

**Efectos fitotóxicos de Ivermectina en la especie acuática flotante *Salvinia biloba*
nativa de llanuras inundables**

**Phytotoxic effects of Ivermectin on the floating aquatic species *Salvinia biloba*
native to floodplains**

Judith Elizabeth Lacava ^{1,2,3}

María Muttoni ⁴

Julieta Baglietto ⁴

Pamela Romina Bernabeu ^{1,2*}

¹ Universidad Argentina de la Empresa (UADE). Instituto de Tecnología (INTEC). Lima 757, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

² CONICET, Buenos Aires, Argentina.

³ Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental (IIIA-UNSAM-CONICET), Escuela de Hábitat y Sostenibilidad, Universidad Nacional de San Martín (UNSAM), Campus Miguelete, 25 de mayo y Francia, 1650, San Martín, Buenos Aires, Argentina

⁴ Universidad Argentina de la Empresa (UADE). Facultad de Ingeniería y Ciencias Exactas (FAIN). Lima 757, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

E mail: pbernabeu@uade.edu.ar

Lacava, J.E.; Muttoni, M.; Baglietto, J.; Bernabeu, P.R. (2024). Efectos fitotóxicos de Ivermectina en la especie acuática flotante *Salvinia biloba* nativa de llanuras inundables. *Revista Estudios Ambientales*, 12 (2), 112-121.

Recibido: 13/05/2024 - **Aceptado:** 08/10/2024 – **Publicado:** 28/12/2024

RESUMEN

El incremento en la producción ganadera en humedales y la modalidad de explotación intensiva son foco de enfermedades asociadas al hacinamiento, como las parasitosis.

La Ivermectina (IVM), es ampliamente utilizada para el control de endo y ectoparásitos gastrointestinales. Posee un corto periodo de retención y asimilación parcial por parte del animal, planteando preocupaciones en torno a su posible riesgo ecotoxicológico.

Las macrófitas son habituales en humedales. *Salvinia biloba* ha sido estudiada debido a su uso en procesos de fitorremediación. Sin embargo, el análisis de los efectos fitotóxicos de la IVM sobre esta especie es un campo pendiente de investigación.

El presente trabajo propone analizar los efectos fitotóxicos de la IVM. Se expusieron 10 g de biomasa fresca vegetal en sistemas de 0,5 L a concentraciones de IVM 10, 20 y 30

mg/l, y un control con solución nutritiva durante 15 días. Se evaluaron parámetros morfológicos y pigmentos fotosintéticos. Diferencias significativas fueron observadas entre tratamientos y el control, los parámetros morfológicos fueron los más afectados. El número de hojas marrones presentó variaciones significativas en concentraciones superiores a 20 mg/L IVM. Cabe señalar que la cobertura total de los sistemas presenta variaciones significativas en los tratamientos 10 mg/L IVM y 20 mg/L IVM. La cobertura de hojas marrones aumentó significativamente en los tratamientos con IVM, en contraposición disminuyó la cobertura de hojas verdes en dichos tratamientos. Los pigmentos fotosintéticos (clorofila *a*, *b* y carotenoides) no presentaron diferencias significativas.

Los parámetros morfológicos resultaron los más sensibles frente a la exposición a la IVM. Por lo tanto, es posible considerar el número de hojas totales, verdes y marrones, así como también el área foliar como un marcador temprano del estado de salud de *S. biloba* por exposición a la IVM. Los presentes resultados permiten sentar las bases para futuros estudios de *S. biloba* como una potencial especie fitorremediadora de IVM.

PALABRAS CLAVE: fitotoxicidad, ivermectina, macrófitas, humedales.

