

EFFECTOS GENOTÓXICOS Y CITOTÓXICOS DE AGUA RESIDUAL TRATADA PARA REGADÍO EN PARQUES Y JARDINES

GENOTOXIC AND CYTOTOXIC EFFECTS OF TREATED WASTEWATER FOR IRRIGATION IN PARKS AND GARDENS

Maribel Huatuco Lozano¹  Gabriel Carlos Reyes¹  Linda Castañeda Halanocca¹ 

¹Universidad Nacional Federico Villarreal, Perú.

Correspondencia:

Mag. Maribel Huatuco Lozano
mhuatuco@unfv.edu.pe

Como citar este artículo:

Huatuco Lozano, M. ., Carlos Reyes, G. ., & Castañeda Halanocca, . L. . EFECTOS GENOTÓXICOS Y CITOTÓXICOS DE AGUA RESIDUAL TRATADA PARA REGADÍO EN PARQUES Y JARDINES. Revista De Investigación Hatun Yachay Wasi, 4(1), 51-61.
<https://doi.org/10.57107/hyw.v4i1.85>

RESUMEN

En el presente estudio se evaluaron los efectos genotóxicos y citotóxicos del agua residual tratada para el riego de áreas verdes de los parques y jardines del Distrito de San Miguel, aplicando la prueba de *Allium cepa* L; así como, el crecimiento de la longitud de las raíces en *Lactuca sativa*. Esta investigación tuvo un diseño experimental con dos tratamientos y un grupo control con tres repeticiones. Los resultados obtenidos en el índice mitótico (IM) de las muestras con agua residual tratada no presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$), lo que evidencia que no existe efectos citotóxicos al no observarse cambios estructurales en las células meristemáticas de *Allium cepa* L. El grupo control presentó una longitud promedio de la raíz de 22,33 mm y de la raíz con agua residual tratada fue 18,95 mm; la elongación radical residual normalizado (IER) fue -0.1514, el cual es considerado como baja toxicidad. Se determinó que el agua residual tratada empleada, para el riego de parques y jardines no genera efectos genotóxicos ni citotóxicos en las células meristemáticas de *Allium cepa* L.; así como, baja toxicidad en *Lactuca sativa*, por lo que las aguas residuales tratadas, pueden ser utilizadas en el riego de parques y jardines en el distrito de San Miguel, posiblemente debido a la capacidad que tiene el ADN para repararse.

Palabras clave: *Allium cepa* L., efecto genotóxico, efecto citotóxico, agua residual tratada, índice mitótico.

ABSTRACT

In the present study, the genotoxic and cytotoxic effects of treated wastewater for irrigation of green areas in parks and gardens in the San Miguel District were evaluated, applying the *Allium cepa* L test, as well as the growth of root length in *Lactuca sativa*. This research had an experimental design with two treatments and a control group with three repetitions. The results obtained in the mitotic index (MI) of the samples with treated wastewater did not present significant differences ($p > 0.05$), which shows that there are no cytotoxic effects since no structural changes were observed in the meristematic cells of *Allium cepa* L. The control group presented an average root length of 22.33 mm and the root with treated wastewater was 18.95 mm; the normalized residual root elongation (RRE) was -0.1514, which is considered low toxicity. It was determined that the treated wastewater used for irrigation of parks and gardens does not generate genotoxic or cytotoxic effects on the



meristematic cells of *Allium cepa* L.; as well as low toxicity in *Lactuca sativa*, so the treated wastewater can be used in irrigation of parks and gardens in the district of San Miguel, possibly due to the capacity of DNA to repair itself.

Keywords: *Allium cepa* L., genotoxic effect, cytotoxic effect, treated wastewater, mitotic index.

INTRODUCCIÓN

La conservación y manejo sostenible de los recursos hídricos representan uno de los desafíos más significativos que enfrenta la humanidad en la actualidad. La calidad del agua reutilizada en procesos de reciclaje tiende a degradarse con la acumulación de una variedad de especies inorgánicas y orgánicas, alterando así la composición química del sistema (Muzindaa y Schreithofer, 2018).

Según la Asociación Iberoamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS) el reuso del agua es el uso del agua residual tratada en actividades municipales, industriales, comerciales y agrícolas, de manera técnicamente confiable y ambientalmente segura (AIDIS, 2016).

