



ARTÍCULO ORIGINAL

Efectos combinados de bismuto y detergente en la germinación y crecimiento inicial de lenteja (*Lens culinaris*)

Citlalli Itzel Quintana-García¹ Gabriel Grosskelwing-Nuñez¹, Arturo Cabrera-Vazquez², Joaquín Sangabriel-Lomelí¹, Oscar Moreno-Vázquez¹, Arturo Cabrera-Hernández¹

¹Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Km 1.8 Carretera a Loma del Cojolite, Misantla 93821, México.

²Escuela de Bachilleres "Artículo 3ro Constitucional" Av. Ruíz Cortínez No. 2901 Col. Unidad Magisterial, Xalapa, México

Recepción 19 de agosto 2024. Aceptación 07 de noviembre de 2024.

PALABRAS CLAVE

Detergente, Bismuto, germinación, lenteja, lens culinaris

Resumen

El bismuto (Bi) es clasificado como un "metal verde" por su baja toxicidad comparada con otros metales. Aunque su abundancia natural es baja, se anticipa un incremento en las concentraciones de Bi en matrices ambientales como suelos y aguas residuales, consecuencia de su creciente demanda en diversas aplicaciones industriales, siendo imperativo profundizar en la comprensión de los efectos biológicos del Bi tanto individuales como en combinación con otros contaminantes como los detergentes, con el fin de evaluar su potencial impacto en la salud vegetal. En el presente estudio, mediante un diseño experimental factorial se evaluaron los efectos individuales de diversas concentraciones de Bi y detergente, así como sus interacciones a semillas de lenteja (*Lens culinaris*). El detergente no ejerció un efecto inhibitorio significativo sobre la germinación o el crecimiento de las plántulas, incluso a las concentraciones más altas evaluadas. Por otro lado, el bismuto tampoco mostró efectos significativos sobre la germinación o una inhibición del crecimiento a la concentración de 20 mg/L de nitrato de bismuto. Las interacciones entre ambos contaminantes no modificaron significativamente la respuesta de las plantas. Estos hallazgos en contraste a otros reportados previamente sugieren que la variedad de semillas de lenteja empleadas en este estudio presenta cierta tolerancia al detergente y al bismuto. Es importante considerar la necesidad de realizar estudios a concentraciones mayores de ambos contaminantes para evaluar completamente los efectos de estos en el desarrollo de esta semilla.

KEYWORDS

Detergent, germination, culinaryis
Bismuth, lentil, lens

Abstract

Bismuth (Bi) is classified as a "green metal" due to its low toxicity compared to other metals. Although its natural abundance is low, an increase in Bi concentrations in environmental matrices such as soils and wastewater is anticipated, as a consequence of its growing demand in various industrial applications. It is imperative to further understand the biological effects of Bi, both individually and in combination with other contaminants such as detergents, in order to evaluate its potential impact on plant health. In the present study, the individual effects of various concentrations of Bi and detergent as well as their interactions with lentil (*Lens culinaris*) seeds were evaluated using a factorial experimental design. The detergent did not exert a significant inhibitory effect on germination or seedling growth, even at the highest concentrations evaluated. On the other hand, bismuth also showed no significant effects on germination or growth inhibition at the concentration of 20 mg/L bismuth nitrate. The interactions between both contaminants did not significantly modify the response of the plants. These findings, in contrast to those previously reported, suggest that the variety of lentil seeds used in this study have a certain tolerance to detergent and bismuth. It is important to consider the need to conduct studies at higher concentrations of both contaminants to fully evaluate their effects on the development of this seed.

Introducción

La contaminación del agua se ha convertido en un problema global grave, impulsado principalmente por el crecimiento demográfico, la industrialización y la agricultura. La descarga indiscriminada de desechos domésticos, municipales e industriales en los cuerpos de agua sin tratamiento previo contamina ríos, lagos y océanos, poniendo en riesgo la salud humana, la agricultura y los ecosistemas acuáticos. La utilización de agua contaminada para riego impacta negativamente el crecimiento de los cultivos y puede transferir contaminantes a los alimentos que consumimos¹.

Esta contaminación, compuesta por una amplia gama de sustancias químicas orgánicas e inorgánicas de origen natural o sintético (metales pesados, detergentes, pesticidas, colorantes, fármacos, cosméticos) afectan negativamente la calidad del agua, reduce la productividad de los suelos agrícolas y contamina la cadena alimentaria. La eutrofización, la toxicidad y la bioacumulación son algunos de los impactos más relevantes asociados a esta problemática¹⁷.

