

LIBERACIÓN DEL HERBICIDA SULFENTRAZONE EM RASTREJO MEDIANTE LÁMINAS DE AGUA

Ilca Puertas de Freitas e Silva¹, Caio Antonio Carbonari², Edivaldo Domingues Velini³, Josué Ferreira Silva Junior⁴, Leandro Tropaldi⁵, Rosilaine Araldi de Castro⁶

RESUMEN: Para que el cultivo tenga un desarrollo inicial y se establezca adecuadamente en el campo, es esencial que el área cultivada esté libre de malezas. Para ello, se puede realizar el manejo de desecación de las plantas de cobertura utilizando la asociación de un herbicida de acción sistémica, como el glifosato, junto con un herbicida con efecto residual, como el sulfentrazone. Para que el control de malezas sea efectuado por este herbicida, es indispensable la presencia de láminas de agua para que ocurra la disolución y liberación del producto de la capa de residuos vegetales, el rastrojo, llegue al suelo y controle los nuevos flujos de emergencia de malezas. El objetivo de este proyecto es cuantificar la presencia del herbicida sulfentrazone después de la aplicación de láminas de agua sobre diferentes rastrojos. El experimento se desarrolló en un invernadero, con un diseño completamente aleatorizado con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Se utilizaron tres plantas de cobertura: sorgo (*Sorghum bicolor*), mijo (*Pennisetum glaucum*) y braquiaria (*Urochloa brizantha*), las cuales recibieron los manejos de desecación: secuencial, con la aplicación del sulfentrazone siete días después de la aplicación del glifosato, y en mezcla, con la asociación del glifosato más sulfentrazone. Después de siete días de la desecación, se recolectó la parte aérea de las plantas de cobertura, obteniendo los rastrojos, se acomodaron en arcos plásticos y se realizaron las aplicaciones de las láminas de agua, 40 mm y 60 mm, con un intervalo de siete días. Las soluciones recolectadas de los arcos fueron analizadas en un cromatógrafo líquido acoplado al espectrómetro de masas. Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza y las medias

¹Profa. Dra. em Agronomia (Agricultura), Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Iturama, Minas Gerais, ilca.silva@uftm.edu.br

²Prof. Dr. em Agronomia (Proteção de Plantas), Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, São Paulo, carbonari@fca.unesp.br

³Prof. Dr. em Produção Vegetal, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, São Paulo, edivaldo.velini@unesp.br

⁴Prof. Dr. em Agronomia (Irrigação e Drenagem), Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Iturama, Minas Gerais, josue.junior@uftm.edu.br

⁵Prof. Dr. em Agronomia (Proteção de Plantas), Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Dracena, São Paulo, l.tropaldi@unesp.br

⁶Dra. em Agronomia (Agricultura), AGROQUATRO-S Experimentação e consultoria Agrônômica aplicada, Orlandia, São Paulo, rosilainearaldi@hotmail.com

comparadas mediante la prueba de Tukey al cinco por ciento. La cantidad máxima removida de sulfentrazone fue significativa para los rastrojos de sorgo y mijo en función de la lámina de agua. Para el rastrojo de braquiaria, ocurrió significancia en función de la lámina y el manejo de desecación.

PALABRAS CLAVE: Dinámica ambiental, desecación, siembra directa.