En el Perú, según reportó la Autoridad Nacional de Agua (ANA) en 2019, solo el 14 % de las aguas residuales recolectadas por SEDAPAL recibieron tratamiento secundario o terciario, y de este volumen, solo la mitad es reusada en riego; mientras que el restante es descargado al mar o a los ríos (Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI]. ANA, 2019).

El uso de aguas residuales sin o con tratamiento inadecuado como fuente de riego presentan consecuencias que se clasifican en tres grupos: efectos nocivos para la salud humana; efectos ambientales negativos y repercusiones desfavorables para las actividades económicas ((Schreiner et al., 2024).

El progreso industrial ha tenido un impacto significativo en los sistemas acuáticos, evidenciado

por la influencia adversa de fuentes clave de contaminación como efluentes industriales, aguas residuales, residuos mineros, fármacos, desechos alimentarios y veterinarios, disposición de residuos sólidos; así como, fertilizantes y pesticidas. Estos contaminantes abarcan desde microorganismos patógenos, compuestos orgánicos e inorgánicos, aniones y cationes, hasta hidrocarburos aromáticos, policíclicos y bifenilos policlorados, entre otros (Velásquez et al., 2022).

La exposición a estos contaminantes en el agua puede ser principalmente preocupante para los organismos acuáticos, debido a que están directamente sometidos a niveles más altos de contaminación. Los efectos, pueden incluir desde cambios en la reproducción y el crecimiento, hasta impactos más graves en la función biológica y la supervivencia de las especies. Además, pueden bioacumularse a lo largo de la cadena alimentaria, afectando a especies superiores, incluidos los seres humanos que consumen recursos acuáticos contaminados; por lo que, tienen la capacidad de interactuar con el material genético, causando daño o mutaciones en el ADN; estos agentes comúnmente llamados citotóxicos, genotóxicos y/o mutagénicos, afectan a los organismos que habitan en áreas influenciadas por la presencia de descargas de efluentes contaminantes (Ibáñez y Angulo, 2022). Por ello, estos autores determinaron los efectos fitotóxicos y genotóxicos de aguas superficiales usadas para riego, empleando el protocolo, para la evaluación genotóxica en cuerpos de agua con células de raíces de cebollines (*Allium cepa* L.). Los bulbos fueron expuestos a muestras de aguas del río Camacho, el sistema de riego Guadalquivir-

CENAVIT Calamuchita y el canal de riego Calamuchita, Bolivia, en época de sequía y de lluvia; observándose efectos genotóxicos significativos en los bulbos expuestos a las diferentes muestras de agua en todos los lugares, con leves diferencias entre ambas estaciones.

Por otro lado, el crecimiento urbano constante obliga a las ciudades a realizar una planificación del desarrollo que enfrente problemas específicos, debido a las dinámicas sociales en constante cambio. Entre las prioridades a abordar, destaca el tratamiento de aguas residuales, para cubrir las necesidades básicas que aún no se han satisfecho (Morales y Vergara, 2023).

En Latinoamérica, Chile cuenta con la mayor cobertura de saneamiento de aguas residuales (99,85 %), mediante la utilización de tecnologías convencionales, sobre todo lodos activos y lagunas aireadas, y no convencionales como biofiltro, vermi-biofiltro, entre otros. Abello et al. (2020) investigaron la ecoeficiencia de diferentes tecnologías utilizadas en 15 plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas en Chile. Los resultados mostraron que el vermi-biofiltro fue la tecnología más ecoeficiente en términos de cambio climático y eutrofización de agua dulce, destacando que las tecnologías emergentes no convencionales pueden ser más sostenibles que las tecnologías convencionales.

Por lo expuesto anteriormente, el objetivo de este estudio fue determinar los efectos genotóxicos y citotóxicos de agua residual tratada para riego en parques y jardines.

MATERIALES Y MÉTODOS

Es un estudio con diseño experimental con dos tratamientos y un grupo control, con tres repeticiones.

Selección de parques

Se revisó la página web de la municipalidad del

distrito San Miguel, encontrándose 39 parques. Se tomó como criterio para la selección de los parques el tipo de riego que se empleó; en este caso, el sistema de riego tecnificado por aspersión, debido a que facilita la toma de muestra del agua residual tratada en un horario fijo, a diferencia del riego por camiones cisterna. También se consideró la ubicación de los parques a avenidas principales, por lo tanto, se identificó el Parque Juan Pablo II ubicado en la Av. Riva Agüero c/ Av. La Marina cerca de Plaza San Miguel.

La muestra fue el agua residual tratada y utilizada para el riego de los parques y jardines del distrito de San Miguel, el cual cuenta con una planta de tratamiento de agua residual.

