

Citotoxicidad por plomo en *Solanum lycopersicum* L. (Solanaceae) “tomate”

Lead cytotoxicity in *Solanum lycopersicum* L. (Solanaceae) “tomato”

Nelly Carranza Rodríguez

Escuela de Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias Biológicas,
Universidad
Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s. n., Trujillo, PERÚ
carranzarodrigueznelly@gmail.com

Ana Marlene Guerrero Padilla

Departamento Académico de Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias
Biológicas, Universidad
Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s. n., Trujillo, PERÚ
mguerrero@unitru.edu.pe // <https://orcid.org/0000-0003-0008-3785>

Resumen

Se determinó el efecto citotóxico de plomo en células meristemáticas de raíces apicales secundarias de *Solanum lycopersicum* L. (Solanaceae) "tomate" de la variedad Río Grande, fueron sometidos a cuatro tratamientos (0.5, 1, 3 y 5 mg/l de plomo) y el testigo, se realizó la evaluación de las plántulas tomando en consideración los indicadores morfométricos y fisiológicos. Se llevó a cabo la fijación y coloración con orceína acética al 2% y ácido clorhídrico 1N. Mediante observaciones microscópicas del proceso mitótico, se determinó el índice mitótico y los índices de fases, dependiendo de las concentraciones se observó un aumento del índice de profase asociado a la disminución del índice mitótico conforme aumentaba la concentración de plomo en cada tratamiento; asimismo se pudo determinar las anomalías celulares. Se realizó el análisis de varianza (ANAVA) donde los resultados revelaron que si existe diferencia significativa entre cada tratamiento ($P>0.05$). Finalmente se observó anomalías celulares para todas las concentraciones de plomo, encontrando células binucleadas, células alargadas, hiperchromasia, células sin núcleo, micronúcleos y puente en anafase. Concluyendo que a medida que incrementa la concentración de plomo el índice de división celular de *Solanum lycopersicum* L. (Solanaceae) "tomate" es menor.

Palabras clave: citotoxicidad, plomo, anomalías celulares, *Solanum lycopersicum*

Abstract

Lead cytotoxic effects was determined in meristematic cells of secondary apical roots of *Solanum lycopersicum* L. (Solanaceae) "tomato" by using Río Grande variety, they were subjected to four treatments (0.5, 1, 3 and 5 mg/l of lead) and control. The seedling evaluation was carried out taking into consideration morphometric and physiological indicators. Fixation and stained were carried out with 2% acetic orcein and 1N hydrochloric acid. Through microscopic observations of the mitotic process, mitotic index and phase indices were determined, depending on concentrations, an increase in prophase index associated with a decrease in mitotic index was observed as lead concentration increased in each treatment; likewise, cellular anomalies could be determined. Variance analysis (ANAVA) was performed results there is a significant difference between each treatment ($P>0.05$). Cellular anomalies were observed for all lead concentrations, finding binucleated cells, elongated cells, hyperchromasia, cells without nucleus, micronuclei and a bridge in anaphase. Finally, when lead concentration increases, the rate of cell division of *Solanum lycopersicum* L. (Solanaceae) "tomato" is lower.

Key words: cytotoxicity, lead, cellular abnormalities, *Solanum lycopersicum*

Citación: Carranza, N. & A. Guerrero. 2022. Citotoxicidad por plomo en *Solanum lycopersicum* L. (Solanaceae) "tomate". *Arnaldoa* 29(1): 185-204 doi: <http://doi.org/10.22497/arnaldoa.291.29112>

Introducción

En la actualidad, la contaminación del suelo por metales pesados se está convirtiendo en uno de los problemas ambientales más graves provocados principalmente por la actividad humana, sin embargo, algunas especies vegetales han formado mecanismos fisiológicos y bioquímicos para reducir su impacto controlando la acumulación en las raíces

y la traslocación de estos a los diferentes órganos vegetativos (Mendieta & Taisigüe, 2014). Los "metales pesados" se relacionan a un grupo de elementos con propiedades metálicas y semimetálicas, que no son esenciales y son tóxicos para los organismos. (Jadia & Fulekar, 2009) Tanto en su forma elemental y de sal soluble; los metales como el cadmio, níquel, plomo, mercurio, zinc, cromo y cobre son altamente tóxicos (Robinson *et al.*, 1997). Su existencia en el

suelo, en el agua y en la atmósfera e incluso en mínimas cantidades puede ocasionar graves problemas en la salud animal y vegetal (Hettiarachchi & Pierzynski, 2002).

Los metales pesados una vez que se encuentran en el suelo pueden permanecer en él, así mismo también pueden fluir en la solución de los suelos a través de distintos mecanismos biológicos y químicos. De igual forma, pueden bioacumularse en distintos cultivos, provocando un incremento de la concentración de estos metales pesados en los tejidos vegetales, y al ser absorbidos por las plantas se incorporarán a la cadena de nutrientes, provocando graves daños al ecosistema (Prieto *et al.*, 2009). La presencia de metales pesados en el suelo tendría efectos negativos en las plantas, no obstante, las plantas muestran una secuencia de mecanismos de resistencia a dichos contaminantes. Entre los efectos negativos que ocasionan los metales pesados se encuentran; la inhibición del crecimiento de las plantas incluidas las raíces y otros órganos (Navarro-Aviñó *et al.*, 2007). De manera similar, la existencia de metales pesados en las células puede conducir a la presencia de especies reactivas del oxígeno (ROS), causando estrés oxidativo y, por lo tanto, se producirá inestabilidad de la membrana celular (Truchado, 2014).

La planta usa este mecanismo de tolerancia en el interior de la célula para detoxificar los metales pesados. De esta manera, el metal se sumerge en interacciones químicas, y durante el proceso metabólico la planta no elimina el metal, sino más bien lo bioacumula en el citoplasma de la célula, por lo que sigue siendo potencialmente tóxico (Navarro-Aviñó *et al.*, 2007). Se realizaron estudios en *Brassica oleracea* "col", concluyendo que esta especie acumula menor concentración de plomo en las raíces, a diferencia que a las partes aéreas la

acumulación es mayor la concentración de plomo (Hoyos & Guerrero, 2013). En ciertas especies, a medida que la dosis acumulada de plomo aumenta en el suelo, tiende a aumentar rápidamente a los órganos de las plantas, provocando su muerte (Rodríguez *et al.*, 2006). El mecanismo de fitotoxicidad del Pb está relacionado con la permeabilidad de la membrana celular, la reacción del sulfhidrilo (-SH) con los cationes y la afinidad de la reacción con los grupos fosfato (Prieto *et al.*, 2009).

Estudios realizados en *Lactuca sativa* "lechuga" se concluyó que tiene la capacidad de acumular plomo en sus hojas cuando es expuesta en diferentes tiempos y concentraciones de plomo, así como morfológicos (Madueño, 2017). Asimismo, se determinaron la absorción de metales pesados (cadmio, níquel y plomo) en *Coriandrum Sativum* L. "cilantro" obteniendo como resultado la presencia de los tres metales en las hojas en diferentes concentraciones, el cilantro es una especie que puede tolerar diferentes metales y grados de concentración albergando una mayor cantidad en sus hojas comparada con sus otras partes como tallo y raíces (Cahuasqui, 2011). Las plantas al mismo tiempo que absorben y bioacumulan también tienen efectos fitotóxicos en su crecimiento causados por diferentes factores.

La fitotoxicidad se utiliza para describir el grado de efectos tóxicos de los factores fisicoquímicos, biológicos o abióticos, que pueden expresarse en diferentes órganos de las plantas. Por lo general, se manifiesta como síntomas que van desde quemaduras en la punta de las hojas hasta clorosis parcial o total (Delgadillo *et al.*, 2011). Las consecuencias incluyen un crecimiento reducido o un retraso en la pérdida de la cosecha (Fernández *et al.*,

2021). La genotoxicidad es la capacidad relativa de una sustancia para dañar el material genético y causar efectos biológicos adversos. El daño al material genético implica no solo el ADN, sino también todos los componentes celulares involucrados con el comportamiento y la función de los cromosomas en las células (Cumpa & Zavala, 2013). La presencia de anomalías celulares depende del aumento de la concentración del mutágeno, si aumenta la concentración de estos agentes, las mutaciones genéticas aumentarán directamente y las anomalías aumentarán exponencialmente. Esto muestra que cuanto menor es la concentración, mayor es el grado de toxicidad (Hemachandra & Pathiratne, 2015).

