



## **Ausencia de fitotoxicidad de nanopartículas de cobre metálico y óxido de cobre II en la germinación *in vitro* de semillas de *Allium cepa* (cebolla)**

Matías Olvera Barrón <sup>a,\*</sup>, Emiliano Acevedo González <sup>b</sup>, Juan Pablo Armando Rodríguez Ramírez <sup>a</sup>, José Saúl Medina Zapien <sup>a</sup>, Karina Navarro Ortega <sup>a</sup>, Alexis Daniel Funes Pérez <sup>a</sup>, Mariana Alonso Ramírez <sup>a</sup>, Gustavo Cruz Jiménez <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Licenciatura en Químico Farmacéutico Biólogo, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato. m.olverabarron@ugto.mx

<sup>b</sup> Licenciatura en Biología Experimental, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato.

<sup>c</sup> Departamento de Farmacia, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato.

### **Resumen**

Las nanopartículas de cobre (Cu) en conjunto con sus derivados tienen propósitos sumamente importantes en el día a día de la sociedad, ya sea en las industrias y en el área de la salud (al ser antimicrobianas); sin embargo, su presencia como contaminante puede provocar daños colaterales a la vida agrícola, debido a que comúnmente termina en suelos y campos abiertos. Por ello, en la presente se evidencian los efectos de nanopartículas de cobre (Cu) y óxido de cobre (CuO) a diferentes concentraciones (0, 1, 10, 100 y 1000 ppm) en contacto directo con semillas germinadas de cebolla (*Allium cepa*), resultando en una fitotoxicidad nula de su parte, concluyendo así que no hay un efecto significativo ( $p > 0.05$ ) por parte de las nanopartículas sobre las semillas de cebolla,

*Palabras clave:* Nanopartículas Cu; Nanopartículas CuO; fitotoxicidad; cebolla.



## **Absence of the phytotoxicity of metallic copper and copper oxide II nanoparticles in the germination of *Allium cepa* (onion)**

### **Abstract**

Copper (Cu) nanoparticles and their derivatives have several applications in the day-to-day life of society, whether in industries or the health area (as an antimicrobial); however, their presence as a pollutant can cause collateral damage to agricultural life, because it commonly ends up in soils and open fields. Therefore, the effects of copper (Cu) and copper oxide (CuO) nanoparticles at different concentrations (0, 1, 10, 100, and 1000 ppm) in direct contact with germinated onion seeds (*Allium cepa*) are evidenced, resulting in no significant phytotoxicity ( $p > 0.05$ ) on their germination and growth, thus concluding that it does not represent a phytotoxic effect in *Allium cepa* in concentrations ranged from 1 to 1000 ppm.

*Keywords:* Cu nanoparticles; CuO nanoparticles; phytotoxicity; onion.

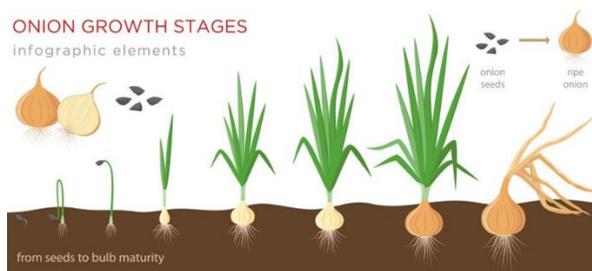


## 1. Introducción

Las nanopartículas (NP's) de cobre (Cu) y óxido de cobre (CuO) son objetos tridimensionales que tienen un diámetro en un intervalo que va de 1 a 100 nanómetros (Esparza P., et al. 2014) y han emergido como materiales de gran interés en diversas aplicaciones industriales, agrícolas y médicas debido a sus propiedades únicas, como la alta conductividad térmica y eléctrica, propiedades antimicrobianas y capacidad catalítica (Ahamed et al., 2014). Sin embargo, su creciente uso ha suscitado preocupaciones sobre sus efectos potenciales en la salud humana y el medio ambiente. Estudios recientes han demostrado que las NP's de Cu y CuO pueden inducir efectos tanto benéficos como perjudiciales en humanos y plantas. Se ha documentado su capacidad para inhibir el crecimiento de patógenos, lo que las hace útiles en la medicina y la agricultura (Rai et al., 2012). Investigaciones han revelado que la exposición a estas nanopartículas puede provocar estrés oxidativo, inflamación y toxicidad celular en humanos, así como fitotoxicidad en plantas, afectando su crecimiento y desarrollo (Siddiqui et al., 2015; Wang et al., 2016).