HERBICIDE SULFENTRAZONE RELEASE IN STRAW BY AMOUNT WATER

ABSTRACT: For the crop to have initial development and establishment itself properly in the field, it is essential that the cultivated area is free of weeds. To this end, desiccation management of cover crops can be carried out using the association of a systemic herbicide, such as glyphosate, together with a herbicide with a residual effect, such as sulfentrazone. For weed control to be carried out by this herbicide, the presence amount water is essential so that the product dissolves and releases from the layer of plant residue, the straw, to reach the soil and control the new emergence flows of weeds. The objective of this project is to quantify the presence of the herbicide sulfentrazone after amount water on different straws. The experiment was carried out in a greenhouse, with a completely randomized design with five treatments and four replications. Three cover crops were used, sorghum (*Sorghum bicolor*), millet (*Pennisetum glaucum*) and brachiaria (*Urochloa brizantha*), which receive desiccation management: sequentially, with the application of sulfentrazone seven days after application of glyphosate, and in a mixture, with the combination of glyphosate and sulfentrazone. After seven days of desiccation, the aerial part of the cover plants was collected, obtaining the straws, placing them in plastic arches and applying amount water, 40 mm and 60 mm, with an interval of seven days. The solutions collected from the arcs were analyzed using a liquid chromatograph couple to eh mass spectrum. The data were subjected to analysis of variance and the means compared using the five percent Tukey test. The maximum amount of sulfentrazone removed was significant for sorghum and millet straws depending on the amount water. The brachiaria straw, there was significance due to the amount water and desiccation management.

KEYWORDS: Environmental dynamics, desiccation, no-tillage.

INTRODUCCIÓN

En el Sistema de Siembra Directa (SSD) no hay remoción del suelo, por eso, se considera un manejo conservacionista, siendo una práctica agrícola de aplicabilidad mundial (PASSOS et al., 2018), en Brasil, alcanza más de 33 millones de hectáreas del área agrícola (FEBRAPDP, 2022). Para ser considerado SSD, debe haber, continuamente, la presencia de rastrojo en la superficie del suelo, el cual se origina a partir de restos vegetales de plantas de cobertura preexistentes, de este modo, debe ocurrir la mínima remoción del suelo, siendo solo en la línea de siembra, lo que define como prácticas conservacionistas del suelo y del agua (ADAMS 2016).

Para la formación del rastrojo, las gramíneas, como el mijo, braquiaria y sorgo, son cultivos con alta relación C/N, lo que las hace eficientes en la formación y mantenimiento de biomasa (FRANCHINI et al., 2016). En sistemas agrícolas, el rastrojo ejerce una función de supresión de malezas, creando un ambiente desfavorable en el proceso de germinación del banco de semillas presente en el suelo, al funcionar como una barrera física que impide que la luz solar alcance el suelo, inhibiendo el proceso germinativo de semillas fotoblásticas positivas. Con la presencia del rastrojo, ocurre una menor amplitud térmica del suelo, siendo otro factor que perjudica el proceso germinativo (ALVARENGA et al., 2018).

Las malezas tienen la agresividad como una de las principales características ecofisiológicas, de este modo, algunas especies se han adaptado al SSD, como *Digitaria insularis*, *Amaranthus hybridus*, *Bidens pilosa*, *Sorghum halepenses* y *Cyperus rotundus* (CAVALIERI et al., 2027). Una de las estrategias para controlarlas es en el manejo de desecación de las plantas de cobertura para la formación del rastrojo.

El control de las malezas, en el momento de la desecación de las plantas de cobertura, promueve un ambiente favorable para el desarrollo inicial del cultivo, libre de la interferencia de las malezas (SILVA et al., 2019). Existen diferentes formas de manejo de desecación, como la desecación en pre-siembra, en la que la primera pulverización se realiza aproximadamente 20 días antes de la siembra del cultivo y la segunda, alrededor de 10 días antes de la siembra. Otra posibilidad es realizar una aplicación entre 10 y 5 días antes de la siembra o hacer la aplicación inmediatamente antes de la siembra, en el sistema "aplique-plante" (FREITAS E SILVA, 2016).

Para el manejo de desecación de las plantas de cobertura se utilizan herbicidas sistémicos, como el glifosato (SILVA et al., 2020). También se pueden usar herbicidas

preemergentes con acción residual en el suelo (ALBRECHT et al., 2020), como el sulfentrazone, cuyo mecanismo de acción está relacionado con la inhibición de la biosíntesis de clorofila, bloqueando la fotosíntesis (RODRIGUES; ALMEIDA, 2018). Para que los herbicidas preemergentes ejerzan su función, es necesario que lleguen al suelo, donde se encuentran las semillas de las malezas (SILVA et al., 2020). Siendo el herbicida sulfentrazone, el control de las malezas ocurre por la interferencia en la síntesis de clorofila en las plántulas en fase de germinación (RODRIGUES; ALMEIDA, 2018).