Los bioensayos fueron realizados en los laboratorios de Biología y Microbiología de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Facultad de Ingeniería Industrial y de Sistemas de la Universidad Nacional Federico Villarreal.

Toma de muestras

Se procedió a tomar la muestra del agua residual tratada de los parques seleccionados del distrito de San Miguel, para ello, se utilizaron frascos de boca ancha de 500 mL de capacidad, de primer uso y fueron trasladados en un cooler, para mantener la cadena fría hasta llegar al laboratorio.

Material biológico

Se usaron 30 bulbos de cebolla (*Allium cepa* L), considerando su uniformidad en tamaño y características morfológicas semejantes (Basu y Tripura, 2021), con un peso de 98 g en promedio, secos y sin formación de hojas y/o raíz. Los bulbos fueron limpiados mediante la eliminación de la epidermis seca y remoción de los restos de tejido y raíces secas, sin dañar las raíces primordiales.

Los bulbos fueron asignados a dos grupos de tratamiento y expuestos al agua residual tratada

(grupo 1: 100 % y grupo 2: 50 %) y un grupo control, con agua pura en condiciones ambientales; al cabo de 96 horas de exposición, se evidenció el crecimiento radicular.

Se utilizaron el registro de evaluación de la citotoxicidad – Índice mitótico en *Allium cepa* L. y el registro de genotoxicidad – aberraciones cromosómicas en *Allium cepa* L. Luego, de haber culminado el experimento, se procedió a preparar las láminas para la observación de las células meristemáticas en mitosis y se realizó el conteo de 1000 células.

Análisis del crecimiento de la longitud de las raíces

Se evaluó la longitud a partir de cada bulbo como parámetro anatomo-fisiológico; se evaluó el crecimiento de la longitud de las raíces en la lechuga (*Lactuca sativa*), expresada en mm. Se determinó la elongación radical residual normalizado (IER) (Bagur et al., 2010; Silva et al., 2020).

$$IER = \frac{Elong_x - Elong_{testigo}}{Elong_{testigo}} * 100 \quad (1)$$

Donde:

$Elong_x$ = Longitud promedio de la raíz germinado control.

$Elong_{testigo}$ = Longitud promedio de la raíz germinado con agua residual tratada.

Evaluación de citotoxicidad se usaron los siguientes índices (Elena et al., 2017; Kusumaningrum et al., 2012).

- **Determinación del índice mitótico**

Es el porcentaje de células que se encuentran en cualquiera fase de la mitosis (profase, metafase, anafase o telofase). Su contabilización otorga información del estado del ciclo celular (Aslanturk, 2024; Bonciu et al., 2018).

$$\text{Índice mitótico} = \frac{\text{Número de células en mitosis}}{\text{Total de células contadas}} * 100 \quad (2)$$

- **Determinación del índice interfásico**

$$\text{Índice interfásico} = \frac{\text{Número de células en interfase}}{\text{Número total de células}} * 100 \quad (3)$$

- **Índice de cada fase:** (Barberio et al., 2009; Barros et al., 2009).

$$\text{Índice de cada fase} = \frac{\text{Número de células por fase}}{\text{Número de células en mitosis}} \quad (4)$$

Evaluación de genotoxicidad

Para la evaluación, se consideraron daño cromosómico o clastogénesis (fragmentos acéntricos, puentes anafásicos o telofásicos, anillos, micronúcleos) y anomalías en la segregación de las cromátidas y citocinesis (cromosomas rezagados, C-metafases, poliploides, husos tripolares o multipolares, anafases desorganizados, células binucleadas, mini células (Abello et al., 2020; Bonciu et al., 2018; Ventura et al., 2016).

Análisis estadístico

Se utilizó el software RStudio versión 4.2.2 y se realizó la prueba de ANOVA, para comparar los índices en las células meristemáticas de *Allium cepa* a un nivel de significancia estadístico ($p < 0.05$).