ABSTRACT

*Livestock production growth in wetlands and intensive farming practices are linked to overcrowding-related diseases, such as parasitosis. Ivermectin (IVM) is widely used to control gastrointestinal endo- and ectoparasites, but its short retention time and partial assimilation raise concerns about its potential ecotoxicological risks. Macrophytes, such as *Salvinia biloba*, are common in wetlands and have been studied for their potential in phytoremediation. However, the phytotoxic effects of IVM on this species remain underexplored. This study investigated the phytotoxic effects of IVM on *S. biloba*. A sample of 10 g of fresh biomass was exposed to IVM concentrations of 10, 20, and 30 mg/L in 0.5 L systems for 15 days, with a control sample exposed to a nutrient solution. Morphological parameters and photosynthetic pigment levels were assessed. Significant differences were observed in the morphological parameters of the treated samples compared to controls, with the number of brown leaves showing notable changes at IVM concentrations greater than 20 mg/L. Additionally, the total cover of the systems exhibited significant variations at 10 and 20 mg/L IVM. IVM treatment resulted in an increase in the coverage of brown leaves and a decrease in green leaf coverage. No significant differences were found in the levels of photosynthetic pigments (chlorophyll*

a, b, and carotenoids). Morphological parameters, particularly the number of green and brown leaves and leaf area, were the most sensitive indicators of IVM exposure. These findings suggest that these parameters could serve as early markers of S. biloba health in response to IVM exposure, providing a foundation for future research on the use of S. biloba in IVM phytoremediation.

KEY WORDS: phytotoxicity, ivermectin, macrophytes, wetlands.

INTRODUCCIÓN

Se estima que el 87% de los humedales del mundo han desaparecido en los últimos 300 años (Convención de Ramsar sobre los Humedales, 2018). Estos ecosistemas se encuentran afectados por distintas actividades antrópicas las cuales modifican su extensión y función original. En Argentina, el incremento de las áreas cultivadas, principalmente, con soja en la región pampeana, generó el desplazamiento de parte de la actividad ganadera hacia humedales (Kandus et al. 2006). La creciente producción animal y la explotación intensiva es foco de enfermedades asociadas al hacinamiento (Molinari, 2010). Gran parte de las pérdidas económicas se deben a nematodos helmintos y artrópodos (Pereira, 2009).

La IVM, es un derivado semisintético de la avermectina, una lactona macrocíclica que se administra como endo y ecto antiparasitario para los ganados vacuno, porcino, ovino y equino. Es un producto veterinario de uso predominante en zonas ganaderas (Boné et al. 2019). Se caracteriza por su corto periodo de retención y asimilación parcial por parte del animal. Tras su administración se excreta entre el 62 y el 98% (Foster et al. 2014), principalmente a través de las heces. Si bien ofrece un método eficiente y económico para tratar y controlar parasitosis, su uso indiscriminado y el contacto del compuesto con pulsos de inundación ha planteado preocupaciones en torno a su posible riesgo ecotoxicológico (Mesa et al. 2017).

Estudios realizados en el Delta Medio e Islas del Paraná evidenciaron presencia de IVM en cuerpos de agua (Mesa et al. 2020).

Las interacciones entre plantas y fármacos se encuentran bajo investigación, debido a su potencial uso en procesos de fitorremediación (Carvalho et al. 2014). La especie *Salvinia biloba* es una planta acuática flotante, nativa de Argentina y habitual de zonas de humedal. Ha sido ampliamente investigada y propuesta como fitorremediadora. Estudios confirman la presencia de IVM en plantas del género Salviniaceae (Mesa et al. 2017). Se han reportado efectos fitotóxicos de la IVM en *Sinapis alba* sobre el crecimiento radicular (Vokřál et al. 2019). Sin embargo, el estudio de los efectos tóxicos de la IVM en plantas continúa siendo un área de interés para su investigación.

El objetivo de este trabajo fue analizar los efectos tóxicos de la IVM sobre *Salvinia biloba*, y sentar las bases para su evaluación como especie remediadora.

METODOLOGÍA

Diseño Experimental

Los individuos de *S. biloba* fueron obtenidos de la Reserva Ecológica Costanera Sur, Buenos Aires, Argentina (34°36'14"S 58°21'09"O). Previo a su uso, se lavaron con agua destilada y se aclimataron en solución nutritiva (0,588 mg/L CaCl₂, 0,246 mg/L MgSO₄, 0,126 mg/L NaHCO₃, 0,055 mg/L KCl) durante 15 días a 25 ± 2 °C, con ciclos de 12/12 h luz/oscuridad, y 12000 LUX (Mendes et al. 2021).