En las pulverizaciones para la formación de rastrojo, el herbicida debe ser transportado al suelo (MATOS et al., 2016), para ello, es indispensable la presencia de láminas de agua después de la aplicación para que el herbicida sea liberado del rastrojo y llegue al suelo (SANTOS, 2019). El transporte del herbicida es influenciado por el intervalo entre la aplicación y la ocurrencia de la primera lámina de agua, ya que cuanto mayor es la permanencia del herbicida en el rastrojo, resulta en reducciones en las cantidades liberadas al suelo (MATOS, 2018; CLARK et al., 2019). De esta forma, la presencia de lámina de agua en el sistema es indispensable en el proceso de disponibilización del herbicida al suelo depositado sobre el rastrojo (MUNDT, 2021).

Para facilitar el proceso de liberación del herbicida del rastrojo al suelo, la molécula debe presentar alta solubilidad en agua (MATOS et al., 2016). De esta forma, el sulfentrazone es un herbicida clasificado con alta solubilidad (SHANNER, 2014). Además de la necesidad de láminas de agua para que ocurra la movilización del herbicida, la presencia de agua en el suelo mantiene la molécula del herbicida activa por tiempo suficiente para controlar las malezas, favoreciendo la eficacia del control (MATTE, 2017).

Ante lo expuesto, es de fundamental importancia el entendimiento de la interacción entre láminas de agua y liberación de herbicidas preemergentes con diferentes rastrojos utilizados en SSD. Por lo tanto, el objetivo de este proyecto es cuantificar la liberación del herbicida sulfentrazone después de la aplicación de láminas de agua sobre diferentes rastrojos.

MATERIAL Y MÉTODOS

La investigación fue desarrollada en un invernadero en el NUPAM (Núcleo de Investigaciones Avanzadas en Matología), perteneciente al departamento de Producción Vegetal de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad Estatal Paulista (UNESP), Campus de Botucatu/SP.

El experimento fue dispuesto en un diseño completamente aleatorizado con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Se utilizaron tres plantas de cobertura: sorgo (*Sorghum bicolor*), mijo (*Pennisetum glaucum*) y braquiaria (*Urochloa brizantha*), las cuales recibieron los manejos de desecación: secuencial, con la aplicación del sulfentrazone siete días después de la aplicación del glifosato, y en mezcla, con la asociación del glifosato más sulfentrazone. La dosis aplicada de glifosato fue de 1440 g e.a. ha⁻¹ y de sulfentrazone fue 600 g i.a. ha⁻¹. Las pulverizaciones se realizaron con una temperatura promedio de 22° C y una humedad relativa promedio del 65%.

Para la pulverización de los herbicidas y la aplicación de las láminas de agua se utilizó un equipo instalado en el laboratorio del NUPAM. En la aplicación de las láminas de agua, se utilizó una bomba hidráulica de presión constante y accionamiento automático, la cual bombea agua de un reservorio con capacidad de 1.000 L hasta la barra de aplicación, la cual se encuentra a 1,45 m de altura en relación a la superficie de las unidades experimentales, conteniendo 3 boquillas espaciadas 0,5 m y posicionadas de forma que proporcionen mayor uniformidad en el área aplicada. Cada lámina de agua aplicada correspondió a aproximadamente 2,5 mm.