La proliferación de detergentes y metales pesados en el agua y suelo, son de las principales amenazas para los ecosistemas a nivel global. Estos compuestos, altamente persistentes y bioacumulativos, alteran procesos biogeoquímicos esenciales, con consecuencias devastadoras para la salud de las especies vegetales^{3,15}.

Los detergentes, productos de uso cotidiano, están compuestos por una variedad de sustancias químicas, siendo los surfactantes su componente principal. Estos compuestos anfipáticos, con propiedades tanto hidrofílicas como hidrofóbicas, son responsables de la acción limpiadora de los detergentes.

Además de los surfactantes, los detergentes contienen otros aditivos como blanqueadores, enzimas, perfumes y agentes constructores, cada uno con funciones específicas. Sin embargo, esta compleja formulación también los convierte en una fuente significativa de contaminación ambiental¹⁹. En particular los surfactantes, clasificados en aniónicos, catiónicos, no iónicos, semipolares y anfóteros, son

considerados contaminantes emergentes debido a su persistencia en el medio ambiente y su capacidad para alterar los ecosistemas acuáticos, y al ser descargados continuamente en los cuerpos de agua, sin tratamiento alteran los ecosistemas acuáticos¹¹, además debido a la gran demanda de agua particularmente en países subdesarrollados, se les emplea directamente para riego en la agricultura, con los peligros medioambientales que ello produce¹⁰.

El bismuto (Bi), un elemento con creciente relevancia industrial debido a sus propiedades únicas y su perfil toxicológico relativamente benigno ha visto aumentar significativamente su producción en las últimas décadas. A pesar de su amplia gama de aplicaciones, que incluyen desde la farmacéutica hasta la metalurgia, la comprensión de los efectos del Bi en los organismos vivos sigue siendo incompleta²¹. Investigaciones recientes han puesto de manifiesto un notable incremento en las concentraciones de Bi en los suelos cultivados. Estudios en plantas de tratamiento de aguas residuales de Estocolmo, han documentado un aumento del 300% en los niveles de Bi asociado al uso generalizado de productos cosméticos que contienen compuestos de Bi². La disposición de lodos de depuradora en tierras agrícolas, el empleo de fertilizantes fosfatados y el elevado consumo de cosméticos contribuyen significativamente a la contaminación de los suelos por este elemento²⁴.

Estudios recientes sugieren que el Bi puede ser fácilmente absorbido por algunas plantas y alterar procesos fisiológicos vitales²². Se ha propuesto la absorción pasiva de iones de bismuto como una vía potencial para internalizar pasivamente este metal, conjugándose en el interior de la planta con glutatión (GSH) para formar complejos y reducir la toxicidad del Bi²⁶.

La contaminación combinada de Bi y detergentes en aguas residuales y suelos agrícolas plantea un escenario complejo en el que las propiedades fisicoquímicas y toxicológicas de ambos contaminantes pueden verse significativamente alteradas. En general, estas interacciones pueden modificar la solubilidad, adsorción y movilidad de los metales, así como su

biodisponibilidad para las plantas durante su desarrollo²⁴. La naturaleza de estas interacciones ya sea sinérgica o antagónica, puede modular los efectos tóxicos de ambos compuestos sobre la germinación de las semillas. Evaluar conjuntamente el Bi y los detergentes permite una comprensión más precisa de los procesos que ocurren en el suelo contaminado y sus implicaciones para la salud vegetal¹⁸.

Las lentejas (*Lens culinaris*) son leguminosas con una larga historia de cultivo y consumo humano. Su perfil nutricional, rico en proteínas, fibra y micronutrientes, las ha convertido en un alimento básico en muchas culturas y ofrecen una alternativa sostenible y saludable a las fuentes de proteínas de origen animal²⁷. Además, debido a su rápida y uniforme germinación y su alta sensibilidad a una amplia gama de metales, se ha establecido como indicador sensible y confiable para evaluar la fitotoxicidad de diversos metales pesados^{6,8,16,25}, lo cual subraya su potencial como bioindicador en estudios de contaminación ambiental.