RESULTADOS y DISCUSIÓN

Análisis del crecimiento de la longitud de las raíces

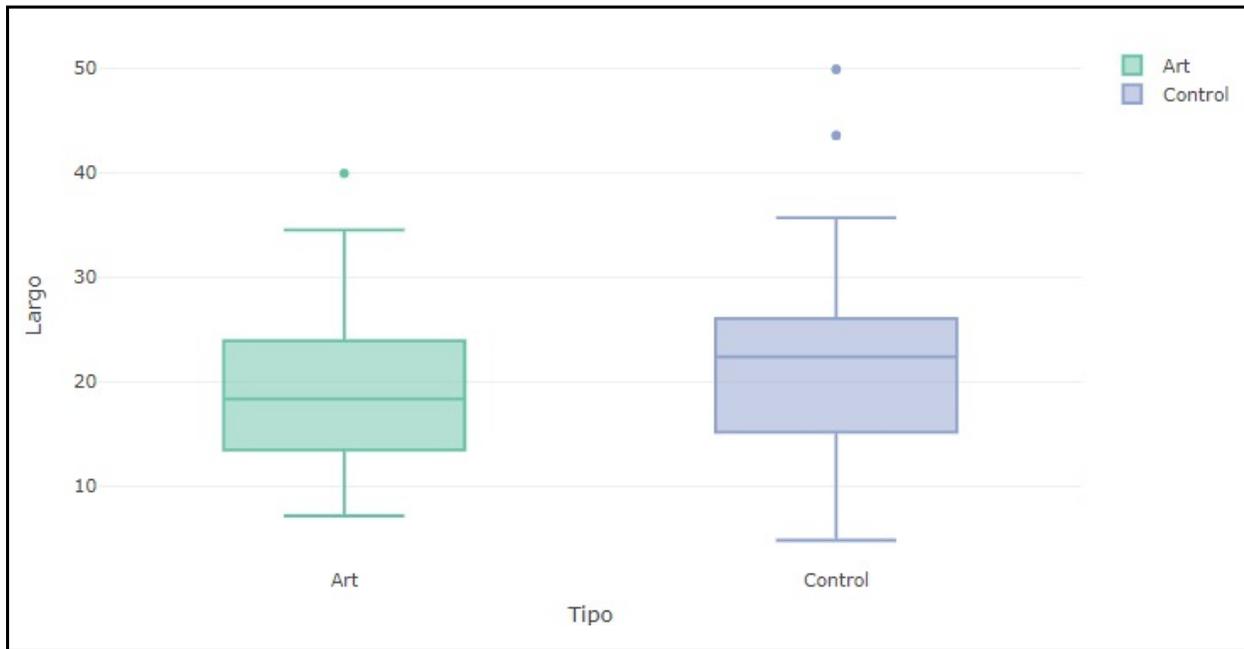
El análisis del crecimiento de la longitud de las raíces fue evaluado en la raíz de la *Lactuca sativa*. La inhibición del crecimiento de la raíz de la planta se ha considerado un indicador de toxicidad, ya que puede resultar de una cierta inhibición de la división celular (Barbério et al., 2009; Song et al., 2024).

En la Figura 1 se muestra que, la longitud promedio de la raíz control ($Elong_x$) fue 22.33 mm y la longitud promedio de la raíz con agua residual tratada ($Elong_{control}$), 18,95 mm; el IER fue 0.1514. Un IER de 0 a -0.25 es considerado como baja

toxicidad, por lo que las aguas residuales tratadas pueden ser utilizadas en el riego de parques y jardines (Bagur et al., 2010). Esto puede atribuirse a que las aguas residuales tratadas adecuadamente pueden ser beneficiosa, ya que talvez contengan macronutrientes y micronutrientes (Aslanturk, 2024).

FIGURA 1

Diagrama de cajas y bigotes (boxplot) sobre el crecimiento de la longitud de las raíces de la *Lactuca sativa* de la muestra control y muestra con agua reutilizada y tratada (Art).



En la Tabla 1 se recolectó información respecto a la caracterización química de agua en diferentes países y sus resultados. El contenido de macronutrientes como el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) estimulan el crecimiento del cultivo (Ebissa et al., 2024).

El nitrógeno y fósforo estimulan el crecimiento de las plantas y suele añadirse como fertilizante (Pandey y Kumar, 2021). El N suele encontrarse en aguas residuales en forma de nitrato, amoníaco, nitrógeno orgánico o nitrito; mientras que, los fosfatos se clasifican en ortofosfatos, polifosfatos y fosfatos orgánicos (Roca y Guerrero, 2021).

Por otro lado, el potasio no es parte integral de ningún componente importante de las plantas,

pero sí desempeña un papel clave desde la síntesis de proteínas hasta el mantenimiento del equilibrio hídrico de las mismas. Por lo general, las aguas residuales contienen bajas concentraciones de potasio, insuficientes para cubrir la demanda teórica de las plantas y como se observa en la Tabla 1, el agua residual tratada podría completar aquella deficiencia (Das y Ray, 2024).