Para las pulverizaciones de los herbicidas, se utilizó una barra de pulverización constituida por cuatro boquillas de pulverización XR 11002 VS, espaciadas de 0,5 m y posicionadas a 0,5 m de altura en relación a las plantas. El sistema fue operado con una velocidad de desplazamiento de 1 m s⁻¹, lo que corresponde a 45,0 Hertz en el modulador de frecuencia, con un consumo de caldo correspondiente a 200 L ha⁻¹. La aplicación de la lámina de agua se realizó siete días después de los manejos de desecación. Las tres especies de plantas de cobertura fueron sembradas en macetas con capacidad de cinco litros, llenas con una mezcla de sustrato y suelo, en una proporción de 1:1, siendo que el suelo fue corregido previamente según el análisis químico. Las plantas fueron conducidas en la maceta durante 40 días.

Después de siete días de las pulverizaciones correspondientes a los manejos de desecación, se recolectó la parte aérea de las plantas de cobertura, obteniendo los rastrojos, los cuales fueron pesados y acomodados en arcos de PVC con un área de 710 cm², con malla en la parte inferior. Luego, se aplicó la primera lámina de agua de 40 mm, después de siete días, se realizó la segunda lámina de agua de 60 mm, totalizando 100 mm. Al final de cada aplicación de lámina de agua, se midió el volumen transportado de cada arco y se recolectaron 10 ml de estas soluciones extraídas en tubos Falcon con capacidad para 15 ml, las cuales fueron analizadas en un cromatógrafo líquido acoplado al espectrómetro de masas

(LC-MS/MS). Para analizar las soluciones de los herbicidas y las soluciones extraídas en el LC-MS/MS, las muestras de estas fueron diluidas dos veces y las de aquellas, diluidas 100.000 veces. Después, se filtraron 2 ml de cada muestra en un filtro Milipore de 0,2 μm .

Todos los datos fueron sometidos a la prueba de normalidad, cuando fue necesario, se transformaron para seguir los supuestos del análisis de varianza, en el cual se utilizó el programa Assistat. Posteriormente, los resultados fueron sometidos al análisis de varianza mediante la prueba F al 5% de probabilidad, siendo las medias comparadas entre sí mediante la prueba de Tukey al 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La cantidad máxima removida del herbicida sulfentrazone después de las láminas de agua acumuladas de 40 y 60 mm sobre los rastrojos desecados con pulverizaciones en mezcla y secuencial al glifosato mostró ser significativa para los rastrojos de sorgo y mijo en función de la lámina de agua. Para el rastrojo de braquiaria, la significancia se dio en función de la lámina de agua y del manejo de desecación (Tabla 1).

Tabla 1. Resumen del análisis de varianza para la cantidad máxima removida del herbicida sulfentrazone (ng cm^{-2}) después de lluvias de 40 mm y 60 mm en función del manejo de desecación sobre rastrojo de sorgo, mijo y braquiaria.

Factor de variación	GL	CM
		40 e 60 mm^1
Sorgo	1	3,3894*
Lámina de agua (A)	1	0,0394 ^{ns}
Manejo de desecación (B)	1	0,0275 ^{ns}
Interacción (A x B)	1	0,0087
Error	12	4,72
C.V (%)		
Mijo		
Lámina de agua (A)	1	2,1341*
Manejo de desecación (B)	1	0,0461 ^{ns}
Interacción (A x B)	1	0,0131 ^{ns}
Error	12	0,0147
C.V (%)		5,37
Braquiária		
Lámina de agua (A)	1	1,0053*
Manejo de desecación (B)	1	0,3369*
Interacción (A x B)	1	0,2890*
Error	12	0,0565
C.V (%)		10,61

*y ns, respectivamente, significativo y no significativo según la prueba F con um 5% de error. 1 datos transformados en $\log(X)$

Para todos los tipos de rastrojo, la mayor cantidad del herbicida sulfentrazone fue liberada con la lámina de agua de 40 mm debido a que fue la primera lámina de agua y la cantidad fue suficiente para liberar la mayor parte del herbicida. El manejo secuencial al glifosato liberó más con la lámina de 40 mm, 86, 78 y 37 % respectivamente para el rastrojo de sorgo, mijo y braquiaria. El manejo en mezcla promovió una mayor liberación del herbicida con la lámina de 40 mm, 90, 84 y 81 % respectivamente para el rastrojo de sorgo, mijo y braquiaria (Figura 1 A, B y C).