Aunque se han documentado aumentos en los niveles de estos dos contaminantes en suelos, los estudios que evalúan su toxicidad combinada en plantas son escasos^{2,17}. Este estudio aborda esta brecha al evaluar el impacto de diferentes concentraciones de una sal de bismuto y un detergente lavatrastes comercial sobre la germinación y el crecimiento de semillas de lenteja, una especie de gran importancia agronómica. Al seleccionar la lenteja como organismo modelo, este trabajo contribuye a comprender mejor los mecanismos de toxicidad de mezclas de contaminantes y a evaluar la sensibilidad de un cultivo de relevancia económica frente a estos contaminantes.

Material y métodos

Reactivos y material biológico

Las semillas de lenteja (*Lens culinaris*) fueron adquiridas en un mercado local de la ciudad de Misantla, Veracruz, México, durante el mes de julio de 2023. Se seleccionaron semillas maduras morfológicamente y sin signos de daño. Para su conservación, las semillas se almacenaron en un recipiente de vidrio herméticamente cerrado a temperatura ambiente (25 ± 4 °C) hasta su utilización en los experimentos.

Como fuente de bismuto, se empleó nitrato de bismuto pentahidratado ($\text{BiNO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\geq 98\%$, marca MEYER). Como agente tensoactivo, se utilizó un detergente lavatrastes líquido comercial de marca líder, cuya formulación, según el etiquetado del producto, incluye alquil sulfonato de sodio, alcohol etoxilado (EO 10), alquil sulfonato de magnesio, óxidos de amina, alquil sulfonato de trietanolamina, y otros aditivos (etanol, perfume, EDTA tetrasódico, colorantes, preservantes).

Técnica de germinación de semillas en papel húmedo

Para evaluar el efecto de las soluciones de prueba sobre la germinación y el crecimiento inicial de las semillas de lenteja, se empleó un ensayo de germinación estándar en papel filtro. Se distribuyeron 16 semillas por réplica sobre discos de papel filtro Whatman No. 1 colocados en cajas petri, previamente esterilizados y saturados con 10 mL de la solución correspondiente. Las cajas Petri se incubaron en condiciones ambiente de temperatura, humedad relativa e iluminación. La pérdida por evaporación de humedad se compensó mediante adiciones diarias de agua destilada estéril. Se consideró como semilla germinada aquella que

presentó una radícula emergente de al menos 2 mm de longitud. Al quinto día de incubación, se evaluó el porcentaje de germinación y se determinaron parámetros morfométricos como la longitud y peso fresco de raíz y tallo.

Diseño de experimentos

Se evaluaron 25 combinaciones únicas de concentraciones de bismuto y detergente, generadas a partir de un diseño factorial completo (figura 1).

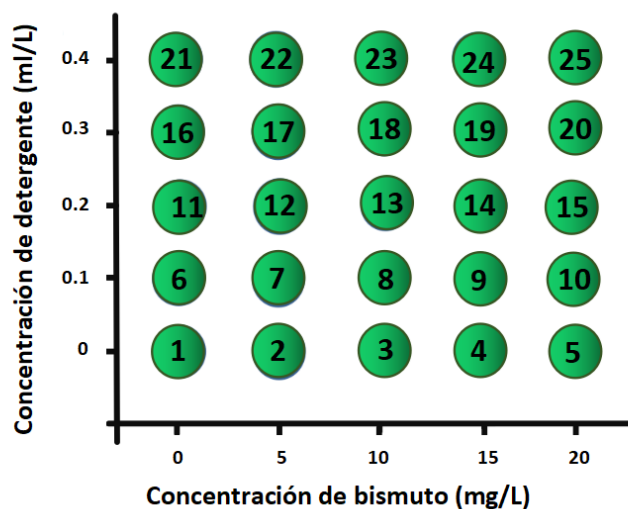


Figura 1.- Diseño experimental factorial 5×5 para evaluar el efecto combinado de cinco concentraciones de bismuto (0, 5, 10, 15 y 20 mg/L) y cinco concentraciones de detergente (0, 0.1, 0.2, 0.3 y 0.4 ml/L) sobre la germinación de semillas de lenteja (*Lens culinaris*). Este diseño generó un total de 25 tratamientos diferentes.

Las semillas fueron expuestas a todas las posibles combinaciones de cinco niveles de bismuto (0, 5, 10, 15 y 20 mg/L) y cinco niveles de detergente (0, 0.1, 0.2, 0.3 y 0.4 ml/L).