TABLA 1

Caracterización química del agua en algunos países

Autor	Tipo de agua/ País	Caracterización	Resultados
Chowdhary et al. (2022)	Aguas residuales de destilería (India)	Demanda química de oxígeno 25144 mg/L. (mg/ Solidos suspendidos totales 6634 mg/ L. (mg/ Nitrógeno total 30.66 mg/L. Fosfatos totales 9114 (mg/L)	Las aguas residuales fueron fitotóxicas, ya que reducen/ inhiben la longitud de la raíz y el crecimiento del <i>Allium cepa</i> L
Arias et al. (2020)	Agua tratada (Chile)	Demanda química de oxígeno 216.5 (mg/L). Solidos suspendidos totales 58.9 (mg/L). Nitrógeno total 57.2 (mg/L). Fosfatos totales 5.4 (mg/L) Coliformes (4.6 mg/L)	La cantidad de fosfato y nitrógeno fue suficiente para el crecimiento de la muestra (Prueba <i>Lilium</i>).
Dusman et al. (2014)	Aguas superficiales (Brasil)	Demanda química de oxígeno 123.1 (mg/L). Coliformes totales 0.7 (mg/L).	Incremento del índice mitótico (IM).
Bai et al. (2010)	Agua urbana sin tratar (India)	Demanda química de oxígeno 235 mg/L. Solidos suspendidos totales 100 mg/L. Nitrógeno total 0,04 mg/L Fosfatos totales 26,4 mg/L Potasio 46 mg/L	Los parámetros de demanda química de oxígeno exceden los límites estipulados por la FAO. El agua residual no es recolectada, causando contaminación del suelo.

Determinación de la citotoxicidad y genotoxicidad

Se realizó el conteo de 1000 células, en la Tabla 2 se registró el Índice mitótico e índice de fases de la mitosis en *Allium cepa* L observadas en el control con agua pura, tratamiento 1 (T1) con agua residual tratada al 50 % y tratamiento 2 (T2), con agua residual tratada al 100 %.

En la Tabla 2 se registra el número células meristemáticas de *Allium cepa* L. en división con agua residual tratada y agua pura. Los cambios estructurales en las células del meristemo apical de raíces de cebolla (*Allium cepa* L.) pueden estar sujetas a tratamientos por ejemplo con compuestos de selenio. La alta toxicidad del selenato de sodio (IV), manifestada por la degradación del núcleo, los orgánulos celulares y el citoplasma. El tratamiento con selenato de sodio (IV), en casi todas las

concentraciones probadas y tiempos de incubación, causó cambios drásticos en la ultraestructura celular, mostrando claramente su efecto tóxico. La incubación prolongada en la concentración más alta utilizada de selenato de sodio (IV) resultó en la desintegración total del citoplasma; solo permaneció el núcleo celular, extremadamente encogido, sin nucléolo y con cromatina perforada formando protuberancias de cromatina específicas (Ślusarczyk et al., 2014). Sin embargo, en el estudio realizado no se observaron cambios estructurales en las células meristemáticas de *Allium cepa* L.

TABLA 2*Índice mitótico e índice de fases de Allium cepa L. con agua residual tratada*

Grupo de tratamiento	Número de células	Fases del ciclo celular					
		IM	Interfase	Profase	Metafase	Anafase	Telofase
Control	1000	71,7	28,3	19,5	19,2	12,5	20,5
Control	1000	52,6	47,4	23	12,8	7,3	9,5
Control	1000	61,9	38,1	17	14,5	14,5	1,,9
T1	1000	71,4	28,6	20,2	18,5	21	11,7
T1	1000	70,4	29,6	19,1	17	16,6	17,7
T1	1000	61,6	38,4	18,2	14,5	13,7	15,2
T2	1000	37,7	62,3	14,1	6,9	6	10,7
T2	1000	66,5	33,5	18,4	15,7	15,7	16,7
T2	1000	67,7	32,3	18,8	16,4	17,9	14,6

Nota: Valores expresados en porcentaje (%); IM: índice mitótico; control: agua pura; T1: agua residual tratada al 100 %; T2: agua residual tratada al 50 %.

Por otro lado, los resultados del índice mitótico e índice de fases (Tabla 3), mediante la prueba ANOVA, no mostraron diferencias significativas ($p > 0.05$) en los tratamientos con el control, lo que se evidenció al no observarse cambios estructurales en la célula, en el transcurso del ciclo celular.