Se han realizado estudios de genotoxicidad en *Allium cepa* "cebolla" frente a diferentes concentraciones de metotrexato (Causil *et al.*, 2017), encontrando que cuanto mayor es la concentración de metotrexato, el índice de división celular de *A. cepa* "cebolla" es menor, lo que demuestra su citotoxicidad, resultados coincidentes de citotoxicidad generado por cobre (Roca-Guzmán & Guerrero-Padilla, 2021). Carriquirborde (2021) señaló el uso de *Allium cepa* L. "cebolla", *Oriza sativa* L. "arroz", *Raphanus sativus* L. "rábano" y *Beta vulgaris* L. "remolacha", para evaluar el riesgo y el potencial de toxicidad de las sustancias químicas en el medio ambiente. No obstante, el impacto de los metales pesados en las plantas vasculares aún no está claro. Desde entonces, por el acelerado crecimiento de sus raíces y la respuesta inmediata de su material genético a la presencia de potenciales agentes citotóxicos algunos agentes químicos y físicos que causan daño a nivel del ciclo celular podrían tener un efecto tóxico en el proceso de división celular en cualquier tipo de célula

eucariota. El motivo es la naturaleza cuasi universal del código genético (Silva, 2003).

Surge la preocupación de realizar estudios debido a que Meseguer (2016) realizó evaluaciones toxicológicas in vitro de los efectos producidos por cadmio, plomo, cromo y selenio en células renales hepáticas a diferentes concentraciones en tres especies de pingüinos de la Antártica en *Pygoscelis antarctica* "pingüino barbijo", *Pygoscelis papua* "pingüino" y *Pygoscelis adeliae* "pingüino", el efecto a nivel celular sobre el ciclo celular mostró que los rasgos más característicos celulares y a la vez la sobreexpresión de genes relacionados con la protección y el estrés celular, asimismo se encontró formación de cuerpos de inclusión, fuerte vacuolización, condensación mitocondrial y células con un alto grado de degeneración o necrosadas cuando son tratadas con cadmio (Waisberg *et al.*, 2003).

Solanum lycopersicum L. (Solanaceae) "tomate" es la hortaliza más cultivada y de mayor valor económico en todo el valle de Moche, Santa Catalina, cuya demanda ha incrementado, así como su cultivo, producción y comercio; no obstante, aún no se conoce la concentración real de plomo que puede dañar las células y el crecimiento de las plantas y/o causar daños graves a la salud humana, por lo que este estudio tuvo como objetivo determinar los efectos citotóxicos en células meristemáticas de *Solanum lycopersicum* L. "tomate" a diferentes concentraciones de plomo.

Material y métodos

Se realizó la germinación de las semillas de *Solanum lycopersicum* L. (Solanaceae) "tomate" de la variedad Río Grande, teniendo humus como sustrato. El estudio se llevó a cabo con cuatro tratamientos y el control o testigo.

2.1. Diseño experimental

Se utilizaron semillas de *Solanum lycopersicum* L. "tomate" de la variedad Río Grande, las concentraciones de plomo para los tratamientos fueron: 0.5, 1, 3 y 5 mg/l y el control o testigo, en la preparación de las concentraciones se empleó la fórmula: $C_1 V_1 = C_2 V_2$ (Chang & College, 2002). A los 21

días de iniciada la aplicación de los diferentes tratamientos se procedió a realizar observaciones en todas las plántulas de los 4 tratamientos tomando en consideración los indicadores morfométricos y fisiológicos (García, 2006).

2.2. Observaciones microscópicas

Para observar mitosis se cortó la parte

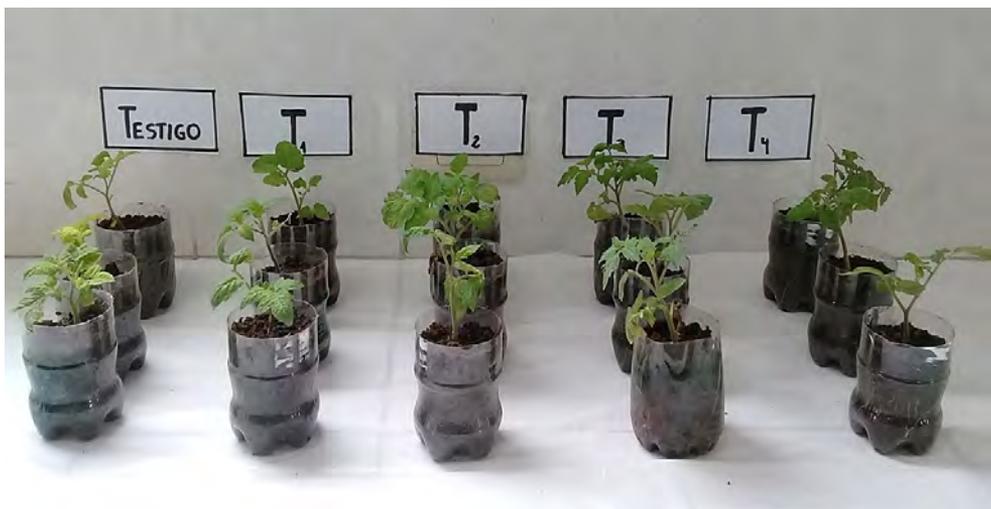


Fig. 1. Diseño experimental en plántulas de *Solanum lycopersicum* L. (Solanaceae) "tomate" para las concentraciones de plomo 0.5, 1, 3 y 5 mg/l

apical de la raíz entre uno y dos cm, posteriormente se trasladó a una luna de reloj, se añadió orceína acética al 2 % y ácido clorhídrico 1N para ser coloreados durante 25 minutos (Fiskesjö, 1997; Urteaga & Lallana, 2005; Muñoz-Solarte & Guerrero-Pepinosa, 2012).

2.3. Análisis microscópico

Se realizó el conteo de 100 células meristemáticas por campo con un total de 1250 a 3260 células por lámina observadas a través de un microscopio óptico binocular a 400 x. (Latoure *et al.*, 1995). Se determinó el índice mitótico (im), evalúa el número de células en mitosis presentes en el tejido, el cual es una medida de su potencial

proliferativo, permite conocer si existe inhibición en el proceso de división celular. Si el valor obtenido es menor que el valor de la solución de control, se puede afirmar que está inhibido. Por el contrario, si el valor obtenido es mayor, significa que existe inhibición que aumenta la división celular. Para el cálculo de las figuras mitóticas anormales se dividió al total de alteraciones de cada fase entre el total de cada fase normal (Latoure *et al.*, 1995).

2.4. Análisis estadístico

Considerando que se trata de una prueba estandarizada, para el análisis de datos se consideró el protocolo descrito y se empleó estadística descriptiva para la

determinación de la frecuencia celular en cada una de las fases del ciclo celular. Con los datos adquiridos se elaboró el análisis de varianza (ANAVA) (Wackerly *et al.*, 2010).

Resultados y discusión

plántulas de *Solanum lycopersicum* L. "tomate" sometidas a las concentraciones 0.5, 1, 5 mg/l de plomo

	Altura de la planta(cm)	Altura de la primera rama (cm)	Número de hojas	Número de ramas/ hojas	Número de raíces / planta	Longitud de la raíz principal(cm)
Control	6.933	3.866	7.33	3.334	7.43	8.13
0.5 mg/l	6.966	4.3	7.66	3	8	7.56
1 mg/l	7.5	4.366	7.33	3.66	6.33	8.96
3 mg/l	7.766	4.65	8.33	3.333	7.33	9.23
5 mg/l	7.933	4.66	8.33	3.66	8.33	9.26

El efecto más resaltante en las plántulas de *Solanum lycopersicum* L. "tomate" durante la aplicación de las diferentes concentraciones de plomo fue la marchitez en las hojas en las concentraciones de 3 y 5 mg/l de plomo y en las concentraciones de 0.5 y 1mg/l fue menor. Asimismo, se presentó el debilitamiento en las ramas, marchitamiento en las puntas de las hojas; notándose un color amarillo-marrón en los tejidos de las plántulas que se aplicaron concentraciones de 3 y 5 mg/l de plomo.

Durante el tiempo de aplicación de las diferentes concentraciones de plomo a las plántulas de *Solanum lycopersicum* L. "tomate", se observó que no afectó en su crecimiento (Tabla 1), el crecimiento fue normal, tal vez debido al tiempo de aplicación y a las diferentes concentraciones de plomo, el nivel de alteración en las raíces depende de la toxicidad de la sustancia y del tiempo que éstas se mantengan expuestas. (Khanna & Sharma, 2013). El síntoma que tuvo efecto rápido en las plántulas fue la marchitez, debido a que el plomo es un metal tóxico que ocasiona la disminución

Al realizar las mediciones morfológicas en cada planta se observó que tuvieron crecimiento normal en los diferentes tratamientos (Tabla 1).