Análisis estadístico

Los datos se recopilieron y ordenaron utilizando el software Excel ® 2016. El análisis estadístico y gráfico de los datos se realizó empleando el software de código libre "R". Se evaluó la normalidad de los datos y homogeneidad de varianzas mediante las pruebas de Shapiro-Wilks y Levene. Dado que no se cumplió el supuesto de normalidad para ciertos grupos de datos, se empleó estadística no paramétrica. Como prueba de hipótesis se empleó la prueba de Kruskal-Wallis, ($p < 0.05$). La significancia entre medias se verificó mediante la prueba post-hoc de Dunn.

Resultados

Germinación acumulada de semillas de lenteja (*Lens culinaris*)

La figura 2, muestra los perfiles de germinación de semillas de lenteja a lo largo de un periodo de cuatro días, bajo diferentes combinaciones de nitrato de bismuto pentahidratado (0, 5, 10, 15 y 20 mg/L) y detergente lavavajillas comercial (0, 0.1, 0.2, 0.3 y 0.4 ml/L).

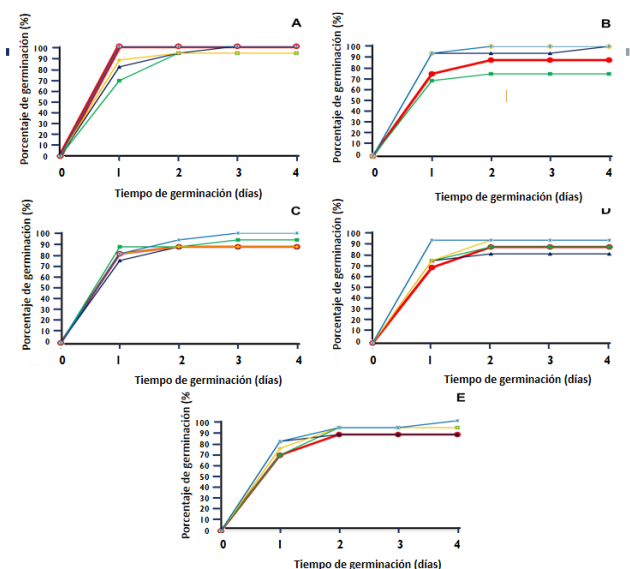


Figura 2.- Porcentaje de germinación de semillas de lenteja en presencia de cinco niveles de nitrato de bismuto pentahidratado; 0 mg/L (línea roja), 5 mg/L (línea verde), 10 mg/L (línea obscura), 15 mg/L (línea amarilla) y 20 mg/L (línea azul) en presencia de cinco niveles de detergente: 0 ml/L (panel A), 0.1 ml/L (panel B), 0.2 ml/L (panel C), 0.3 ml/L (panel D) y 0.4 ml/L (panel E).

Se evaluó el porcentaje de germinación acumulado diariamente como indicador de la viabilidad de las semillas. Se observó un rápido incremento en el porcentaje de germinación durante el primer día en todos los tratamientos, alcanzando valores cercanos al 100% al final del experimento. Sin embargo, al comparar los perfiles de germinación entre los diferentes tratamientos, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$).

Estos resultados sugieren que, en el rango de concentraciones evaluado, ni el bismuto ni el detergente, ni su combinación, ejercieron un efecto significativo sobre la germinación de las semillas de lenteja.

Efecto individual de detergente sobre la longitud y el peso de tallo y raíz de plántulas de lenteja

La figura 3, presenta gráficas de caja para las variables de respuesta longitud y el peso de los tallos y las raíces (paneles A-D) de plántulas de lenteja a los 4 días después de la siembra. Plántulas expuestas a diversas concentraciones de detergente (0, 0.1, 0.2, 0.3 y 0.4 mL/L) presentaron una ligera tendencia decreciente no significativa para peso de tallo y raíz, no obstante, en las cuatro variables no se observaron diferencias significativas.

Sin embargo, la presencia de bismuto solo o en combinación con detergente no afectó significativamente los valores promedio. Estos hallazgos sugieren que la aplicación de detergente no influye en el crecimiento y el peso de las plántulas.

