83582019370100022>
- Vasconcellos, C. A., Santana, D. P., & Ferreira, L. (1994). Métodos de determinação da necessidade de calagem e características físico-químicas de alguns solos de Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 29(8), 1253-1263. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/474563/1/Metodos-determinacao.pdf>
- Yin, K., Wu, H., & Zhang, Y. (2023). Efficient and Practical Synthesis of Saflufenacil. *Organic Preparations and Procedures International*, 55(5), 452-457. <https://doi.org/10.1080/00304948.2023.2182177>

Artículo científico: Determinación de la sorción en tres tipos de suelo y arena lavada, empleando diez dosis del Herbicida Saflufenacil

Publicación Semestral. Vol. 2, No. 2, julio-diciembre 2023, Ecuador (p. 20-36)