Tabla 1: Variables morfométricas de las

del potencial hídrico en las hojas y del contenido en la clorofila, así como también, el cierre estomático causando la falta de CO₂ en la planta, evitando que realice una correcta fotosíntesis (Reyes *et al.*, 2013).

Al evaluar el efecto citotóxico inducido por plomo en las células del meristemo de las raíces de *Solanum lycopersicum* L. se detectó que existió inhibición en el proceso de división celular, presentó diferentes valores en el índice mitótico en las concentraciones 5, 3, 1 y 0.5 mg/l inferiores al grupo control, relacionado a la mayor concentración de plomo en los tratamientos (Tabla 1).

Estas variaciones en las actividades mitóticas, como en el índice mitótico y los índices de fase mitótica aparecieron dependiendo de las concentraciones de plomo (Fig. 2), al aumentar la concentración del tratamiento, el aumento del índice de profase se correlaciona con la disminución del índice mitótico (Tabla 2), atribuyéndose a la prolongación de la profase que afecta al eje de formación metafásica. Coincidiendo con el resultado de Berrocal *et al.* (2013)

que refirió que la intoxicación de las células ocurre en la etapa en que entran en mitosis.

En la figura 3 se observa todas las etapas de la división celular (profase, metafase, anafase y telofase) y en la figura 4 se observa la descondensación del núcleo en la profase, la separación de los cromosomas en el anafase y la formación de 2 nuevos núcleos en la telofase del testigo o control. En la tabla 2 presenta los promedios de cada fase de la división celular y la desviación estándar donde las concentraciones de 3 y 5mg/l de plomo donde se observó que hubo mayor división celular durante las 3 veces que las raicillas estuvieron expuestas a las distintas concentraciones de plomo. En el análisis estadístico (ANAVA) los resultados demostraron que si existe diferencia significativa entre cada tratamiento ($P > 0.05$). Lo que podría significar que hubo inhibición en el índice mitótico y de fases dependiendo la concentración de plomo.

La variación del índice mitótico se debe a la interferencia del tóxico en el proceso normal de mitosis, reduciendo el número de células que se dividen; la inhibición mitótica también puede ser debido a la

inhibición de la síntesis de ADN que es un requisito para que la célula se divida. Estos resultados coinciden con Restrepo *et al.* (2012) donde concluyen que la presencia de sustancias orgánicas o inorgánicas tóxicas ocasionan en la división celular, los meristemas radiculares pueden inhibirse destruyendo las células o retrasando el proceso de división celular.

Resultados similares obtuvo (Malca *et al.*, 2020) donde concluye que, a mayor era la concentración de metotrexato, disminuía la tasa de división celular de *Allium cepa* "cebolla"; porque, a mayor concentración de metotrexato, menor era el índice mitótico (Roca-Guzmán & Guerrero-Padilla). La reducción de la actividad mitótica podría ser por el bloqueo de la fase G2 del ciclo celular o por la inhibición de la síntesis de ADN, que evita que la célula entre en su ciclo de división. También puede deberse a cambios en la síntesis de proteínas nucleares y niveles reducidos de ATP que proporcionan energía para el alargamiento de los microtúbulos que forman las fibras del huso, lo que puede reducir la dinámica y el movimiento de los cromosomas (Haq *et al.*, 2016).

CON- CEN- TRA- CIONES DE Pb	IN- DICE MITO- TICO	INDICE DE FASES				DES- VIA- CION ESTAN- DAR
		PROFASE	METAFASE	ANAFASE	TELOFASE	
Control	0.692	0.944	0.100	0.077	0.056	0.415
0,5 mg/l	0.656	0.849	0.047	0.045	0.038	0.394
1 mg/l	0.612	0.952	0.034	0.022	0.019	0.432
3 mg/l	0.417	0.959	0.029	0.028	0.017	0.410
5 mg/l	0.419	0.984	0.095	0.060	0.049	0.401

Tabla 2: Índice mitótico general e índices por fases mitóticas en *Solanum lycopersicum* L. en las concentraciones 0,5, 1, 3 y 5 mg/l de plomo

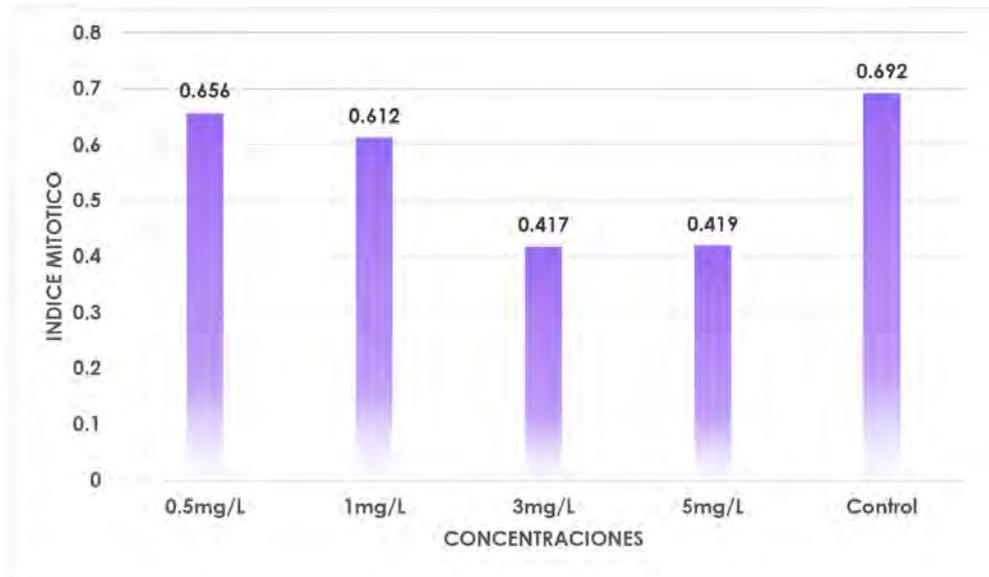


Fig. 2. Índice mitótico en *Solanum lycopersicum* L. en relación en las diferentes concentraciones de plomo

Tabla 3: Análisis de varianza (ANOVA) para los datos del índice mitótico y de fases para las diferentes concentraciones de plomo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico para F
Concentración de Pb (mg/l)	0.054	4	0.014	130.182	2.557
Índice de fases	9.909	4	2.477	23723.376	2.557
Interacción	0.211	16	0.013	126.461	1.850
Dentro del grupo	0.005	50	0.000		
Total	10.179	74			

Como $F=130 > F(\text{Tabular})=2.557$ por lo cual se rechaza la $H_0: \alpha_i=0$ al 0.05 de significancia, por lo tanto, la prueba es significativa.

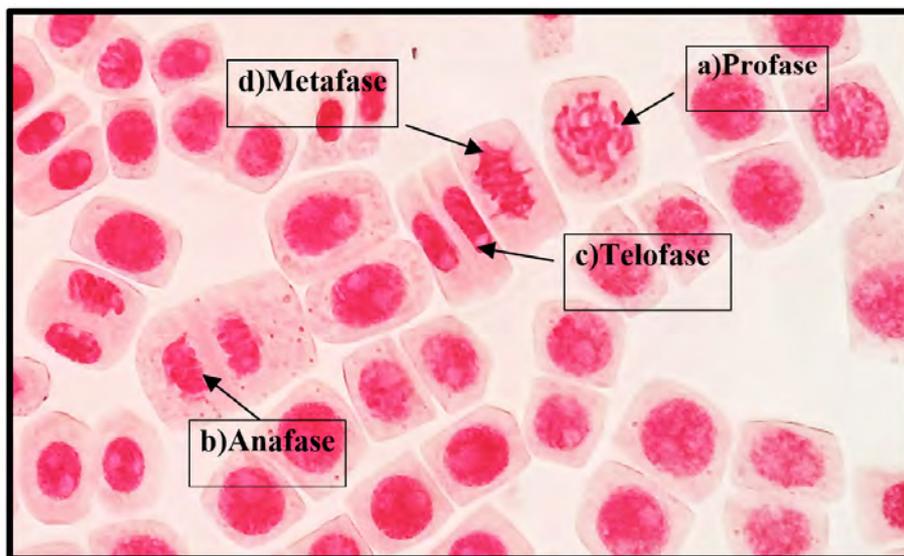


Fig. 3. Fases del ciclo celular del control a 40 x, en *Solanum lycopersicum* L. "tomate"
a) Profase; b) Anafase; c) Telofase; d) Metafase.