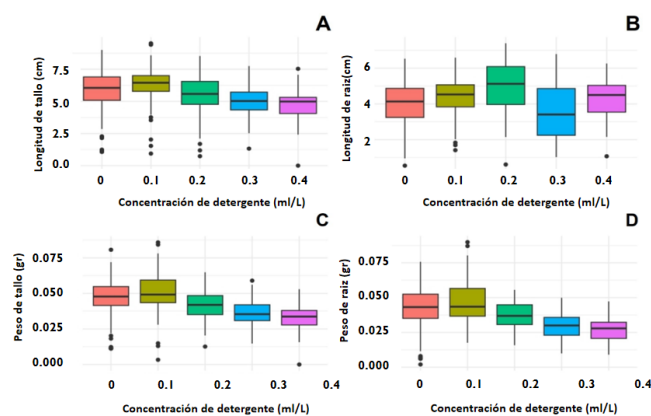


Figura 3.- Análisis del efecto individual de cinco concentraciones de detergente (0, 0.1, 0.2, 0.3 y 0.4 ml/L) sobre longitud de tallo (panel A), longitud de raíz (panel B), peso de tallo (panel C) y peso de raíz (panel D) de plántulas de lenteja al día 4 post-siembra.

Efecto individual de bismuto sobre la longitud y el peso de tallo y raíz de plántulas de lenteja.

La figura 4 muestra el efecto individual de diferentes concentraciones de nitrato de bismuto comercial sobre el crecimiento de plántulas de lenteja a los 4 días después de la siembra. No se observó una disminución significativa en ninguna de las variables.

Efecto de las interacciones entre detergente y bismuto sobre el desarrollo de plántulas de lenteja

La figura 5 ilustra el efecto combinado de un detergente lavatrastes comercial y el nitrato de bismuto sobre el crecimiento de plántulas de lenteja cuatro días post-siembra. Aunque un análisis comparativo muestra pequeñas diferencias entre los diferentes tratamientos, el análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis (prueba H) no evidenció una diferencia significativa ($p > 0.05$) entre ambos factores evaluados para las diferentes variables de respuesta evaluadas, longitud de tallo y raíz, así como peso de tallo y raíz.

En conclusión, las concentraciones de bismuto ensayadas (0, 5, 10 y 20 mg/L) no modificaron significativamente la respuesta de las plantas al detergente, indicando que no existe interacción entre ambos factores.

Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio revelan un panorama sobre los efectos individuales del detergente lavatrastes comercial y el nitrato de bismuto en la germinación y crecimiento inicial de plántulas de lenteja, así como su interacción.

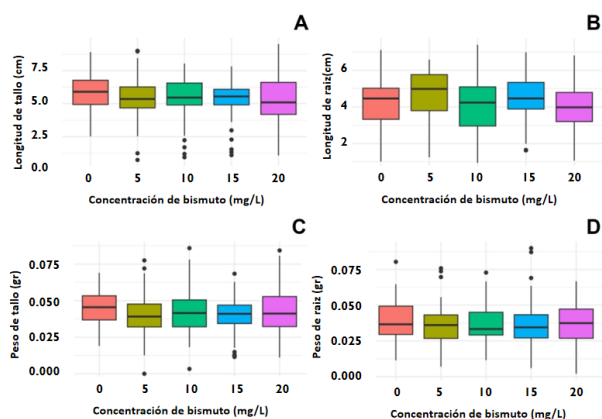


Figura 4.- Análisis del efecto individual de cinco concentraciones de nitrato de bismuto pentahidratado; 0 mg/L, 5 mg/L, 10 mg/L, 15 mg/L y 20 mg/L sobre longitud de tallo (panel A), longitud de raíz (panel B), peso de tallo (panel C) y peso de raíz (panel D) de plántulas de lenteja al día 4 post-siembra.

La germinación no se vio afectada significativamente por ninguno de los tratamientos, tampoco el crecimiento vegetativo, en términos de longitud y peso de tallo y raíz. Sin embargo, la presencia de bismuto solo o en combinación con detergente no afectó significativamente los valores promedio. Estos hallazgos sugieren que la aplicación de detergente no influye en el crecimiento y el peso de las plántulas.

Efecto individual de detergente

Los resultados obtenidos en este estudio evidencian la heterogeneidad de respuestas de diferentes especies vegetales a la exposición a detergentes. Si bien nuestras observaciones indican que el detergente evaluado no generó efectos sinérgicos o antagónicos significativos en la germinación de semillas de lenteja en las condiciones experimentales establecidas de manera similar a la tolerancia mostrada por otras especies, como chile habanero¹⁴, maíz¹², pepino⁷ y lechuga⁹; otros estudios han reportado efectos inhibitorios en la germinación y crecimiento de esta misma especie^{4,5}, así como en otras como el girasol¹³. Comparativamente, Cai, X., & Ostroumov, S. A., 2020^{4,5} aplican un detergente líquido para ropa y encuentran inhibición parcial de la germinación al doble de la máxima concentración empleada en este estudio e inhibición total a concentraciones diez veces las aplicadas en este estudio. En los otros estudios citados se empleó detergente en polvo para ropa. Estos hallazgos resaltan la importancia de considerar la especie vegetal, el tipo y la concentración del detergente empleado y la duración de la exposición como factores determinantes en la fitotoxicidad de estos compuestos.