El total del herbicida sulfentrazone liberado de los rastrojos fue mayor en 11% para sorgo y mijo y 32% para braquiaria cuando se utilizó el manejo secuencial al glifosato en comparación con el manejo en mezcla (Figura 1 A, B y C). Según Simoni et al. (2006), el herbicida sulfentrazone (800 g i.a. ha⁻¹) pulverizado sobre rastrojo de caña de azúcar, con una aplicación de lámina de agua de 10 mm, no fue suficiente para que ocurriera la liberación de la molécula, sin embargo, la lámina de 20 mm fue capaz de transportar el herbicida al suelo.

La cantidad máxima extraída del herbicida sulfentrazone con la lámina total de 100 mm presentó significancia en función de los tipos de rastrojo (sorgo, mijo y braquiaria) (Tabla 2). Apesar de que el manejo de desecación no indicó diferencia significativa en la cantidad máxima extraída del herbicida sulfentrazone con 100 mm de lluvia, el manejo secuencial mostró un 19% más de liberación en comparación con el manejo en mezcla (Figura 2A). En función de los tipos de rastrojo, la mayor liberación del herbicida sulfentrazone con la lámina de 100 mm fue para el rastrojo de mijo, no difiriendo significativamente del rastrojo de braquiaria, siendo respectivamente 40 y 32% mayor en comparación con el rastrojo de sorgo (Figura 2B).

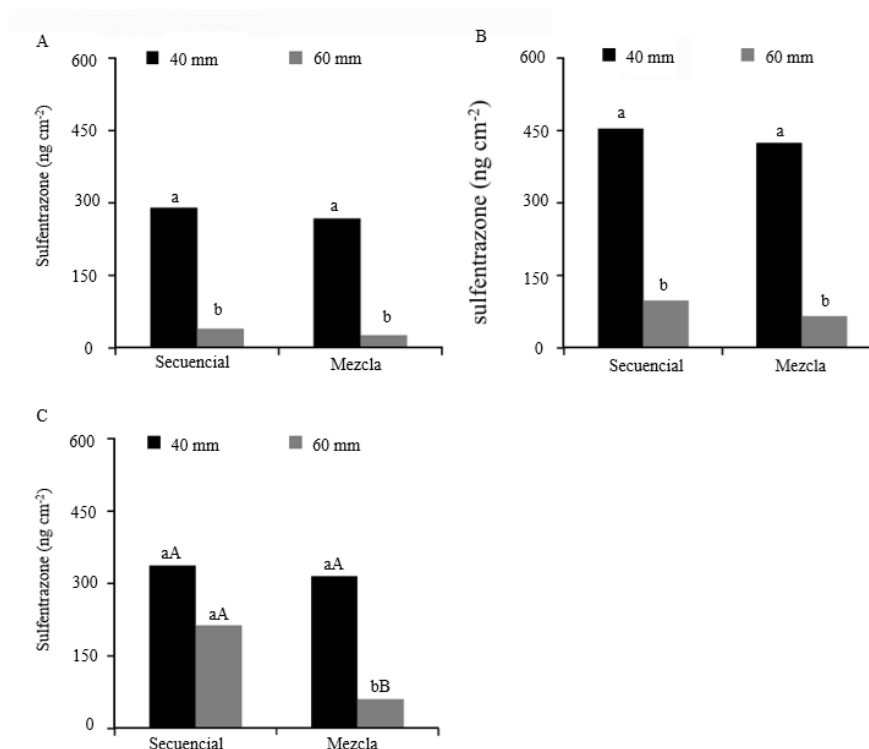


Figura 1. Cantidad máxima liberada del herbicida sulfentrazone (ng cm⁻²) después de láminas de agua de 40 y 60 mm en el rastrojo de sorgo (A), mijo (B) y braquiaria (C). Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre los grupos y letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas dentro del mismo grupo, según la prueba de Tukey al 5% de probabilidad.

