



Evaluación de los Efectos del Plomo en El Desarrollo de la Cebolla (*Allium Cepa*) para una Productividad Agrícola Sostenible

*ASSESSMENT OF THE EFFECTS OF LEAD ON THE DEVELOPMENT OF ONION (*ALLIUM CEPA*) FOR SUSTAINABLE AGRICULTURAL PRODUCTIVITY*

**Estudiantes**

Maite Jorquera 8°
Amanda Monasterio 8°
Juan José Tapia I Medio
Ignacia Maqueira 8°

Profesor guía

Guillermo Vidal Astudillo
guillermo.vidal.astudillo@gmail.com

Asesor científico

Miriam Estrada
The Kent School
Providencia Región metropolitana

- Artículo Recibido: 3 de diciembre, 2021
- Artículo Aceptado: 31 de diciembre, 2021
- Artículo Publicado: 20 de agosto, 2022

El Proyecto participó en

- * XVI Congreso Regional Explora de Investigación e Innovación escolar Región Metropolitana Norte, 2022.
- * XXI Congreso Nacional EXPLORA de Investigación e Innovación escolar Chile, 2023.



Resumen

El plomo, un agente mutagénico, puede provocar la intensificación de la función de genes reguladores, generando una proliferación celular descontrolada que podría derivar en la formación de tumores, causando fallos fisiológicos y un mayor gasto energético en organismos pluricelulares (Rey et al., 2017). La literatura reporta altas concentraciones de elementos tóxicos en las aguas de la cuenca del río Maipo; se establece que en el 80 % del agua potable de Santiago, el arsénico sobrepasa en un 5 % la norma chilena y el plomo excede en un 170 % los niveles recomendados por la Organización Mundial de la Salud. Este elemento puede disolverse en el agua potable debido al desgaste y la erosión de las tuberías del servicio.

En el experimento se expondrá *Allium cepa* a nitrato de plomo en disolución acuosa con el objetivo de comparar sus efectos sobre el diámetro del bulbo, el crecimiento de la raíz y el tallo, y la biomasa. Gracias a este proyecto podremos inferir cómo el plomo puede afectar la productividad agrícola de *A. cepa*, ya que al verse comprometida su calidad, se generaría una disminución en la oferta de esta hortaliza, con el consiguiente aumento de su precio, afectando la dieta de la población chilena y dificultando el cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible “Hambre Cero”.

→ Palabras claves

Plomo; Allium cepa; Toxicidad ambiental; Productividad agrícola

Abstract

Lead, a mutagenic agent, can intensify the function of regulatory genes, generating uncontrolled cell proliferation that may result in tumour formation, causing physiological failures and increased energy expenditure in multicellular organisms (Rey et al., 2017). The literature reports high concentrations of toxic elements in the waters of the Maipo River basin. It is established that in 80% of Santiago's drinking water, arsenic exceeds the Chilean standard by 5%, and lead surpasses the levels recommended by the World Health Organisation by 170%. This element can dissolve into drinking water due to pipe wear and erosion. In the experiment, *Allium cepa* will be exposed to lead nitrate in aqueous solution to compare its effects on bulb diameter, root and stem growth, and biomass. Through this project, we aim to infer how lead may impact the agricultural productivity of *A. cepa*, since reduced quality would lead to a decrease in supply, a price increase, and consequently affect the Chilean population's diet, hindering progress towards the Sustainable Development Goal of "Zero Hunger".