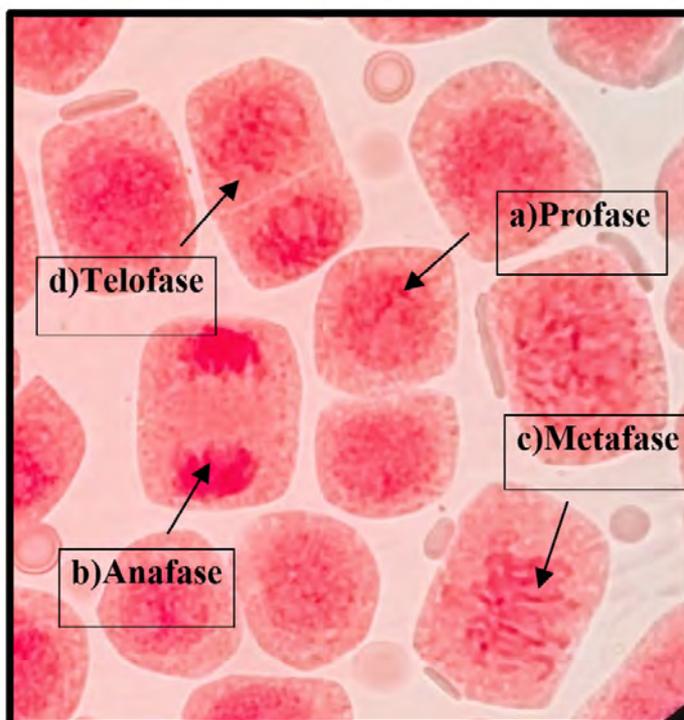


Fig. 4. Fases del ciclo celular del control a 100x, en *Solanum lycopersicum* L. "tomate"
a) Profase; b) Anafase; c) Metafase; d) Telofase.

Las fases del ciclo celular expuestas a la concentración de 0,5, 1, 3 y 5 mg/l de plomo a 40x en *Solanum lycopersicum* L. "tomate" (Fig. 5 - Fig. 9).

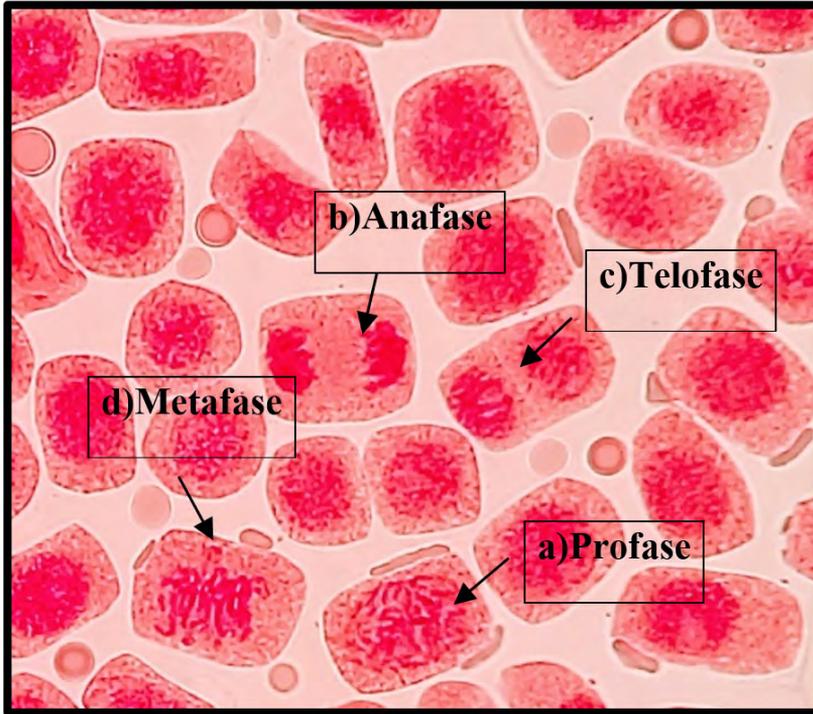


Fig. 5. Fases del ciclo celular expuestas a la concentración de 0.5 mg/l de plomo a 40x, en *Solanum lycopersicum* L. "tomate". a) Profase; b) Anafase; c) Telofase; d) Metafase.

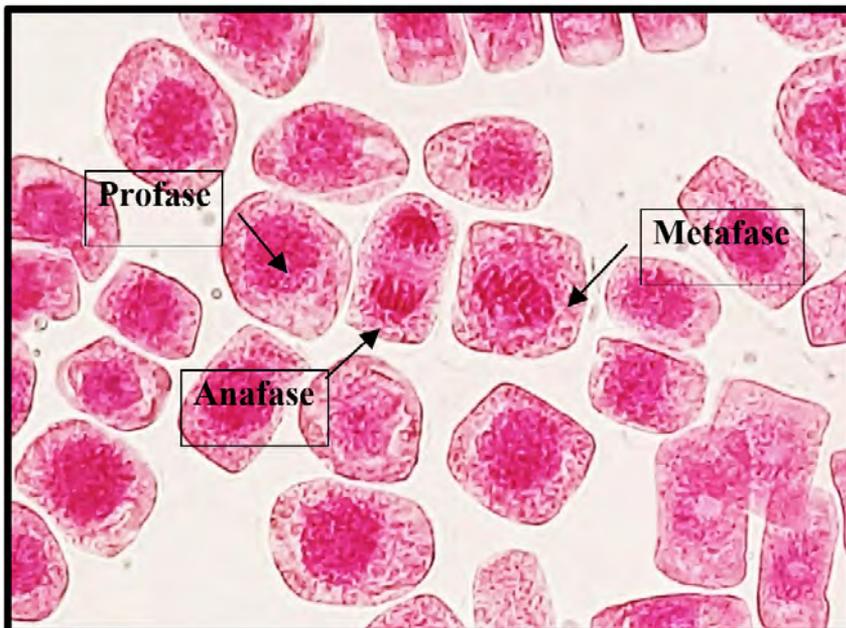


Fig. 6. Profase, anafase y metafase expuestas a la concentración de 1 mg/l de plomo a 40x, en *Solanum lycopersicum* L. "tomate"

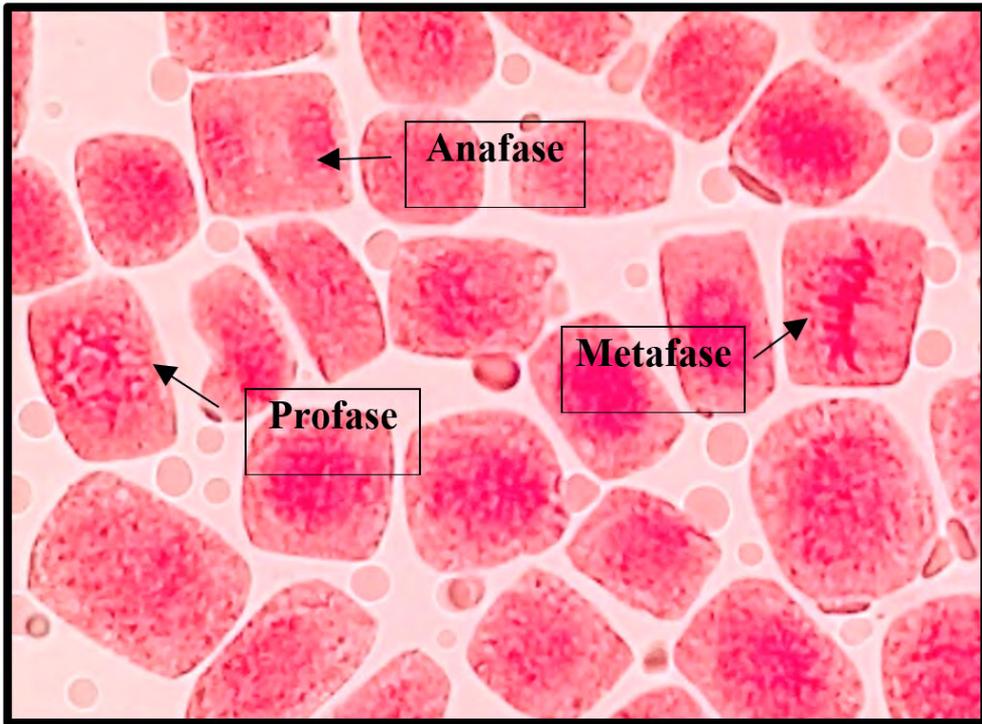


Fig. 7. Profase, anafase y metafase expuestas a la concentración de 3 mg/l de plomo a 40x, en *Solanum lycopersicum* L. "tomate"