Salviniaceae por exposición a contaminantes como altas concentraciones de NaCl (Jampeetong y Brix, 2009) y cobre (Liu et al. 2018), en las concentraciones de IVM utilizadas en este estudio, el largo de raíz no presentó diferencias significativas. El peso húmedo tampoco presentó diferencias significativas entre el control y los tratamientos con IVM.

Luego de exponer los individuos de *S. biloba* durante 15 días a distintas

concentraciones de IVM, el número de hojas total evidenció una disminución significativa entre el control y los tratamientos con IVM (Fig. 1). Este efecto puede atribuirse a procesos de inhibición del crecimiento vegetal, como fue reportado previamente en individuos del género *Salviniaceae* en presencia de compuestos orgánicos como el glifosato (Liu et al. 2018).

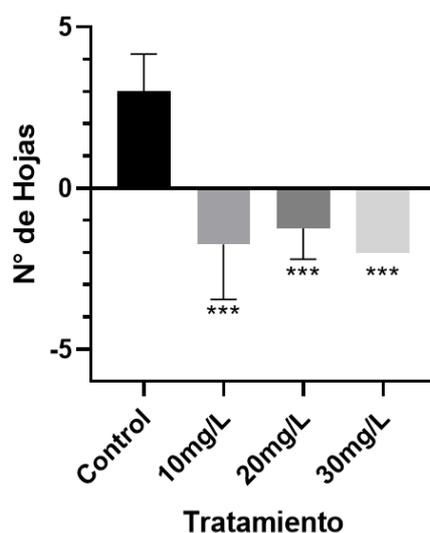


Figura 1. Variación del número de hojas totales por tratamiento luego de 15 días de exposición a distintas concentraciones de IVM (**p<0.001).

La exposición de los individuos de *S. biloba* a concentraciones igual o superior a 10 mg/L IVM afectó negativamente el crecimiento de hojas verdes (Fig. 2). La reducción en las hojas verdes de los

sistemas contaminados puede deberse a la disminución en la tasa fotosintética, la cual puede perjudicar el crecimiento de la planta (Clemens, 2006).

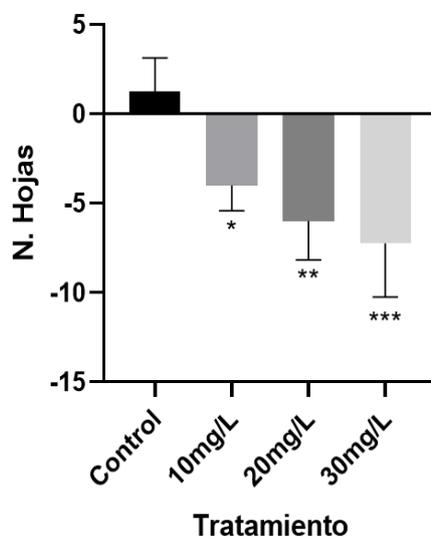


Figura 2. Variación del número de hojas verdes por tratamiento luego de 15 días de exposición a distintas concentraciones de IVM (*** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$).

Así mismo el número de hojas marrones presentó diferencias significativas en el tratamiento 20 mg/L IVM y 30 mg/L IVM (Fig. 3). Las lesiones observadas en hojas, clorosis y necrosis pueden asociarse a efectos nocivos sobre el metabolismo primario de las plantas (Mendes et al. 2021). El aumento de áreas

cloróticas/necróticas podría reducir la tasa de crecimiento vegetal debido a ineficiencias en el proceso de fotosíntesis (Ulfah et al. 2022). Este último puede deberse a la reducción en la absorción/transporte de nutrientes (Clemens, 2006).