TABLA 3*Prueba estadística ANOVA*

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p
Índice Mitótico (%)	Entre grupos	165,842	2	82,921	0,609	0,575
	Dentro de grupos	817,567	6	136,261		
Índice Interfase (%)	Entre grupos	165,842	2	82,921	0,609	0,575
	Dentro de grupos	817,567	6	136,261		
Índice Profase (%)	Entre grupos	12,187	2	6,093	1,083	0,397
	Dentro de grupos	33,753	6	5,626		
Índice Metafase (%)	Entre grupos	21,056	2	10,528	0,733	0,519
	Dentro de grupos	86,207	6	14,368		
Índice Anafase (%)	Entre grupos	50,442	2	25,221	1,122	0,385
	Dentro de grupos	134,827	6	22,471		
Índice Telofase (%)	Entre grupos	2,629	2	1,314	0,081	0,923
	Dentro de grupos	97,747	6	16,291		

F: ANOVA; $p > 0,05$

El índice mitótico (IM), puede incrementarse en procesos que promueven la división celular como el crecimiento normal o la reparación celular, este se ve afectado por agentes tóxicos que ayudan a la proliferación de las células, lo que puede desencadenar procesos carcinogénicos o por el contrario pueden inhibir la división celular ((Aslanturk, 2024; Kusumaningrum et al., 2012; (Pandey y Kumar, 2021; Ślusarczyk et al., 2014).

La evaluación de toxicidad de las aguas como método complementario al análisis físico, químico y biológico proporciona una información integral de la calidad de agua. Se evaluaron los niveles de citotoxicidad y genotoxicidad de las aguas del río Moche y Jaquetepeque (región de La Libertad, Perú), usando el bioindicador ambiental *Vicia faba* L, concluyéndose que para el río Moche hubo un alto efecto citotóxico y genotóxico; mientras que, en el río Jaquetepeque no se evidenció algún efecto importante (Beltrán y Beltrán, 2016; Yadav et al., 2019)

Además, Roca y Guerrero, (2016) evaluaron el efecto citotóxico de cobre en *Allium cepa* L. a diferentes concentraciones, reportando que el IM de las células meristemáticas fue 30,95 % (T1), 32,45 % (T2), 33,50 % (T3) y 33,80 % (T4), con diferencia significativa, mientras que el IM de las muestras con agua residual tratada no presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$).

En tal sentido, en el río Quatorze, Paraná, Brasil, se realizaron comparaciones del agua en diferentes puntos y los resultados mostraron que no hubo cambios significativos en los índices de división celular (Dusman et al., 2014), por lo que el agua no fue citotóxica según lo evaluado por las células meristemáticas de la raíz de *Allium cepa* L, reforzando los resultados obtenidos en la Tabla 1.

Los riesgos genotóxicos mediante estudios ecotoxicológicos utilizando células de raíces de cebolla

en las observaciones microscópicas, mostraron que los riesgos genotóxicos potenciales en muestras de agua testeadas se tradujeron en un aumento en la cantidad de micronúcleos encontrados en las células de raíces de cebollines. La genotoxicidad en los sitios de muestreo fue estadísticamente significativa en tres sitios estudiados y dos temporadas, lo que indica la presencia de sustancias genotóxicas durante todo el año (Ibañez & Angulo, 2022). Cabe señalar que no se detectó ningún efecto genotóxico en las aguas residuales tratadas químicamente utilizadas, para el riego de parques y jardines en el distrito de San Miguel, posiblemente debido a la capacidad que tiene el ADN para repararse.

CONCLUSIONES

El *Allium cepa* L y *Lactuca sativa* evaluaron los efectos genotóxicos y citotóxicos del agua residual tratada, mostrando la baja toxicidad y su posible uso, para regadío en parque y jardines.