La discrepancia entre nuestros resultados y los reportados en estudios anteriores podría atribuirse a diferencias en la composición química de los detergentes y las condiciones de germinación aplicadas. El detergente empleado en este estudio fue líquido lavatrastes, mientras que en otros estudios se empleó detergente en polvo para ropa. Otro factor a considerar es la variedad de lenteja utilizada. Un estudio previo que evaluó la susceptibilidad de la lenteja frente a aluminio reportó una variabilidad significativa en

la tolerancia a este metal entre los genotipos de lentejas empleados, lo cual subraya la importancia del tipo de lenteja empleada²⁵. En conjunto, los resultados de estas investigaciones destacan la necesidad de realizar evaluaciones específicas para cada detergente y especie vegetal, a fin de visualizar el alcance de los efectos tóxicos de estos productos sobre la germinación y el desarrollo de las plantas. Los resultados obtenidos para las variables de crecimiento de las plántulas no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos.

Estos hallazgos contrastan con estudios recientes en otras especies, como el cempasúchil, donde se observaron efectos inhibitorios del detergente sobre la longitud de tallo y peso de raíz a concentraciones similares y con el mismo tipo de detergente. La variabilidad en la respuesta de las plantas a los detergentes sugiere que la sensibilidad a estos compuestos puede depender de factores como la especie vegetal, la etapa de desarrollo y el tipo de detergente. En otros cultivos, como maíz¹², chile habanero¹⁴, pepino⁷ y girasol¹³, se han reportado efectos negativos de los detergentes sobre el crecimiento, lo que resalta la importancia de evaluar estos efectos de manera específica para cada especie.

Papel del bismuto

En el marco de este estudio, no se observaron efectos significativos del bismuto sobre la germinación y el crecimiento inicial de plántulas de lenteja. Estos resultados sugieren que, bajo las condiciones experimentales evaluadas, esta especie podría presentar una mayor tolerancia al bismuto en comparación con otras, como el tomate (*Solanum lycopersicum*)²⁰ ó el berro de jardín (*Lepidium sativum L.*)²³.

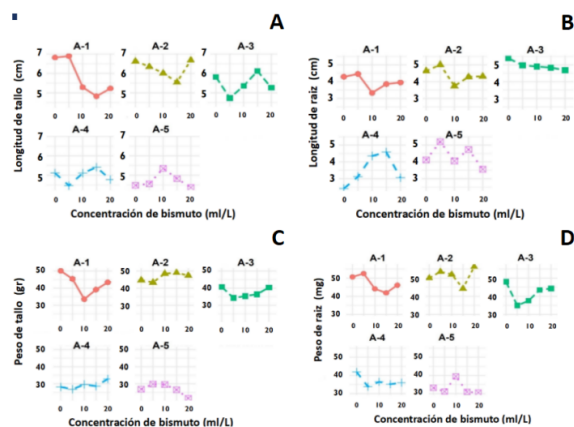


Figura 5.- Gráfica comparativa entre las medianas de los diferentes tratamientos. Se presenta las interacciones para el detergente lavatrastes comercial y el bismuto sobre la longitud de tallo (panel A), longitud de raíz (panel B), peso de tallo (panel C) y peso de raíz (panel D). En cada panel las concentraciones de bismuto (0, 5, 10, 15 y 20 mg/L) se presentan en el eje de las abscisas. Las concentraciones del detergente lavatrastes comercial (0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 ml/L) se presentan en los subpaneles A-1, A-2, A-3, A-4 y A-5 respectivamente. No se presentaron diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.5$)

En este último caso, las concentraciones de bismuto empleadas fueron muy superiores a las aplicadas en este estudio, sin embargo, en el caso del tomate y la *Arabidopsis thaliana* se observan efectos fitotóxicos en el crecimiento de la raíz y la

longitud del tallo a concentraciones mayores de 3 micromolar (1.185 mg/L de BiNO₃), concentración cinco veces menor que la del presente estudio. Por lo tanto, es factible que las concentraciones empleadas de bismuto en este estudio no hayan superado los umbrales de toxicidad para la lenteja o que esta especie posea mecanismos fisiológicos que le permitan mitigar los efectos adversos del metal.