Tabla 2. Resumen del análisis de varianza para la cantidad máxima extraída del herbicida sulfentrazone (ng cm⁻²) después de una lámina de agua de 100 mm en función del manejo de desecación sobre rastrojos de sorgo, mijo y braquiaria.

Factor de variación	GL	CM
		100 mm ¹
Tipos de rastrojo (A)	2	0,1035*
Manejo de desecación (B)	1	0,0470 ^{ns}
Interacción (A x B)	2	0,0091 ^{ns}
Error	18	0,0153
C.V (%)		4,14

*y ns, respectivamente, significativo y no significativo según la prueba F con um 5% de error. 1 datos transformados en log (X)

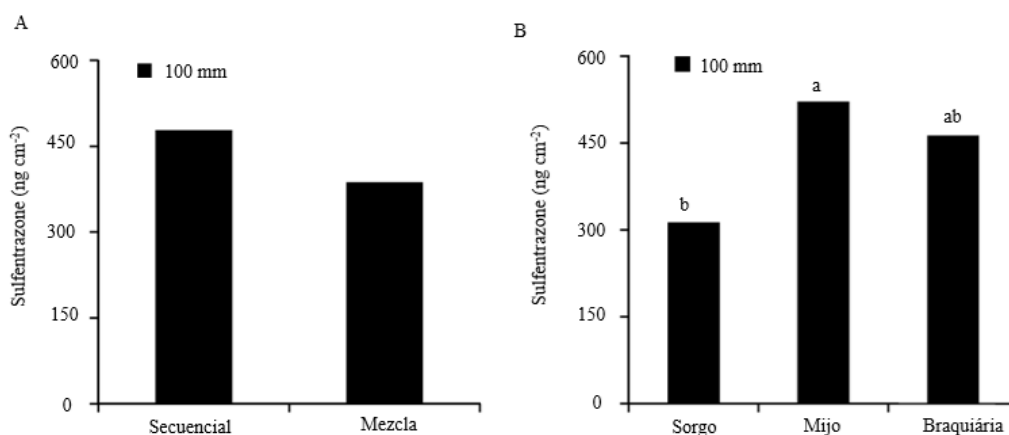


Figura 2. Cantidad máxima liberada del herbicida sulfentrazone (ng cm⁻²), n función de la cantidad total de lámina de agua de 100 mm, del manejo (A) y de los diferentes tipos de rastrojo (B). Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre los factores, según la prueba de Tukey al 5% de probabilidad.

CONCLUSIONES

La cantidad máxima removida de sulfentrazone fue significativa para los rastrojos de sorgo y mijo en función de la lámina de agua. Para el rastrojo de braquiaria, ocurrió significancia en función de la lámina y el manejo de desecación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, G. A. (2016). **Influencia de diferentes tipos de plantas sobre la estructura del suelo en siembra directa.** UFFS. Cerro Largo, RS
- ALBRECHT, A. J. P., ALBRECHT, L. P., SILVA, A. F. M., RAMOS, R. A., CORRÊA, N. B., CARVALHO, M. G. Control de *Conyza* spp. con aplicación secuencial de glufosinato en pre-siembra de soja. **Ciencia Rural**, v. 50, n. 9, 2020.
- ALVARENGA, R. C., GONÇALVES, J. L.S., CECÍLIO, R. A., ARAÚJO, F. S., SILVA, F. S., LIMA, E. El papel del rastrojo y de las plantas de cobertura en el manejo de malezas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, n. 4, p. 1229-1243, 2018.
- CAVALIERI, S. D., CARVALHO, S. J., SANTOS, D. R., PEREIRA, M. J., SILVA, F. A. Malezas en el sistema de siembra directa: desafíos y estrategias de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, n. 2, p. 389-401, 2017.