Aunque la prueba de *Allium cepa* L fue la adecuada para determinar los efectos tóxicos del agua residual tratada, en lo que respecta a la evolución del índice mitótico, se sugiere realizar otros ensayos ecotoxicológicos, para evaluar los efectos genotóxicos y citotóxicos del agua residual tratada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abello, V., Muñoz, E., Lira, S., & Garrido, E. (2020). Evaluación de ecoeficiencia de tecnologías de tratamiento de aguas residuales domésticas en Chile. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 11(2), 190-228. <https://doi.org/10.24850/jtyca-2020-02-05>.
- AIDIS. (Tello, P., Mijailova M., & Chamy, R.) (2016). Uso del agua del agua para el reúso. AIDIS.
- Arias, C., Chávez, W., Tapia, S., Olave, J., & Vera, I. (2020). Reuse of Treated Municipal Wastewater from Constructed Wetlands for Cut Flowers Irrigation in Aeroponic Cultivation. *Ingeniería y*

- Universidad*, 24. doi:10.11144/Javeriana.iued24.tmwr
- Aslanturk, O. (2024). Cytotoxic and genotoxic effects of triphenyl phosphate on root tip cells of *Allium cepa* L. *Toxicology In Vitro*, 94, 105734. doi:10.1016/j.tiv.2023.105734.
- Bagur, M., Estepa, C., Martín, F., & Morales, S. (2010). Toxicity assessment using *Lactuca sativa* L. bioassay of the metal(loid)s As, Cu, Mn, Pb and Zn in soluble-in-water saturated soil extracts from an abandoned mining site. *Journal of Soils and Sediments*, 11(2), 281-289. doi:10.1007/s11368-010-0285-4.
- Bai, S., Srikantaswamy, S., & Shivakumar, D. (2010). Urban Wastewater Characteristic and its Management in Urban Areas—A Case Study of Mysore City, Karnataka, India. *Journal of Water Resource and Protection*, 02(08), 717-726. doi:10.4236/jwarp.2010.28082.
- Barbério, A., Barros, L., Voltolini, J., & Mello, M. (2009). Evaluation of the cytotoxic and genotoxic potential of water from the River Paraíba do Sul, in Brazil, with the *Allium cepa* L. test. *Brazilian Journal of Biology*, 69. doi:doi.org/10.1590/S1519-69842009000400010.
- Basu, S., & Tripura, K. (2021). Differential sensitivity of *Allium cepa* L. and *Vicia faba* L. to aqueous extracts of *Cascabela thevetia* (L.) Lippold. *South African Journal of Botany*, 139, 67-78. doi:10.1016/j.sajb.2021.01.033.
- Beltrán, R., & Beltrán, P. (2016). Regulación del ciclo celular (CC) de *Vicia faba* L por el extracto alcohólico de *Annona cherimola* Mill "chirimoya". *Scientia Agropecuaria*, 7 (3), 245-251. https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.03.12.
- Bonciu, E., Firbas, P., Fontanetti, C., Wusheng, J., Karaismailoğlu, M., Liu, D., Menicucci, F., Pesnya, D., Popescu, A., Romanovsky, A., Schiff, S., Slusarczyk, J., de Souza, C., Srivastava, A., Sutan A., & Papini, A. (2018). An evaluation for the standardization of the *Allium cepa* test as cytotoxicity and genotoxicity assay. *Caryologia*, 71(3), 191-209. doi:10.1080/00087114.2018.1503496.
- Chowdhary, P., Singh, A., Chandra, R., Kumar, P., Raj, A., & Bharagava, R. (2022). Detection and identification of hazardous organic pollutants from distillery wastewater by GC-MS analysis and its phytotoxicity and genotoxicity evaluation by using *Allium cepa* and *Cicer arietinum* L. *Chemosphere*, 297, 134123. doi:10.1016/j.chemosphere.2022.134123
- Das, R., & Ray, S. (2024). *Allium cepa* tests: Exploring bleomycin induced cyto-genotoxicity and altered cell cycle kinetics in root tips meristematic cells. *Mutation Research*, 828, 111851. doi:10.1016/j.mrfmmm.2024.111851.
- Dusman, E., Lizza, M., Savegnago, L., Lauxen, D., Vicentini, V., Tonial, I., & Sauer, T. (2014). *Allium cepa* L. as a bioindicator to measure cytotoxicity of surface water of the Quatorze River, located in Francisco Beltrão, Parana, Brazil. *Environmental Monitoring Assessment*, 186(3), 1793-1800. doi:10.1007/s10661-013-3493-8.
- Ebissa, G., Fetene, A., & Desta, H. (2024). Study on quality of treated wastewater for urban agriculture use in Addis Ababa, Ethiopia. *City and Environment Interactions*, 24. doi:10.1016/j.cacint.2024.100157
- Elena, S., Perniola, O., Moscheński, S., & Pantuso, F. (2017). El índice mitótico como parámetro estimador de la tolerancia a bajas temperaturas durante la germinación de *Zea mays*. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 116(2). https://