La cebolla blanca (*Allium cepa* L.) es uno de los cultivos más importantes y consumidos en México, tanto por su valor nutritivo como económico. En 2020, México produjo aproximadamente 1.5 millones de toneladas de cebolla, ubicándose entre los principales productores a nivel mundial (FAOSTAT, 2020). La cebolla es una hortaliza esencial en la dieta mexicana, utilizada en una amplia variedad de platillos tradicionales y valorada por sus propiedades antioxidantes y beneficios para la salud, como la reducción del riesgo de enfermedades cardiovasculares y ciertos tipos de cáncer (Benkeblia, 2005).

El cultivo de cebolla en México abarca diferentes regiones, adaptándose a diversas condiciones climáticas y de suelo. El proceso de crecimiento de la cebolla (**Figura 1**) incluye etapas críticas como la germinación, desarrollo vegetativo, bulbificación y maduración, cada una de las cuales puede verse afectada por factores ambientales y prácticas agrícolas (Brewster, 2008). Dado su consumo extendido y su importancia económica, es fundamental estudiar los efectos de las nanopartículas de cobre en este cultivo para asegurar la seguridad alimentaria y la sostenibilidad agrícola.



**Figura 1.** Germinación de cebolla. Lleva a cabo un proceso de germinación epigea, con formación inicial de radícula (izquierda), formación rápida de hipocótilo (dos etapas posteriores) y formación tanto de hojas verdaderas como bulbo (resto de etapas) y marchitamiento (Bezvershenko, 2024).

El propósito de esta investigación es analizar los efectos de las nanopartículas de cobre (Cu) y óxido de cobre (CuO) en el crecimiento y desarrollo de la cebolla (*A. cepa*). Para ello, se expusieron semillas de cebolla a tratamientos con nanopartículas de Cu y CuO en diferentes concentraciones, con el fin de identificar los efectos fitotóxicos que estas podrían ejercer durante las etapas de germinación y crecimiento, aportando información clave para su manejo seguro y eficaz en la agricultura.

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1. Prueba de germinación.

La esterilización de las semillas de cebolla (obtenidas comercialmente de la marca

“happy flower”-cebolla de rabo) se realizó con una solución de hipoclorito de sodio al 8%, manteniendo en agitación durante 30 min con agitador magnético en una parrilla magnética, marca “CORNING DIGITAL CORNING” y modelo PC-620D. La siembra de las semillas se realizó en condiciones de esterilidad colocando en una caja de Petri en papel filtro para soporte y sobre éste se distribuyeron 10 semillas. Se adicionan 3 mL de agua desionizada estéril, después se cubrió con otro papel filtro y se humedeció con otros 3 mL, se cerró y se pesó en una balanza digital Electronic Compact Scale, modelo SF-400C para controlar el volumen manteniendo un  $\pm 5\%$  del peso total de la caja de Petri durante los siete días que permanecieron en la cámara ambiental en oscuridad total y temperatura controlada de 25°C.

### 2.2. Preparación de suspensión patrón de NP's de Cu y CuO.

La suspensión patrón se obtuvo al pesar 1,000 mg de NP's de Cu en balanza analítica, se colocaron en un matraz aforado y se aforó a 100 mL con agua desionizada, obteniendo así una suspensión con una concentración de 10,000 ppm de nanopartículas de cobre, se cubrió con papel aluminio y se mantuvo en refrigeración (4°C). El procedimiento se



repetió con las nanopartículas de óxido de cobre considerando su peso molecular al realizar los cálculos para obtener la suspensión patrón de 10,000 ppm de Cu.

### 2.3. Preparación de solución nutritiva de Hoagland.

Se añadió 1.0 mL de cada una de las siguientes soluciones:  $3.57 \times 10^{-4}$  M  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ,  $2.14 \times 10^{-3}$  M  $\text{CaCl}_2$ ,  $2.55 \times 10^{-4}$  M  $\text{KNO}_3$ ,  $2.31 \times 10^{-5}$  M  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ,  $4.0 \times 10^{-6}$  M  $\text{MnCl}_2$ ,  $6.95 \times 10^{-8}$  M  $\text{MoO}_3$ ,  $3.7 \times 10^{-7}$  M  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ ,  $1.0 \times 10^{-5}$  M  $\text{FeCl}_3$ ,  $9.68 \times 10^{-4}$  M  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  y  $9.0 \times 10^{-4}$  M  $\text{MgCl}_2$  a un vaso de precipitado de 100 mL.