→ Keywords

Lead, Allium cepa, Environmental toxicity, Agricultural productivity

Introducción

Los factores mutagénicos, como el plomo, pueden provocar una supresión o intensificación de la función en los genes reguladores del ciclo celular, causando una descontrolada proliferación, derivando en un tumor. Los tumores generan un gran gasto energético y fallas fisiológicas en los organismos pluricelulares (Universidad de Emory, 2022). Según un estudio se evidenció altas concentraciones de elementos tóxicos en las aguas de la cuenca del río Maipo, el cual abastece el 80% del agua potable de Santiago, el arsénico sobrepasa en un 5% la norma chilena y el plomo supera en un 170% los niveles recomendados por la Organización Mundial de la Salud (Larraín, 2016). Este químico se disuelve en el agua potable cuando las tuberías del servicio se desgastan por efecto de la erosión. Los efectos del plomo sobre los humanos son patologías de origen hematológico, como por ejemplo anemia, glóbulos rojos microcíticos e hipocrómicos o inactivación de enzimas del grupo hemo (Villacís, 2018). Actualmente, hay “límites máximos” permisibles en la concentración de metales pesados establecidos por la Unión Europea (UE) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO), varían de acuerdo con el tipo de alimento, en el caso de las hortalizas de bulbo, el límite máximo de plomo es de 0,1 mg/kg (Reyes et al., 2016). Una de las causales responsables de la incorporación de metales pesados en los alimentos es el sistema hídrico, ya sea por uso de aguas contaminadas para riego de cultivos o por los procesos de erosión de las cañerías de plomo. Numerosos estudios resaltan el gran interés y preocupación por la necesidad de evaluar la contaminación de metales pesados en sistemas de agua que interactúan con productos de consumo humano, tales como los alimentos de origen vegetal y animal (Reyes et al., 2016).

Como equipo estamos muy motivados en demostrar y prevenir los peligros de la concentración de plomo en el agua sobre las plantaciones agrícolas en la especie Allium cepa, alimento esencial en la dieta de los chilenos y chilenas. Con el fin de poder evitar pérdidas significativas de alimentos y alza del precio de esos productos, disminuyendo la accesibilidad para personas de bajos recursos. También proteger la salud de los consumidores que podrían verse gravemente afectados tras su consumo de una cebolla.

Ante este desafío se nos ocurrió como un metal pesado con características mutagénicas podría afectar a una hortaliza, ya que era un tema que nos parecía interesante en términos económicos y se sabe que la dieta es una de las principales causas de cáncer (Granados et al., 2006). Además, en este último tiempo ha habido un alza de los precios en los alimentos de origen agrícola en este último tiempo (La Tercera, 2022). Y a partir de lo anterior, ¿Puede haber sido la concentración de metales pesados en el agua potable?, esta pregunta tiene una respuesta a través de una revisión bibliográfica, como es el caso del estudio donde se evidenció que el agua potable de Chile presenta altas concentraciones de estos metales (Larraín, 2016) y en otros casos en el mundo; como por ejemplo, en la población infantil de Torreón, Coahuila ubicada en Norte-centro de México se han reportado casos por envenenamiento principalmente por plomo proveniente de actividades industriales donde, por bioacumulación, se incorpora este metal a la cadena alimenticia (Reyes et al., 2016). Esto demuestra el peligro y lo que podría acontecer si alguna hortaliza se ve afectada por plomo, poniendo en riesgo la salud de los consumidores.

Por lo tanto, nuestra pregunta de investigación es ¿Cómo afecta el nitrato de plomo en disolución acuosa en el desarrollo de Allium cepa? Ante una posible respuesta a nuestra pregunta de investigación planteamos la siguiente hipótesis “Si se exponen Allium cepa en un medio con nitrato de plomo diluido en agua, entonces su biomasa, longitud y perímetro del bulbo se verán afectados, disminuyendo su variación en el crecimiento en comparación a cebollas expuestas solo a agua destilada”. Para someter a prueba nuestra hipótesis, el objetivo de la investigación es comparar los efectos en el crecimiento de cebollas expuestas a nitrato de plomo, agente mutagénico presente en altas concentraciones en el agua potable de Chile.