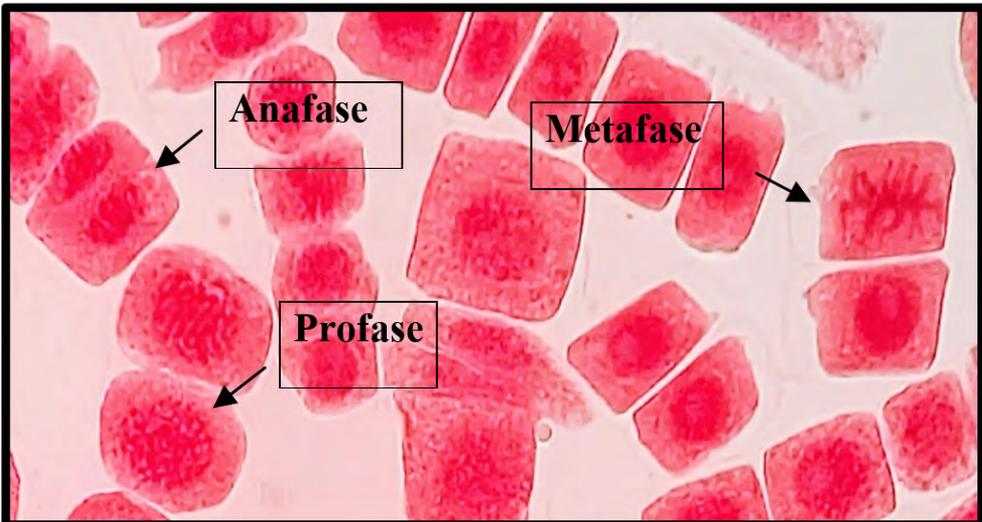


Fig. 8. Profase, anafase y metafase expuestas a la concentración de 5 mg/l de plomo a 40x, en *Solanum lycopersicum* L. "tomate"

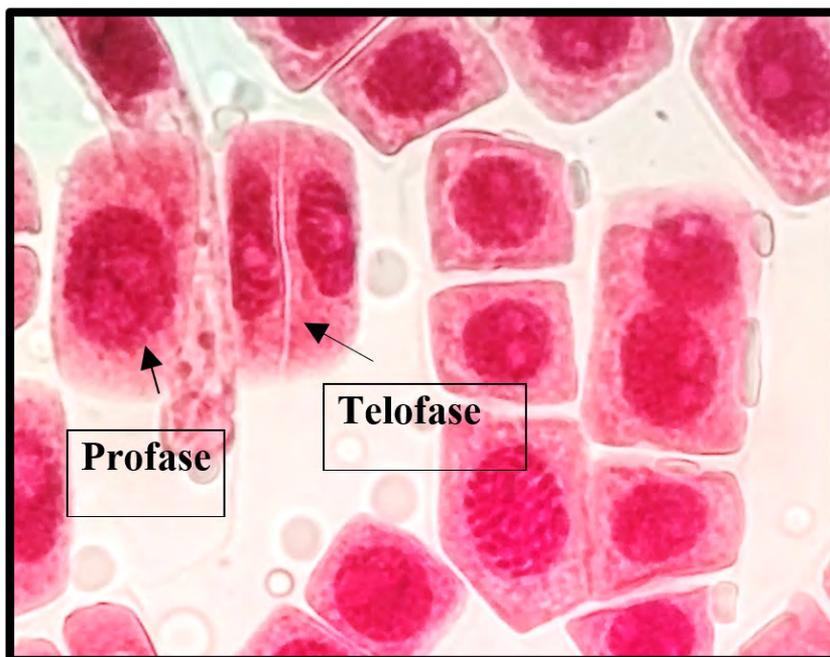


Fig. 9. Telofase y profase expuestas a la concentración de 5 mg/l de plomo a 100x, en *Solanum lycopersicum* L. "tomate"

Se reportó anomalías celulares en todas las concentraciones de plomo a 0.5, 1, 3 y 5 mg/l a excepción del control, siendo la más frecuente la hiper cromasia y las lesiones nucleares como espacios vacíos dentro de los núcleos (Tabla 4). Se observó

que en las concentraciones 3 y 5mg/l presentaron anomalías celulares más altas y a concentraciones de 0.5 y 1 mg/l presentan anomalías como la hiper cromasia, lesiones nucleares y ausencia de núcleo.

Tabla 4: Anomalías celulares y número de células anómalas halladas en las concentraciones 0.5, 1, 3 y 5 mg/l de plomo, donde "C" indica células anómalas

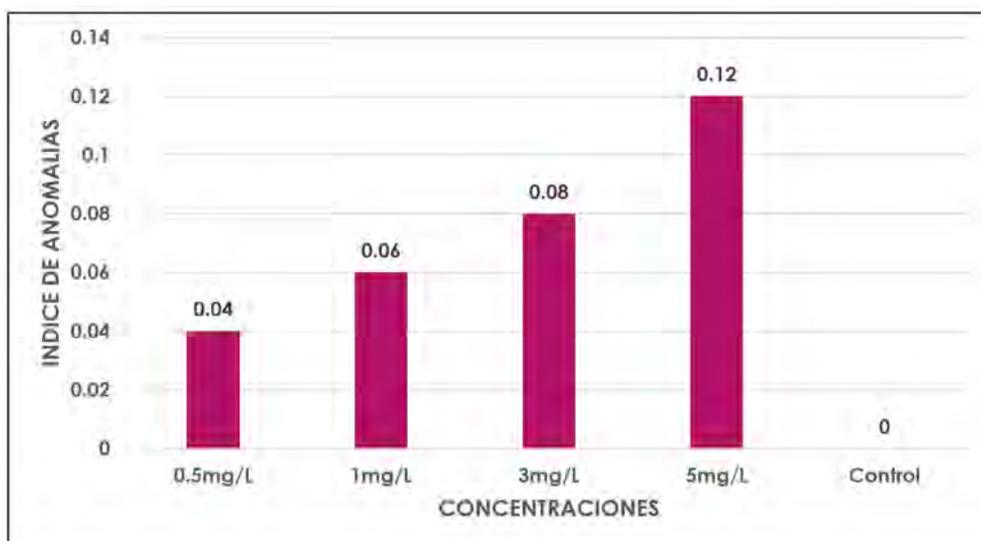
Anomalías celulares	Concentraciones				
	Control	0.5 mg/l	1 mg/l	3 mg/l	5 mg/l
Puente anafásico entre cromosomas	-	-	-	-	2C
Ausencia del núcleo	-	-	4C	35C	8C
Hiper cromasia	-	10C	5C	6C	-
Células binucleadas	-	-	-	4C	3C
Lesiones nucleares		2C	15C	25C	35C

Tabla 5: Promedio y índice de las anomalías celulares halladas en las concentraciones 0.5, 1, 3 y 5 mg/l de plomo

Anomalías celulares	Concentraciones				
	Control	0.5 mg/l	1 mg/l	3 mg/l	5 mg/l
Puente anafásico entre cromosomas	-	-	-	-	2C
Ausencia del núcleo	-	-	4C	15C	8C
Hipercromasia		9C	5C	6C	-
Células binucleadas	-	-	-	4C	3C
Lesiones nucleares	-	2C	8C	25C	35C
PROMEDIO	0	1.84	3.4	10	9.6
INDICE	0	0.04	0.06	0.08	0.12

La figura 10 presenta los índices de las anomalías celulares para cada concentración donde los valores más elevados corresponden a las concentraciones de 3 y 5 mg/l seguido por 1 y 0.5 mg/l. En las figuras 11, 12, 13, 14, 15 y 16 se muestran algunas de las células que presentan anomalías celulares en las

distintas concentraciones de plomo como células binucleadas, células alargadas, hipercromasia, células sin núcleo y puente en anafase. Se determinó en las diferentes concentraciones de plomo el promedio y el índice mitótico obteniendo el mayor índice de anomalías en las concentraciones 3 y 5 mg/l (Tabla 5).