- revistas.unlp.edu.ar/revagro/article/view/6181.
- Ibáñez, D., & Angulo, M. (2022). Evaluación del riesgo genotóxico de aguas superficiales y Sistemas de Riego Mediante Estudios Ecotoxicológicos Empleando Células de Raíces de *Allium cepa* L. *Acta Nova*, 10(4), 430 -442. <http://www.scielo.org.bo/pdf/ran/v10n4/1683-0789-ran-10-04-430.pdf>.
- Kusumaningrum, H., Lunggani, A., & Nurhakim, M. (2012). Chromosomes and Mitotic Cell Division Phase In Onion Roots After 24 Hours Acetoorcein Soaking Time. *Acetoorcein Soaking Time. Bioma: Berkala Ilmiah Biologi*, 14, 2. doi:<https://doi.org/10.14710/bioma.14.2.46-48>.
- Ministerio de Agricultura y Riego (Minagri). Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2019). Reúso de aguas residuales tratadas para ampliar áreas verdes en Lima <http://www.ana.gob.pe/noticia/reuso-de-aguas-residuales-tratadas-para-ampliar-areas-verdes-en-lima>.
- Morales, J., & Vergara, K. (2023). Diseño de biofiltro para eliminación de contaminantes de aguas residuales de la comunidad Ballagán, Ecuador. *Revista Científica ECOCIENCIA*, 10 (2), 92-106. <https://doi.org/10.21855/ecociencia.102.801>.
- Muzinda, I., & Schreithofer, N. (2018). Water quality effects on flotation: Impacts and control of residual xanthates. *Minerals Engineering*, 125, 34-41. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.03.032>.
- Pandey, H., & Kumar, S. (2021). Butylated hydroxytoluene and Butylated hydroxyanisole induced cyto-genotoxicity in root cells of *Allium cepa* L. *Heliyon*, 7(5), e07055. doi:10.1016/j.heliyon.2021.e07055.
- Roca, A., & Guerrero, A. (2021). Efecto citotóxico por cobre en *Allium cepa* (Amaryllidaceae). *Arnaldoa*, 28. doi:10.22497/arnaldoa.283.28315.
- Schreiner, G., Eckert, G., Schuster, M., Baroni, S., de Pelegrin, C., & Dartora, N. (2024). Cytotoxic and genotoxic effects of aqueous extracts of *Aloysia gratissima* (Gillies & Hook.) Tronc. using *Allium cepa* L. assay. *Pharmacological Research - Natural Products*, 2. doi:10.1016/j.prenap.2023.100011.
- Silva, R., Reyes, C., Díaz, S., Rodríguez, Y., & Sosa, Y. (2020). Evaluación eco-toxicológica del manejo de residuos contaminados con diésel. *Revista Centro Azúcar*, 47. 47(4), 45–56. http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/630.
- Ślusarczyk, J., Dudek, M., Wierzbicka, M., Suchocki, P., & Kuraś, M. (2014). Antimitotic effect of Selol and sodium selenate (IV) on *Allium test* cells. *Caryologia*, 67(3), 250-259. doi:10.1080/0144235x.2014.974353.
- Song, U., Pyo, K., Song, H., Lee, S., & Kim, J. (2024). Environmental toxicity assessment of chromium (III) oxide nanoparticles using a phytotoxic, cytotoxic, and genotoxic approach. *Emerging Contaminants*, 10(2). doi:10.1016/j.emcon.2023.100293.
- Velázquez, L., Ortiz, I., Chávez, J., Pámanes, G., Carrillo, A., & Pereda, M. (2022). Influencia de la contaminación del agua y el suelo en el desarrollo agrícola nacional e internacional. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 25, 1-13. DOI: <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.482>
- Ventura, B., de Angelis, D., & Marin, M. (2016). Assessment of the cytotoxic, genotoxic

and mutagenic effects of the commercial black dye in *Allium cepa* cells before and after bacterial biodegradation treatment. *Chemosphere*, 161, 325-332. doi:10.1016/j.chemosphere.2016.06.085.

Yadav, A., Raj, A., Purchase, D., Ferreira, L., Saratale, G., & Bharagava, R. (2019). Phytotoxicity, cytotoxicity and genotoxicity evaluation of organic and inorganic pollutants rich tannery wastewater from a Common Effluent Treatment Plant (CETP) in Unnao district, India using *Vigna radiata* and *Allium cepa*. *Chemosphere*, 224, 324-332. doi:10.1016/j.chemosphere.2019.02.124