Chile es un país subdesarrollado miembro de la ONU que debe cumplir con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS). Uno de los ODS es “Hambre Cero”, que busca poner fin a todas las formas de malnutrición, duplicar la productividad agrícola y “aplicar prácticas agrícolas resilientes que aumenten la productividad y la producción” (ONU, 2022). Así, gracias a este proyecto podemos inferir si el plomo pudiese incidir en la productividad agrícola, lo cual disminuiría la calidad de la cebolla, bajando la oferta de esta hortaliza, así aumentando su precio y poniendo en riesgo su sostenibilidad comercial, siendo una hortaliza esencial para la dieta de la población chilena.

Hipótesis

Si se exponen Allium cepa en un medio con nitrato de plomo diluido en agua, entonces su biomasa, longitud y perímetro se verán afectados, disminuyendo su variación de crecimiento en comparación a cebollas expuestas sólo a agua destilada.

Objetivo general

Comparar los efectos en el crecimiento de Allium cepa expuestos en un medio con nitrato de plomo en disolución acuosa con otros individuos de la misma especie expuestos sólo a agua destilada.

Objetivo específicos

1. Exponer la zona suberificada de cebollas a nitrato de plomo en disolución acuosa.
2. Medir la variación de la biomasa y el tamaño longitudinal, en individuos de Allium cepa en la zona suberificada, el perímetro del bulbo y el tallo brotado en presencia y ausencia de nitrato de plomo en disolución acuosa.
3. Inferir los efectos que el plomo puede provocar sobre la productividad agrícola de la cebolla.

Metodología

Para cumplir con el objetivo general y específicos se usaron 30 individuos de *A. cepa* expuestos a diferentes concentraciones de nitrato de plomo en disolución acuosa. Estos fueron divididos en 3 tratamientos con distintas concentraciones de plomo (Pb^{2+}). El primer grupo (grupo control), fue expuesto sólo a agua destilada sin presencia de plomo. El segundo grupo (Alta [Pb]) fue sometido a una alta concentración de plomo (Pb^{2+}), con una disolución de 33,12mg/L, esta fue preparada a base de nitrato de plomo sólido ($Pb(NO_3)_2$). Y por último, el tercer grupo (Baja [Pb]) fue sometido a una menor concentración de plomo (Pb^{2+}), con una disolución de 0,1mg/L (simulando las concentraciones encontradas en el agua potable y de regadío). Todas las cebollas se sometieron a estos diferentes tratamientos a partir del miércoles 17 de agosto del año 2022. Para medir los cambios en el desarrollo de *A. cepa* evaluamos la variación de su biomasa, perímetro del bulbo, diámetro de la zona suberificada y longitud del tallo. Con la ayuda de una huincha medimos la longitud del tallo, el perímetro del bulbo. La zona suberificada en la medición inicial se consideró como 0 cm porque las raíces estaban secas antes de colocarlas en los diferentes medios.

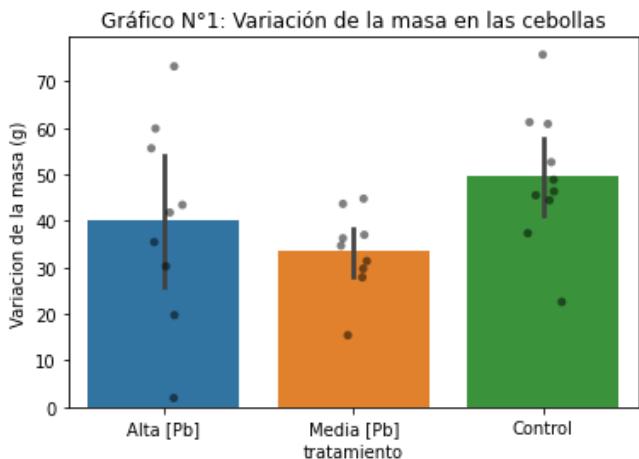
Una vez terminado el periodo de exposición de 8 semanas se realizaron las mediciones correspondientes para obtener la variación de crecimiento en los diferentes tratamientos de individuos de *A. cepa*.