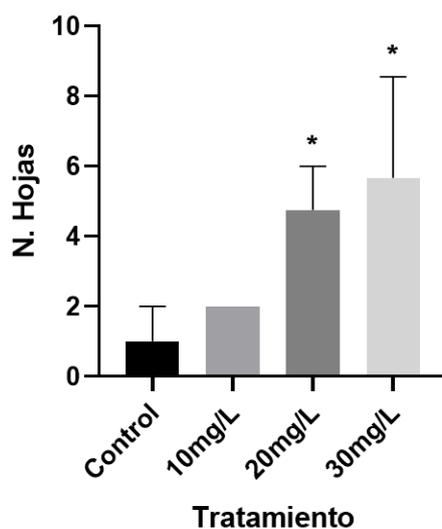


Figura 3. Variación del número de hojas marrones por tratamiento luego de 15 días de exposición a distintas concentraciones de IVM (* $p < 0.05$ vs control).

La cobertura vegetal total presentó diferencias significativas en los tratamientos 10 mg/L IVM y 20 mg/L IVM. Este efecto, en conjunto con la disminución del número de hojas totales,

puede ser causado por la disminución en la tasa fotosintética, la cual perjudica el crecimiento de la especie (Ulfah et al. 2022).

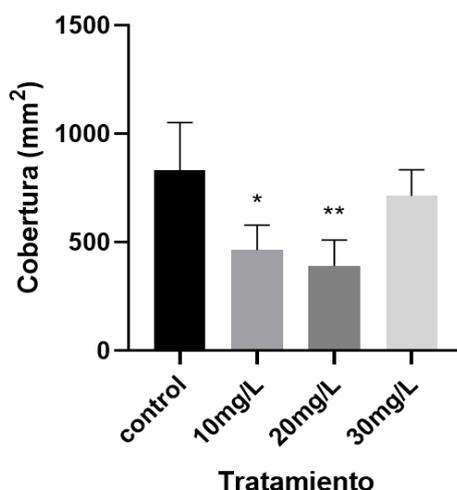


Figura 4. Cobertura total por tratamiento luego de 15 días de exposición a distintas concentraciones de IVM medida en mm² (**p<0.01; *p<0.05).

Si bien la cobertura de hojas marrones presentó diferencias significativas entre los tratamientos con IVM y el control, cabe señalar que la cobertura total del tratamiento 30mg/L no presentó diferencias significativas con el control. El aumento significativo del área de hojas marrones del tratamiento 30 mg/L podría deberse al aumento de áreas cloróticas/necróticas. Este proceso ocasiona la pérdida de turgencia de las células vegetales (Jampeetong y Brix, 2009) y, en consecuencia, podría generar un aumento en el área total de la planta. Esto podría explicar el aumento en el área de cobertura total del tratamiento 30 mg/L. La cobertura de hojas verdes presentó diferencias significativas entre los

tratamientos con IVM y el control. Los tratamientos 10 mg/L y 20 mg/L fueron los más afectados, datos que contrastan con los resultados obtenidos en relación con el número de hojas totales y marrones (Tabla 1). Estos resultados junto con el aumento en la cobertura de hojas marrones pueden asociarse a efectos de clorosis/necrosis en hojas (Clemens, 2006).

Determinación de pigmentos fotosintéticos

La clorofila es un pigmento fotosintético considerado un indicador de la capacidad fotosintética de las plantas (Mesa et al. 2017). Sin embargo, la clorofila *a*, *b* y carotenoides no presentaron diferencias significativas (Tabla 2).

Tabla 1. Variación en la cobertura de hojas totales, marrones y verdes de sistemas expuestos a distintas concentraciones de IVM

Tratamiento	Cobertura total	Cobertura Hojas Verdes	Cobertura Hojas Marrones
Control	830,34 ± 221,37	4547,06 ± 2116,52	-47,22 ± 55,17
10 mg/L IVM	463,85 ± 115,41**	4168,97 ± 332,03**	127,48 ± 110,09*
20 mg/L IVM	392,20 ± 117,98**	3905,59 ± 882,53***	192,23 ± 95,18**
30 mg/L IVM	714,23 ± 120,37 ^{ns}	4658,99 ± 114,83*	228,50 ± 74,35**

Cobertura total, de hojas verdes y de hojas marrones expresados en mm² calculados como la diferencia entre los resultados observados a los días 15 y 0 días de exposición a distintas concentraciones de IVM (mean ± SD, n = 4, ***p<0.001; **p<0.01; *p<0.05, ns p>0.05).