- FEBRAPDP. **Siembra Directa**. 2022. Disponible en: <https://plantiodireto.org.br/>. Acceso en: 17 feb. 2025.
- CLARK, S. L.; SILVA da. P. V.; DAYAN, F. E.; SCOTT, N. SEBASTIAN, D. J. La influencia de la hojarasca de gramíneas anuales de invierno en la disponibilidad de herbicidas. **Weed Science**, v. 67, n. 6, p. 702 – 709, 2019.
- FRANCHINI, J. C., KECHINSKI, M., LIMA, E., ALMEIDA, L. S., SANTOS, H. G. Efecto de gramíneas de cobertura en el manejo del suelo y en el ciclo de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, n. 3, p. 1007-1019, 2016.
- FREITAS E SILVA, I. P. **Comportamiento de los herbicidas sulfentrazone y diclosulam en diferentes manejos de cultivos de cobertura**. 2016. 102 f. Tesis (Doctorado) - Curso de Agronomía, Producción Vegetal, Universidad Estatal Paulista, Botucatu, 2016.
- MATOS, A. K. A. **Uniformidad en la deposición y dinámica de formulaciones de diuron y sulfentrazone en suelo, rastrojo y plantas de caña de azúcar**. 2018. 101 p. Tesis (Doctorado en Agronomía/Protección de Plantas) - Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad Estatal Paulista, Botucatu, 2018.
- MATOS, A. K. A.; CARBONARI, C. A.; COTRICK, G. L. G. Dinámica de herbicidas preemergentes en sistemas de producción con rastrojo. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 15, n. 1, p. 97-106, 2016.
- MATTE, W. D. **Actividad residual de herbicidas aplicados en preemergencia en el cultivo de soja sobre el algodón cultivado en sucesión**. 103 f. Tesis - Curso de Agronomía, Universidad Federal de Mato Grosso Campus Universitario de Sinop, Sinop, 2017.
- MUNDT, T. T. **Dinámica y eficacia del herbicida dicamba cuando se aplica en el sistema suelo y rastrojo**. 2021. 88f. Tesis de maestría (Agricultura). UNESP. Botucatu - SP, 2021.
- PASSOS, A. M. A.; ALVARENGA, R. C.; SANTOS, F. C. Sistema de Siembra Directa. In: NOBRE, M. M.; OLIVEIRA, I. R. **Agricultura de bajo carbono: tecnologías y estrategias de implementación**. Brasília: Embrapa, 2018. Cap. 3. p. 61-104.
- RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guía de herbicidas**. 7. ed. Londrina: Producción Independiente, 2018. 764 p.
- SANTOS, Z. T. **Método para estudiar la dinámica de herbicidas en rastrojo**. 2019. 69 f. Tesis (Maestría) - Curso de Agronomía, Universidad Estatal Paulista, Botucatu, 2019.
- SILVA, R. F., SOUZA, J. S., COSTA, M. P. Estrategias de control de malezas y su impacto en la productividad de los cultivos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 14, n. 4, p. 56-63, 2019.

SILVA, R. F., OLIVEIRA, J. M., CARVALHO, M. El control de malezas por desecación: prácticas y desafíos en el manejo agrícola. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 15, n. 4, p. 75-82, 2020.

SILVA, R. F., OLIVEIRA, J. M., CARVALHO, M. Herbicidas preemergentes y su aplicación en el control de malezas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.15, n. 3, p. 45-52, 2020.

SHANNER, D. L. **Manual de Herbicidas**. Weed Science Society of America: Lawrence, p. 513, 2014.

SIMONI, F., VICTORIA FILHO, R., SAN MARTIN, H. A. M., SALVADOR, F. L., ALVES A. S. R., BREMER NETO, H. Eficacia de imazapic y sulfentrazone sobre *Cyperus rotundus* en diferentes condiciones de lluvia y rastrojo de caña de azúcar. **Planta Daninha**, v. 24, n. 4, p. 769-778, 2006.