El análisis de datos y el diseño de los gráficos se desarrolló en la plataforma Google Colab, programando con el lenguaje de programación Python usando las librerías Matplotlib, Pandas y Seaborn.

Resultados

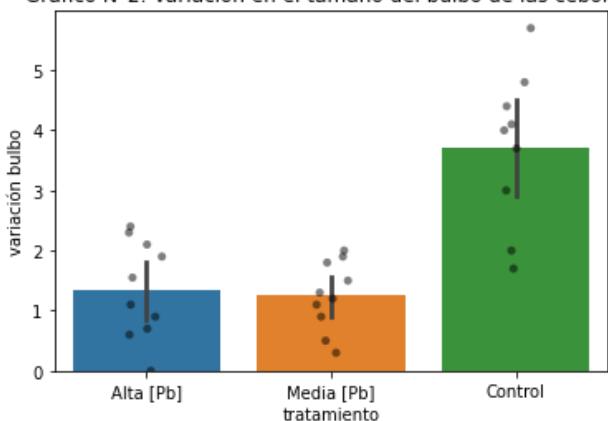
Se calculó la variación en el tamaño del bulbo, del tallo, de la raíz y de la biomasa. Para entender las diferencias que existieron entre los tratamientos, para esto se utilizaron las librerías de Python como Seaborn y Pandas. Los gráficos que se diseñaron son gráficos de barras donde se compara el promedio obtenido entre los diferentes tratamientos que nos ilustra las tendencias que existen entre ellos y así entender las leves diferencias que tienen los cambios en el desarrollo que tuvieron las cebollas frente a diferentes concentraciones de plomo. A continuación, se analizará cada gráfico comparando cada variable estudiada.

Para la variación de la masa en las cebollas (Gráfico N°1), las réplicas que estaban con altas concentraciones de plomo tuvieron un menor crecimiento promedio (42.6 g), seguida con la concentración media de plomo con 35.5 g y seguida por la variable control con 47.6 g.



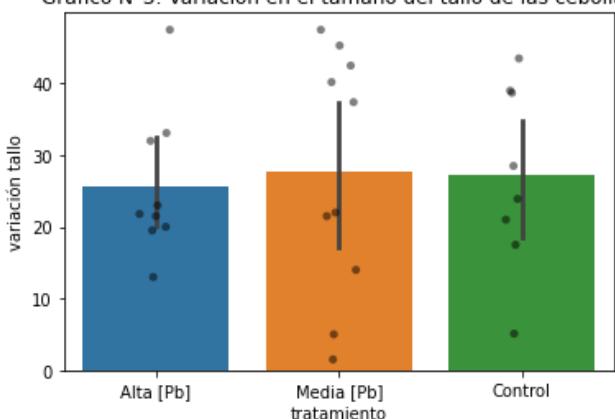
En el segundo análisis sobre la variación en el tamaño del bulbo de las cebollas (Gráfico N°2). Las cebollas con altas concentraciones de plomo presentaron un aumento en el crecimiento de 1.3 cm, bajo concentraciones medias de Pb el crecimiento fue de 1.2 cm, en cambio, en el caso del tratamiento en ausencia de plomo las cebollas crecieron con promedio de 4 cm, presentando una tendencia que las concentraciones de plomo tienen un efecto negativo sobre el tamaño del bulbo.