**Fig. 10.** Índice de anomalías para las concentraciones 0.5, 1, 3 y 5 mg/l de plomo

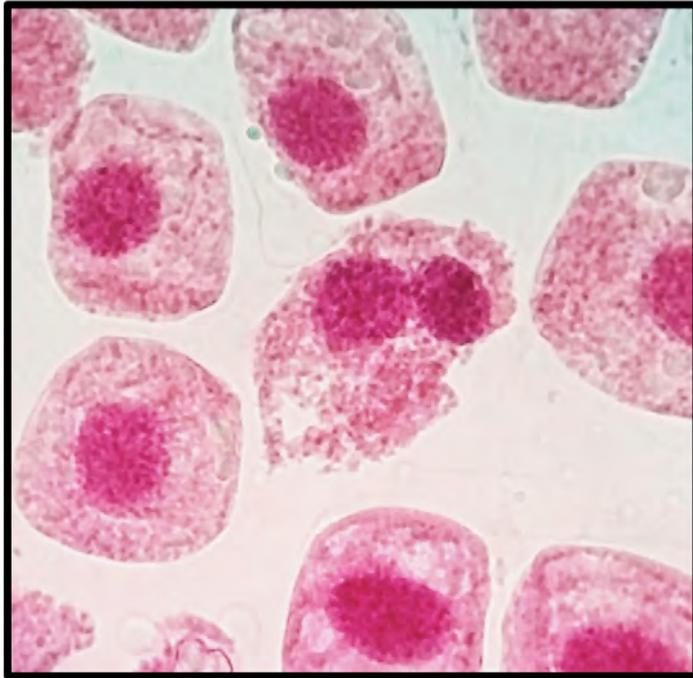


Fig. 11. Células binucleadas expuestas a la concentración de 3 mg/l de plomo a 100 x, en *Solanum lycopersicum* L. "tomate"

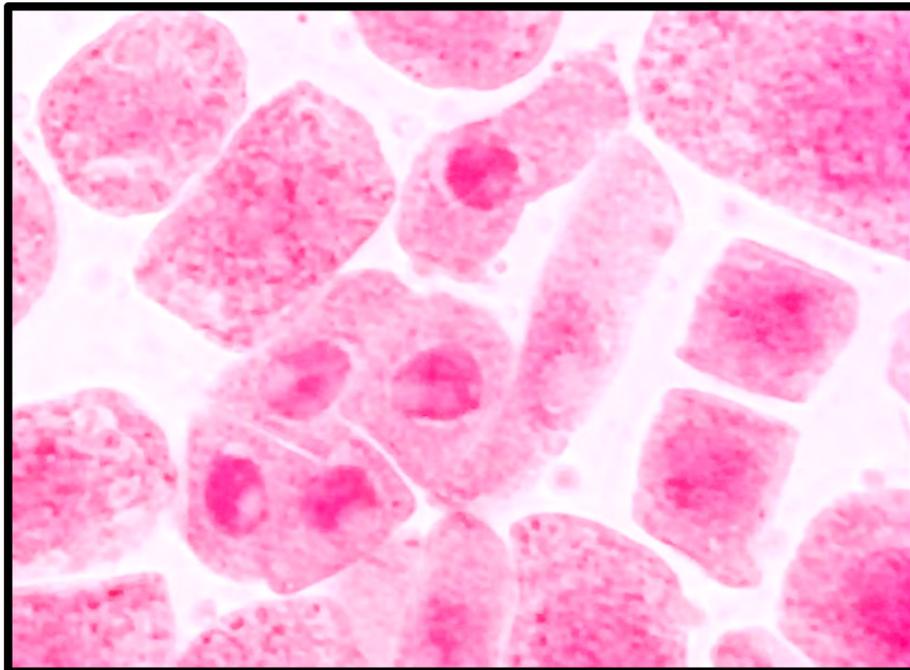


Fig. 12. Micronúcleos en células expuestas a 3 mg/l de plomo, *Solanum lycopersicum* L. "tomate"

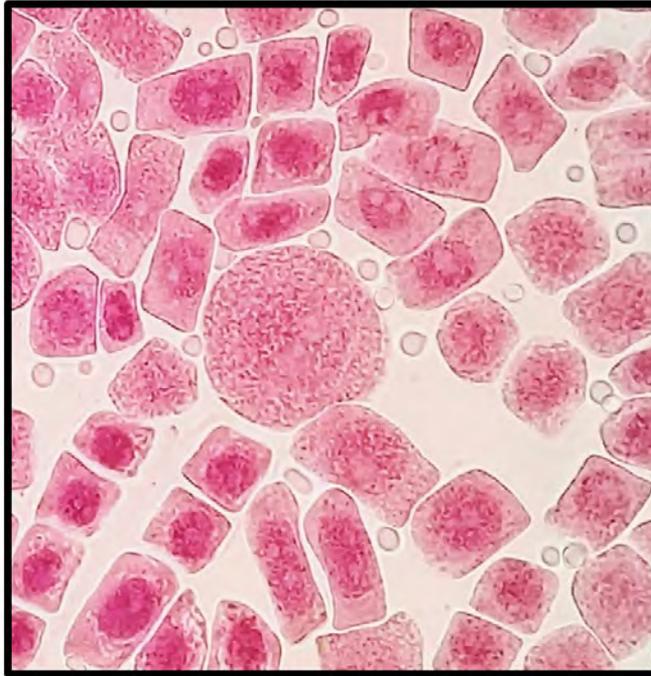


Fig. 13. Célula sin núcleo expuestas a la concentración de 5 mg/l de plomo a 100x, en *Solanum lycopersicum* L. "tomate"

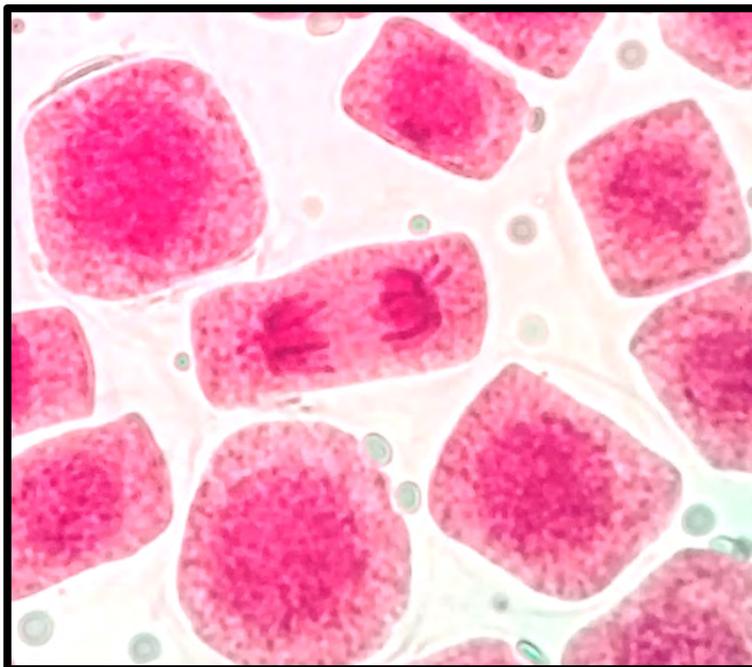


Fig. 14. Puente anafásico entre cromosomas en células expuestas a la concentración de 5 mg/l de plomo a 100x, en *Solanum lycopersicum* L. "tomate"

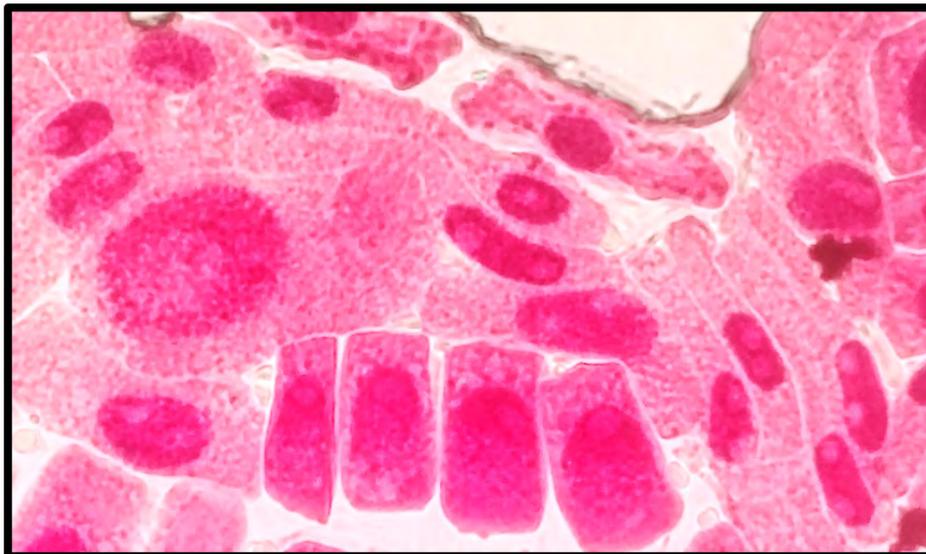


Fig. 15. Lesiones nucleares en células expuestas a la concentración de 5 mg/l de plomo a 100x, en *Solanum lycopersicum* L. "tomate"