Interacción entre detergente y bismuto

Los resultados del presente estudio no evidencian una interacción significativa entre el detergente y el bismuto en su efecto sobre la germinación de lenteja y el crecimiento de las plántulas, lo cual sugiere que los efectos de ambos compuestos sobre el crecimiento de las plántulas son independientes dentro del rango de concentraciones evaluadas; sin embargo, la complejidad de las interacciones entre múltiples contaminantes en sistemas biológicos²⁴, sugiere que podrían existir efectos sinérgicos o antagonísticos que no fueron detectados en este estudio.

Conclusiones

Los resultados de este estudio sugieren que, bajo las condiciones experimentales evaluadas, ni el detergente lavatrastes comercial ni el bismuto ejercieron un efecto inhibitorio significativo sobre la germinación y el crecimiento inicial de plántulas de lenteja. Sin embargo, es importante resaltar que la respuesta de las plantas a los contaminantes puede variar en función de factores como la especie, el genotipo, la etapa de desarrollo y la presencia de otros contaminantes. Estudios futuros con un diseño experimental más amplio y que evalúen un rango mayor de concentraciones podrían proporcionar una visión más completa de la interacción entre estos dos compuestos sobre la germinación y crecimiento de plántula de la lenteja.

Contribución de los autores

CIQG, Ensayos experimentales de germinación, recolección de datos y escritura de artículo

GGN, Análisis estadístico de datos y elaboración de gráficos

ACV, Revisión bibliográfica y escritura de artículo

JSL, Apoyo en medición de tallos.

OMV, Apoyo en medición de raíces.

ACH, Redacción, análisis estadísticos, revisión bibliográfica, escritura de artículo.

Financiamiento

“No se recibió ningún patrocinio para llevar a cabo este artículo”.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Presentaciones previas

Ninguna

Referencias

- Akhtar, N., Syakir Ishak, M. I., Bhawani, S. A., & Umar, K. (2021). Various natural and anthropogenic factors responsible for water quality degradation: A review. *Water*, 13(19), 2660.
- Amneklev, J., Augustsson, A., Sörme, L., & Bergbäck, B. (2016). Bismuth and silver in cosmetic products: A source of environmental and resource concern?. *Journal of Industrial Ecology*, 20(1), 99-106.
- Borah, S. J., Ram, R., Kumar, V., & Dubey, K. K. (2023). Leakage of surfactants in greywater: Environmental impact, mitigation, and their circular economy. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 110715.
- Cai, X., & Ostroumov, S. A. (2020). Discovery of detergent toxicity using non-animal bioassay. *Simpósio Internacional de Biogeoquímica (Tiraspol, 5 al 7 de noviembre de 2020)*, 215-218.
- Cai, X., & Ostroumov, S. A. (2021). Phytotests for assessing phytotoxicity of “Blue moon” liquid detergent: *Lens culinaris* seeds. *Issues in Biological Sciences and Pharmaceutical Research*.
- Cokkizgin, A. & Cokkizgin, H. (2010). Effects of lead (PbCl₂) stress on germination of lentil (*Lens culinaris* Medic.) lines. *African Journal of Biotechnology*, 9(50), 8608-8612.
- da Silva, L. M., & da Silva, F. J. (2023). Toxic Effects Promoted by a Commercial Detergent on the Germination and Initial Development of Cucumber Seedlings (*Cucumis sativus* L.). *Ecotoxicology and Environmental Contamination*, 18(2), 3-9.
- De Silva, Y. S. K., Rajagopalan, U. M., Kadono, H., & Li, D. (2023). The synergy of microplastics with the heavy metal zinc has resulted in reducing the toxic effects of zinc on lentil (*Lens culinaris*) seed germination and seedling growth. *Heliyon*, 9(11).
- Georgescu, A. M., Ursachi C., Ungureanu, C. V., & Răducanu, D. (2023). Phytotoxic effects of a common laundry detergent on lettuce (*Lactuca sativa* L.) using the mathematical modelling of factorial type. *Scientific Studies & Research. Series Biology/Studii si Cercetari Stiintifice. Seria Biologie*, 32(1).
- Gorgich, M., Mata, T. M., Martins, A., Caetano, N. S., & Formigo, N. (2020). Application of domestic greywater for irrigating agricultural products: A brief study. *Energy Reports*, 6, 811-817.
- Gupta, N., & Sekhri, S. (2014). Impact of Laundry Detergents on Environment-A Review. *Journal of Asian Regional Association for Home Economics*, 21(4).
- Heidari, H. (2012). Effect of irrigation by contaminated water with cloth detergent on plant growth and seed germination traits of maize (*Zea mays*). *Life Sci J*, 9(4), 1587-1590.
- Heidari, H. (2013). Effect of irrigation with contaminated water by cloth detergent on seed germination traits and early growth of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Notulae Scientia Biologicae*, 5(1), 86-89.
- Hernández-Baranda, Y., Echevarría-Machado, I., Rodríguez-Hernández, P., & Estrada-Medina, H. (2023). Effect of detergents on the germination and initial growth of habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) plants. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 17(3).
- Huang, Y., Han, R., Qi, J., Duan, H., Chen, C., Lu, X., & Li, N. (2022). Health risks of industrial wastewater heavy metals based on improved grey water footprint model. *Journal of Cleaner Production*, 377, 134472.