Tabla 2. Concentración de pigmentos fotosintéticos en individuos de *S. biloba* expuestos a distintas concentraciones de IVM

Tratamiento	Clorofila a	Clorofila b	Carotenoides
Control	357,40 ± 36,22	134,71 ± 17,05	1122,98 ± 109,34
10 mg/L IVM	288,34 ± 92,72	113,22 ± 45,89	945,71 ± 350,04
20 mg/L IVM	318,95 ± 49,99	130,21 ± 36,46	1000,81 ± 192,22
30 mg/L IVM	321,86 ± 44,34	119,40 ± 26,46	1027,32 ± 157,69

Concentración de clorofila a, clorofila b y carotenoides expresados en µg/mL de extracto de *S. biloba* a los 15 días de exposición de las plantas a distintas concentraciones de IVM (mean ± SD, n = 4).

CONCLUSIONES

Individuos del género Salviniaceae han demostrado ser sensibles ante la presencia de contaminantes de origen orgánico como pesticidas, aceites, grasas e hidrocarburos. Sus hojas proporcionan la energía necesaria para propiciar el crecimiento de la planta eficazmente gracias al proceso de fotosíntesis (Liu et al. 2018). Este trabajo aporta evidencia sobre los efectos fitotóxicos de la IVM sobre individuos de *S. biloba*. Sin embargo, el estudio de la toxicidad de compuestos orgánicos en especies de este género es un campo reciente de investigación.

Es importante estudiar los efectos fitotóxicos del formulado comercial, dado que sus características y amplia aplicabilidad en ganadería, potencian su ingreso al ambiente mediante escorrentía y lixiviación de excretas. La exposición de individuos de *S. biloba* a concentraciones superiores a 10 mg/L afectó significativamente los parámetros morfológicos de la especie. Sin embargo, la producción de pigmentos fotosintéticos no se vio afectada.

Los parámetros morfológicos resultaron los más sensibles frente a la exposición a la IVM. Por lo tanto, es posible considerar estos parámetros como un marcador temprano del estado de salud de *S. biloba* por exposición a la IVM.