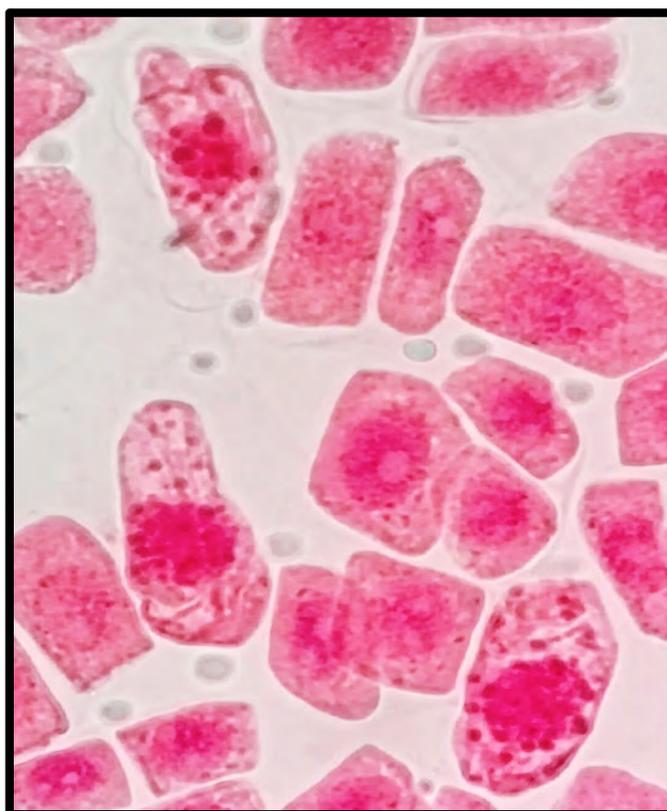


Fig. 16. Hiperchromasia en células expuestas a la concentración de 3 mg/l de plomo a 100x, en *Solanum lycopersicum* L. "tomate"

Las anomalías cromosómicas se distinguen por cambios en el número o en la estructura total de los cromosomas, que pueden suceder de forma espontánea o por efecto ante la exposición de agentes químicos o físicos (Causil *et al.*, 2017). En la presente investigación, con mayor frecuencia se hallaron anomalías cromosómicas en la concentración de 5 mg/l de plomo. El índice de anomalías fue aumentando progresivamente conforme aumentó la concentración del tratamiento (Tabla 5). Este resultado indica que el plomo causa cambios citológicos e induce una amplia gama de anomalías mitóticas en las células del ápice de la raíz de *Solanum lycopersicum* L. como células alargadas, células binucleadas (Fig. 11), células con micronúcleos (Fig. 12), células sin núcleo (Fig. 13), puente en anafase (Fig. 14), lesiones nucleares (Fig. 15) e hipercromasia (Fig. 16).

Las anomalías halladas en la presente investigación coincidieron con las reportadas por varios investigadores, quienes manifestaron la presencia de sucesos como retrasos en la citocinesis, formación de puentes, metafase con cromosoma retrasado, citocinesis desigual y células binucleadas en interfase, (Berrocal *et al.*, 2013) así como también se han obtenido resultados similares después de utilizar a células meristemáticas de raíz de *Vicia faba* "haba" usando plomo y cadmio, donde se presentó la mayor cantidad de anomalías celulares en las concentraciones de 5 y 3 mg/l (Mogollón & Plasencia, 2019). La aparición de células binucleadas (Fig.11) se encontró a las concentraciones de 3 y 5 mg/l de plomo y pueden ser producidas a causa de procesos de interferencia que ocurren tarde en la división celular y los cromosomas que no se integraron al núcleo principal a lo largo del ciclo de

división celular causan estas alteraciones (Haq *et al.*, 2016). El puente anafásico entre cromosomas (Fig. 14), se encontró en la concentración de 5 mg/l de plomo y se pueden producir por la descomposición de los brazos cromosómicos durante la división celular (telofase) debido a que los dos centrómeros se desplazan a los polos opuestos y pueden permanecer estables formando "puentes" a causa de la resistencia física que estos ofrecen. (Gonzales & Díaz, 2015). En este estudio también se encontró ausencia de núcleo, hipercromasia, daño nuclear y micronúcleos. La formación de micronúcleos indica que los errores mitóticos conducen a roturas del ADN (Causil *et al.*, 2017).

En consecuencia, *Solanum lycopersicum* L. "tomate" se ha convertido en una de las hortalizas más cultivadas y de mayor valor económico en todo el valle Moche, Santa Catalina, siendo producido y destinado para el consumo humano, en forma directa o cocida, por lo cual se podría inferir, que a grandes concentraciones de plomo dañan las células, el crecimiento de la planta y podría afectar la salud humana (Londoño *et al.*, 2016), por la concentración de los metales pesados como el plomo a grandes concentraciones causan anomalías mitóticas, originando índices de división celular con alto porcentaje de anomalías celulares; el grado de alteración en las células meristemáticas en la raíz dependerá del tiempo y del grado de exposición.

Conclusiones

El plomo generó anomalías cromosómicas en todas las concentraciones empleadas en los tratamientos del presente estudio; el mayor número de lesiones nucleares se presentó en la concentración de 5 mg/l de plomo. La tasa de división celular (inhibición de la división celular) en

Solanum lycopersicum L. "tomate" fue menor en 0.5 mg/l y fue en aumento a medida que se incrementó las concentraciones de plomo en los tratamientos.

Solanum lycopersicum L. "tomate" es una especie que brinda un modelo experimental posible de implementar para evaluaciones de efectos citotóxicos. El plomo, es un metal pesado sumamente tóxico que daña las células, el crecimiento de la planta y podría ocasionar daños a la salud del hombre, debido a que el metal pesado se bioacumula en el organismo.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional de Trujillo donde trabajo y me brinda las facilidades de realizar investigaciones en mi especialidad; asimismo, a la Universidad Privada Antenor Orrego por la oportunidad de poder publicar nuestros trabajos de investigación.

Contribución de los autores

NCR & AMGP: Desarrollo integral de la investigación y del manuscrito.

Conflicto de intereses

Los autores no tienen conflicto de interés.

Literatura citada

- Berrocal, A.; H. R. Blas; J. Flores & M. A. Siles.** 2013. Evaluación del potencial mutagénico de biocidas (vertimec y pentacloro) sobre cebolla. *Rev. Colomb. Biotecnol.* 15(1):17-27.
- Cahuasqui, S.G.** 2011. Determinación de metales pesados (plomo, cadmio y níquel) en el cilantro (*Coriandrum sativum* L) en *Aloag*, cantón Mejía, provincia de Pichincha por espectrofotometría de absorción atómica de llama. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. [En línea]: <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/12765/CARATULA%20DISERTACION.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Carriquiborde, P.** 2021. Principios de Ecotoxicología. Universidad Nacional de La Plata, Argentina. Editorial de la Universidad de La Plata 48 N°551-599/ La Plata B1900AMX/Buenos Aires, Argentina. ISBN 978-950-34-1987-8. 343pp

- Causil, L.; J. Coronado; L. Verbel; M. Vega; K. Donado & G. Pacheco.** 2017. Efecto citotóxico del hipoclorito de sodio (NaClO), en células apicales de raíces de cebolla (*Allium cepa* L.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 11(1):97-104.

- Chang, R. & W. Colleague.** 2012. Química. Séptima edición. McGraw-Hill. Colombia. 132pp.