16. Janas, K. M., Zielińska-Tomaszewska, J., Rybaczek, D., Maszewski, J., Posmyk, M. M., Amarowicz, R., & Kosińska, A. (2010). The impact of copper ions on growth, lipid peroxidation, and phenolic compound accumulation and localization in lentil (*Lens culinaris* Medic.) seedlings. *Journal of Plant Physiology*, 167(4), 270-276.
17. Jena, G., Dutta, K., & Daverey, A. (2023). Surfactants in water and wastewater (greywater): environmental toxicity and treatment options. *Chemosphere*, 341, 140082.
18. Liu, J., Xue, J., Yuan, D., Wei, X., & Su, H. (2020). Surfactant washing to remove heavy metal pollution in soil: A review. *Recent Innovations in Chemical Engineering*, 13(1), 3-16.
19. Mousavi, S. A., & Khodadoost, F. (2019). Effects of detergents on natural ecosystems and wastewater treatment processes: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 26439-26448.
20. Nagata, T., & Kimoto, S. (2020). Growth inhibition and root damage of bismuth in *Solanum lycopersicum*. *SCIRESA J. Biol*, 54, 72-86.
21. Omouri, Z., Hawari, J., Fournier, M., & Robidoux, P. Y. (2017). Acute toxicity of bismuth to the earthworm *Eisenia andrei*. *International Journal of Ecotoxicology and Ecobiology*, 2(3), 125-133.
22. Omouri, Z., Hawari, J., Fournier, M., & Robidoux, P. (2019). Phytotoxicity of bismuth nitrate and bismuth citrate on germination and growth of *Lolium perenne* exposed on filter paper and on artificially contaminated soil. *Journal of Soil Science & Plant Health*, 3(1).
23. Passatore, L., Pietrini, F., Carloni, S., Massimi, L., Giusto, C., Zacchini, M., & Iannilli, V. (2022). Morpho-physiological and molecular responses of *Lepidium sativum* L. seeds induced by bismuth exposure. *Science of the Total Environment*, 831, 154896.
24. Pierattini, E. C., Francini, A., Raffaelli, A., & Sebastiani, L. (2018). Surfactant and heavy metal interaction in poplar: a focus on SDS and Zn uptake. *Tree physiology*, 38(1), 109-118.
25. Singh, D., Dikshit, H. K., & Singh, R. (2012). Variation of aluminium tolerance in lentil (*Lens culinaris* Medik.). *Plant breeding*, 131(6), 751-761.
26. Zacchini, M. (2024). Bismuth interaction with plants: uptake and transport, toxic effects, tolerance mechanisms-a review. *Chemosphere*, 142414.
27. Zhang, B., Peng, H., Deng, Z., & Tsao, R. (2018). Phytochemicals of lentil (*Lens culinaris*) and their antioxidant and anti-inflammatory effects. *Journal of Food Bioactives*, 1, 93-103.
28. Uzma, S., Khan, S., Murad, W., Taimur, N., & Azizullah, A. (2018). Phytotoxic effects of two commonly used laundry detergents on germination, growth, and biochemical characteristics of maize (*Zea mays* L.) seedlings. *Environmental monitoring and assessment*, 190, 1-14.