BIBLIOGRAFÍA

- Boné E., V. Casa, G. Mataloni, Sfara, V. (2019). Ganadería y calidad de agua en el Delta del Paraná, Desafíos y recomendaciones. Ed. Quintana R. D.; Andelman M. Fundación Humedales / Wetlands International. Buenos Aires, Argentina.
- Carvalho, P. N., Basto, M. C. P., Almeida, C. M. R., Brix, H. (2014). *A review of plant–pharmaceutical interactions: from uptake and effects in crop plants to phytoremediation in constructed wetlands*. Environmental Science and Pollution Research, 21(20):11729–11763. doi: 10.1007/s11356-014-2550-3.
- Clemens, S. (2006). *Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants*. Biochimie, 88(11):1707–1719. doi: 10.1016/j.biochi.2006.07.003.
- Convención de Ramsar sobre los Humedales. (2018). *Global Wetlands Outlook: The State of the World's Wetlands and Their Services to People/Perspectiva mundial sobre los humedales: Estado de los humedales del mundo y sus servicios a las personas*. Gland (Suiza). Secretaría de la Convención de Ramsar.
- Cruz, A., Fortes, D., Herrera, R., García, M. González, S., Romero, A. (2009). *Comportamiento de los pigmentos fotosintéticos, según la edad de rebrote después del pastoreo de Pennisetum purpureum vc. Cuba CT-115 en la estación poco lluviosa*. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 43 (2): 183-186.
- Foster, G., Bennett, J., Bateman, M. (2014). *Effects of ivermectin residues on dung invertebrate communities in a UK farmland habitat*. Insect Conservation and Diversity, 7 (1): 64-72. doi: 10.1111/icad.12030
- Jampeetong, A., Brix, H. (2009). *Effects of NaCl salinity on growth, morphology, photosynthesis and proline accumulation of Salvinia natans*. Aquatic Botany, 91(3):181–186. doi: 10.1016/j.aquabot.2009.05.003
- Kandus, P., Quintana, R. D., Bó, R. (2006). *Landscape patterns and biodiversity of the Lower Delta of the Paraná River. Map of Environments/Patrones de paisaje y biodiversidad del Bajo Delta del Río Paraná*. Mapa de Ambientes. Pablo Casamajor Ediciones, Buenos Aires, Argentina.
- Lichtenthaler, H. K., Wwillburn, A. R. (1983). *Determinations of total carotenoids and chlorophyllsaandbof leaf extracts in different solvents*. Biochemical Society Transactions, 11(5):591–592. doi: 10.1042/bst0110591
- Liu, N., Zhong, G., Zhou, J., Liu, Y., Pang, Y., Cai, H., Wu, Z. (2018). *Separate and combined effects of glyphosate and copper on growth and antioxidative enzymes in Salvinia natans (L.) All*. Science of the Total Environment: 1448 – 1456. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.11.213
- Loureiro, D.B., Lario, L.D., Herrero, M.S., Salvarriera, M.S., Novo, L.A.B., Pérez, L.M. (2023). *Potential of Salvinia biloba Raddi for removing atrazine and carbendazim from aquatic environments*. Environmental Science and Pollution Research, 30:22089–22099. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23725-y>
- Mendes, E. J., Malage, L., Rocha, D. C., Kitamura, R. S. A., Gomes, S. M. A., Navarro-Silva, M. A., Gomes, M. P. (2021). *Isolated and combined effects of glyphosate and its by-product aminomethylphosphonic acid on the physiology and water remediation capacity of Salvinia molesta*. Journal of Hazardous Materials, 417: 125694. doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.125694.
- Mesa, L. M., Lindt, I., Negro, L., Gutierrez, M. F., Mayora, G., Montalto, M., Ballent, L., Lifschitz, A. (2017). *Aquatic toxicity of ivermectin in cattle dung assessed using microcosms*. Ecotoxicology and Environmental Safety, 144:422–429. doi: 10.1016/j.ecoenv.2017.06.016.

Mesa, L., Gutiérrez, M. F., Montalto, L., Perez, V., Lifschitz, A. (2020). *Concentration and environmental fate of ivermectin in floodplain wetlands: An ecosystem approach*. Science of the Total Environment, 706:135692. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.135692.

Molinari G. B. (2010). *Ivermectins: Evaluation of their deleterious effect through genotoxicity tests/Ivermectinas: Evaluación de su efecto deletéreo mediante ensayos de genotoxicidad*. (Tesis doctoral). Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Argentina.

Pereira, J. R. (2009). *The efficiency of avermectins (abamectin, doramectin and ivermectin) in the control of Boophilus micropulus, in artificially infested bovines kept in field conditions*. Veterinary Parasitology 162:116-119. doi: 10.1016/j.vetpar.2009.02.014

Rápó, E., Posta, K., Csavdári, A., Vincze, B.É., Mara, G., Kovács, G., Haddidi, I., Tonk, S (2020). *Performance comparison of Eichhornia crassipes and Salvinia natans on azo dye (Eriochrome Black T) phytoremediation*. Crystals 10(7):565. doi: 10.3390/cryst10070565

Ulfah, M., Nurussalma, M., Budi Minarti, I. (2022). *Phytoremediation potential of Salvinia molesta for organic matter coffee liquid waste*. BIOEDUKASI: Jurnal Biologi dan Pembelajarannya, 20 (1): 26-30. doi: 10.19184/bioedu.v20i1.30460

Vokřál, I., Michaela, Š. Radka, P., Jiří, L., Lukáš, P., Dominika, S., Lokvencová K., Szotáková B., Lenka, S. (2019). *Ivermectin environmental impact: Excretion profile in sheep and phytotoxic effect in Sinapis alba*. Ecotoxicology and Environmental Safety, 169, 944–949. doi: 10.1016/j.ecoenv.2018.11.097