- Cumpa, Y.C. & C.F. Zavala.** 2013. Determinación del Índice Mitótico de Meristemos Radiculares de *Allium cepa* expuestas al extracto etanólico de hojas de *Erythroxylum coca* "coca" a diferentes concentraciones y tiempos de exposición. Universidad Nacional de Trujillo. [En línea]: <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/REVSAGAS/article/view/1774>

- Delgadillo, L.; R. González; G. Prieto; I. Villagómez & O. Acevedo.** 2011. Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14:597-612. [En línea]: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tsa/v14n2/v14n2a2.pdf>

- Fernández, S; F. Llanos & C. Santa Cruz.** 2021. Citotoxicidad y genotoxicidad del extracto acuoso de *Matricaria chamomilla* (manzanilla) sobre células meristemáticas de *Allium cepa*. *Manglar* 18(2):129-133

- Fiskesjö, G.** 1997. Allium Test for Screening Chemicals: Evaluation of Cytologic Parameters. In W. Wang, J. W. Gorsuch, & J. S. Hughes (Eds.), *Plants for Environmental Studies*. Boca Raton, New York: CRC Lewis Publishers. 308-333pp. doi: <http://dx.doi.org/10.1201/9781420048711.ch11>

- García, V. D.** 2006. Efectos fisiológicos y compartimentación radicular en plantas de *Zea mays*. L expuestas a la toxicidad por plomo. Universidad Autónoma de Barcelona. España. Facultad de Ciencias. Laboratorio de Fisiología Vegetal. [En línea]: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/3676/dgv1de1.pdf?sequence=1>

- Gonzales, L. & C. Díaz.** 2015. Efecto citoreparador de *Aloe vera* L. "sábila" en tejidos embrionarios de

- Allium cepa* L. “cebolla” con daño cromosómico inducido por amoxicilina. ACC CIETNA 2(1):5-13. doi: <https://doi.org/10.35383/cietna.v2i1.146>
- Haq, I.; S. Kumar; A. Raj; M. Lohani & G. Satyanarayana.** 2016. Genotoxicity assessment of pulp and paper mill effluent before and after bacterial degradation using *Allium cepa* test. Chemosphere 169:642-650. doi: 10.1016/j.chemosphere.2016.11.101
- Hemachandra, C.K. & A. Pathiratne.** 2015. Assessing toxicity of copper, cadmium and chromium levels relevant to discharge limits of industrial effluents into inland surface waters using common onion, *Allium cepa* bioassay. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 94(2):199-203. doi: 10.1007/s00128-014-1373-8 <https://link.springer.com/article/10.1007/s00128-014-1373-8>
- Hettiarachchi, G.M. & G.M. Pierzynski.** 2002. In situ stabilization of soil lead using phosphorus and manganese oxide: Influence of plant growth. Journal of Environmental Quality, 31(2):564-573. doi: <https://doi.org/10.2134/jeq2002.5640>
- Hoyos-Cerna, M. & A.M. Guerrero-Padilla.** 2013. Bioacumulación de plomo y cadmio en *Brassica oleracea* subsp. Capitata (L.) Metzg. y *Raphanus sativus* L. Revista de Investigaciones Aplicadas SCIENDO. No. ISSN 1681-7230. Vol 16(2),70-82
- Jadia, C. D. & M.H. Fulekar.** 2009. Phytoremediation of heavy metals: Recent techniques. African Journal of Biotechnology 8(6):921-928
- Khanna, N. & S. Sharma.** 2013. *Allium cepa* root chromosomal aberration assay: A review. Indian J. Pharm. Biol.1 (3):105-119
- Latoure, J.; H. Gonzales & F. Retuerto.** 1995. Índice mitótico y de fases en el meristemo radicular de *Allium Porrum* L. “poro”. Biotempo 2,59-61
- Londoño, F.L.; M.P. Londoño & G.F. Muñoz.** 2016. Los Riesgos de los Metales Pesados en la Salud Humana y Animal. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. *Rev.Bio.Agro.* 14(2):145-153. doi: [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)145-153)
- Madueño, F.M.** 2017. Determinación de metales pesados (plomo y cadmio) en lechuga (*Lactuca sativa*) en mercados del Cono Norte, Centro y Cono Sur de Lima Metropolitana. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Farmacia y Bioquímica. [En línea]: <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/7349>
- Malca, J.; M. Incio; C. Ñique; L. Dolores; R. Díaz & J. Malca.** 2020. Evaluación del índice mitótico de meristemas radiculares de *Allium cepa* “cebolla” expuestos a diferentes concentraciones de metotrexato. Medicina naturista.14(2):117-122. [En línea]:<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7512770>
- Mendieta, W.C. & L.K. Taisigüe.** 2014. Acumulación y traslocación de metales, metaloides y no metales en plantas nativas de la zona minera de Chontales: Implicaciones para el potencial de fito-remediación. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua. Laboratorio de Biotecnología. [En línea]: https://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/p_biorem/education/research/methods/Accumulation-and-Translocation-metals-in-native-plants_Extended-abstract.pdf
- Meseguer, F.A.** 2016. Evaluación toxicológica in vitro de los efectos producidos por cadmio, plomo, cromo y selenio en células renales y hepáticas a concentraciones encontradas en tres especies de pingüino de la Península Antártica e islas asociadas. Universidad de Murcia, España. [En línea]: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=128250>
- Mogollón, R.P & S.S. Plasencia.** 2019. Efecto citotóxico de cadmio y plomo en *Vicia faba* “haba” en condiciones de laboratorio. Universidad Nacional de Trujillo, Facultad de Ciencias Biológicas. 87pp
- Muñoz-Solarte, D.M. & N. Guerrero-Pepinosa.** 2013. *Allium* test para evaluar el efecto citotóxico y genotóxico de extractos naturales en células meristemáticas de *Allium cepa*. Memorias 11(19):83-86
- Navarro-Aviñó, J., A. Aguilar & J. López-Moya.** 2007. Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. Ecosistemas 16(2):10-25. [En línea]:<http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?id=488>
- Prieto, J.; C. González; A. Román & F. Prieto.** 2009. Contaminación y Fitotoxicidad en Plantas por Metales Pesados provenientes de Suelos y Agua. Tropical and Subtropical Agroecosystems 10:29–44.

- Restrepo, R.; D. Reyes; M.C. Ortiz; F.A. Rojas & V.V. Kouznetsov.** 2012. Aberraciones cromosomales en bulbos de cebolla *Allium cepa* inducidas por moléculas híbridas 4-aminoquinólicas. *Universitas Scientiarum* 17(3):253-261. doi: <https://doi.org/10.11144/javeriana.SC17-3.aceb>
- Reyes, J.A.; J. Álvarez-Herrera & J. Fernández.** 2013. Papel del calcio en la apertura y el cierre estomático y sus interacciones con solutos compatibles. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 7(1):11-122 doi: <https://doi.org/10.17584/rcch.2013v7i1.2040>
- Robinson, B.H.; A. Chiarucci; R.R. Brooks; D. Petit; J.H. Kirkman & P.E.H. Gregg.** 1997. The nickel hyperaccumulator plant *Alyssum bertolonii* as a potential agent for phytoremediation and phytomining of nickel. *Journal Geochemical Exploration*, 59(2):75-86. doi: [https://doi.org/10.1016/S0375-6742\(97\)00010-1](https://doi.org/10.1016/S0375-6742(97)00010-1)
- Roca-Guzmán, A. & A.M. Guerrero-Padilla.** 2021. Efecto citotóxico por cobre en *Allium cepa* (Amaryllidaceae). *Arnaldoa* 28(3):727-746
- Rodríguez, J.C.; H. Rodríguez; G. Lira; J. Martínez De la Cerda & J.L. Lara.** 2006. Capacidad de seis especies vegetales para acumular plomo en suelos Contaminados. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29:239-245
- Silva, J.; B. Endtmann & J. Henriques.** 2003. *Genética Toxicología*. Primera ed. Editorial Alcana. Porto Alegre, 422pp
- Truchado, M.D.** 2014. Efectos de los metales pesados en las plantas. *Contaminación Ambiental y Biodiversidad del Máster Oficial en Técnicas de Caracterización y Conservación de la Diversidad Biológica. Máster en Técnicas de Caracterización y Conservación de la Diversidad Biológica.* [En línea]: <https://toxamb.wordpress.com/2014/12/11/efectos-de-los-metales-pesados-en-las-plantas/>
- Urteaga, F. & V. Lallana.** 2005. Optimización de una técnica de tinción para determinación de efectos citogenéticos en ápices radicales de *Allium cepa*. *Revista Científica Agropecuaria* 9(1):63-70
- Waisberg, M.; P. Joseph; B. Hale & D. Beyersmann.** 2003. Molecular and cellular mechanisms of cadmium carcinogenesis. *Toxicology* 192(2-3):95-117. doi: [10.1016/s0300-483x\(03\)00305-6](https://doi.org/10.1016/s0300-483x(03)00305-6)
- Wackerly, D.; W. Mendenhall & R. Scheaffer.** 2010. *Estadística matemática con aplicaciones*. Séptima Edición Wackerly, México. 939pp [En línea]: [https://www.cimat.mx/ciencia_para_jovenes/bachillerato/libros/\[Wackerly,Mendenhall,Scheaffer\]Estadistica_Matematica_con_Aplicaciones.pdf](https://www.cimat.mx/ciencia_para_jovenes/bachillerato/libros/[Wackerly,Mendenhall,Scheaffer]Estadistica_Matematica_con_Aplicaciones.pdf)