Gráfico N°2: Variación en el tamaño del bulbo de las cebollas



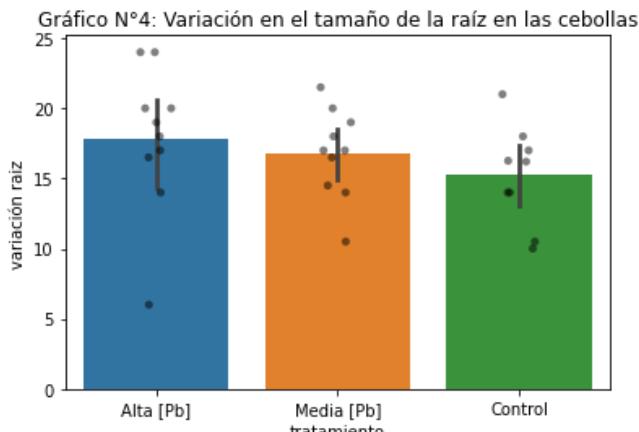
En el tercer análisis, tamaño del tallo de las cebollas (Gráfico N°3), se repite el mismo patrón que en los dos análisis anteriormente vistos. Las cebollas que estaban en altas concentraciones de plomo presentaron un aumento promedio de 22.4 cm aproximadamente, seguida por las cebollas expuestas a medias concentraciones con un promedio de 29.7 cm de crecimiento y las cebollas sin presencia de plomo tuvieron el mayor crecimiento del tallo con un 33.6 cm. Observando el gráfico se ve una tendencia similar en el tamaño del tallo en los tres tratamientos.

Gráfico N°3: Variación en el tamaño del tallo de las cebollas



Y por último, la variación en el tamaño de las raíces (Gráfico N°4), podemos ver que hubo un desarrollo directamente proporcional al grado de exposición del plomo. Las cebollas con altas concentraciones de plomo tuvieron un crecimiento más alto que el resto de los tratamientos, con un promedio de 18.5 cm; seguida por las cebollas expuestas a una concentración media con un promedio de crecimiento de 17.0 cm y las cebollas que presentaron un menor crecimiento de la raíz

fueron las que no tuvieron exposición al plomo, con un crecimiento promedio de 16.23 cm.



A partir del estudio comparativo entre las exposiciones que tuvieron las cebollas frente a diferentes concentraciones de plomo, se puede establecer que mientras mayor sea la concentración de plomo, el desarrollo de las cebollas se verá afectado en el tamaño del bulbo y de su biomasa.

Discusión

A partir de los resultados podemos evidenciar que la mayoría de los individuos de *A. cepa* expuestos a altas concentraciones de plomo (Alta [Pb^{2+}]) y las hortalizas en concentraciones similares a la del agua potable (Media [Pb^{2+}]), no crecieron adecuadamente al compararlas con el desarrollo del grupo control, lo cual implicó que se afectase tanto el tamaño del bulbo como su biomasa. Esto tiene una incidencia negativa en la productividad agrícola, porque se puede entregar una hortaliza de menor calidad, disminuyendo su oferta y aumentando su precio, haciéndola menos accesible a los estratos socioeconómicos más bajos. Además, en el tamaño del tallo no hubo grandes diferencias entre los tratamientos, estructura de la cebolla que no tiene importancia comercial. Sin embargo, hubo una relación directa en el caso del tamaño de la raíz, donde las cebollas expuestas a altas [Pb^{2+}] tuvieron un mayor crecimiento en la zona suberificada, esto se puede deber porque el plomo al ser un factor mutagénico, acelera la división celular aumentando la proliferación celular, produciendo raíces más largas que en condiciones normales.

La totalidad de nuestros objetivos se cumplieron exitosamente, ya que logramos exponer las cebollas *A. cepa* a una disolución acuosa con plomo, se midieron todas las variables establecidas como, perímetro del bulbo, biomasa, longitud del tallo y tamaño de la zona

suberificada. Por último, gracias a los resultados obtenidos evidenciamos el efecto negativo que tiene el plomo presente en el agua potable sobre la productividad agrícola de las cebollas *A. cepa* e inferir los riesgos económicos que pueden tener en el desarrollo sostenible de esta hortaliza, porque este modelo procura el cuidado de la dimensión económica en un país que es miembro de la ONU como Chile.

Al observar los resultados a través de los gráficos nos cuestionamos qué tan factible sería aumentar la replicabilidad, esto quiere decir incrementar la cantidad de cebollas por tratamiento, ya que a medida que se agreguen cebollas la variación dentro de los tratamientos será menor y el resultado será más exacto. También nos surgió la iniciativa de conocer las concentraciones reales presentes en el agua potable por medio de procedimientos químicos y no guiarse por medio de los informes que presenta el Estado.

Conclusiones

Como conclusión, en nuestro trabajo logramos evidenciar los efectos del plomo en cebollas *A. cepa* para observar que las variables con importancia económica como el tamaño del bulbo y la biomasa tienen un efecto negativo al ser expuestas a plomo. En cambio, en el tamaño del tallo no se observaron grandes diferencias, lo cual no es de gran importancia, ya que la estructura no es relevante para su comercialización. Y por último, en el tamaño de las raíces sucede una situación inversa en donde las cebollas expuestas a altas concentraciones de plomo crecieron en mayor medida a diferencia de los otros tratamientos. Por lo tanto, inferimos que este contaminante puede provocar mutaciones sobre los oncogenes, genes reguladores que aceleran el ciclo celular. Esto sucede ya que el plomo al ser un factor mutagénico acelera la división celular, por ende la proliferación celular aumentando el tamaño de las raíces, observándose los resultados obtenidos.

Como proyección al trabajo de investigación es necesario conocer como otras sustancias tóxicas podrían influir en el desarrollo no solo de hortalizas, sino también en cultivos de especies nativas como la quinoa. También comparar como diferentes cultivos se ven podridos ver afectados a partir de agua potable proveniente desde diferentes partes de la Región Metropolitana.

Bibliografía

- Carrizo. E, Osorio. D.(19 de agosto de 2022). Los precios de los principales productos de la canasta dieciochera anotan sus niveles más altos de los últimos años. La Tercera. Recuperado 28 de agosto del 2022. [<https://www.latercera.com/pulso/noticia/los-precios-de-los-principales-productos-de-la-canasta-dieciochera-anotan-sus-niveles-mas-altos-de-los-ultimos-anos/U7VJC7H7NJGRDKLJQVWYI3A4TI/>]
- Granados, S., Quiles, J. L., Gil, A., & Ramírez-Tortosa, M. C. (2006). Lípidos de la dieta y cáncer. Nutrición hospitalaria, 21, 44-54.
- Larraín S.(20 de marzo de 2016). Alto Maipo y la contaminación del agua que abastece Santiago. Cooperativa. Recuperado 28 de agosto del 2022.
- Rey, A. R., Luna, L. C., Cantillo, G. M., & Espinosa, M. E. S. (2017). Efectos nocivos del plomo para la salud del hombre. Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas, 35(3), 251-271.
[<https://opinion.cooperativa.cl/opinion/medio-ambiente/alto-maipo-y-la-contaminacion-del-agua-que-abastece-santiago/2016-03-20/064424.html>]
- Lerda, D. E. (1992). Estudio citogenético y bioquímico en personas expuestas al plomo (Doctoral dissertation, Universidad Católica de Córdoba).
- Mantilla Villacís, R. G. (2018). Determinación de metales pesados y pérdidas poscosecha en dos hortalizas de consumo directo, pimiento (*Capsicum annuum*) y cebolla (*Allium cepa*) (Bachelor's thesis, Quito: UCE).
- Organización Mundial de las Naciones Unidas. (s.f.) Objetivo 2: Poner fin al hambre. Objetivos de desarrollo sostenible. Recuperado 28 de agosto del 2022. [<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/hunger/>]
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Lagos, M. D., & Jimenez, E. E. G. (2016). Contaminación por metales pesados: implicaciones en Salud, ambiente y seguridad alimentaria. Ingeniería Investigación y Desarrollo: I2+ D, 16(2), 66-77.
- Universidad de Emory. (s.f.). Genes del cáncer. CancerQuest. Recuperado 28 de agosto del 2022.
[<https://www.cancerquest.org/es/biologia-del-cancer/genes-de-cancer>]