### 2.4. Germinación de semillas con exposición a NP's de cobre y NP's de óxido de cobre.

La suspensión patrón de 10,000 ppm NP's Cu se colocó en ultrasonido durante 5 min, transcurrido este tiempo se adicionaron 10 mL a la solución nutritiva de Hoagland, y con agua destilada estéril se completó un volumen de 80 ml para medir el pH con un potenciómetro, marca "MULTIFUNCTION" modelo "BLE-C600", el cual se reguló agregando NaOH y/o HCl hasta obtener un pH de 5,80. Posteriormente se trasladó la solución a un matraz aforado de 100 mL para aforar con agua desionizada y obtener una

suspensión de NP's Cu 1,000 ppm a pH 5,80. El procedimiento se repetió de manera seriada para finalmente terminar con 4 suspensiones de NP's de Cu en solución nutritiva con concentraciones de 0, 1, 10, 100 y 1000 ppm y se realizó un control negativo con solución nutritiva (0 ppm), se trasvasó cada solución a un matraz Erlenmeyer y se sometieron a esterilización en autoclave a 15 lb/in<sup>2</sup> durante 20 min.

La esterilización de las semillas de cebolla se realizó con una solución de hipoclorito de sodio al 8%, manteniendo en agitación constante durante 30 minutos. La siembra de las semillas se realizó en ambiente estéril y en una caja de Petri de poliestireno de 90 x 15 mm con un papel filtro como base para colocar 15 semillas estériles. Posteriormente se adicionaron 15 mL de la suspensión de NP's Cu en solución nutritiva correspondiente con una micropipeta de 5000  $\mu\text{L}$ , realizando 5 repeticiones para cada concentración. Cada caja de Petri estéril se pesó y rotuló con la concentración de NP's de Cu. Además, se pesaron las cajas de Petri con las semillas con la intención de mantener un peso mínimo, manteniendo un margen de 3 g menor al peso total con la idea de controlar el volumen durante los siete días que permanecieron en la cámara ambiental. Las



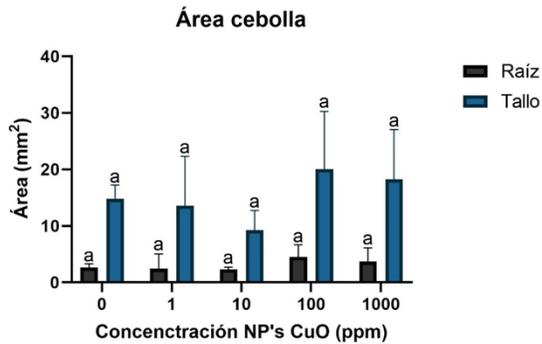
cajas se mantuvieron en oscuridad total a temperatura ambiente. Este procedimiento se repitió con la suspensión patrón de nanopartículas de óxido de cobre.

### 2.5. Medición de raíz e hipocótilo.

Completados los siete días en la cámara ambiental, se midió la raíz y el hipocótilo obtenidos en cada cebolla germinada usando el Vernier digital (Steren), además, se obtuvo el porcentaje de germinación de cada caja de Petri con la siguiente fórmula: % de germinación =  $[(\# \text{ semillas germinadas}) / (\# \text{ semillas sembradas})] \times 100$ . Todos los datos obtenidos fueron registrados en el software Microsoft Excel y se utilizaron para su posterior análisis estadístico con ANOVA de un solo factor en MINITAB 22.1 y análisis *post-hoc* de Tukey. Se realizaron análisis de normalidad y homogeneidad de los datos para corroborar el uso de ANOVA. Los gráficos fueron realizados con GRAPHPAD, y se reporta la media  $\pm$  el error estándar en los gráficos en la sección de resultados. El valor utilizado para la significancia  $\alpha = 0.05$  en todos los estadísticos realizados, considerando diferencias significativas con un valor de  $p < 0.05$ .

### 3. Resultados y discusión

Los valores de  $p$  para el área de brotes de cebolla tanto de raíz como de tallo fue mayor a 0.05, siendo de 0.553 para el área de raíces y 0.527 para los tallos, tomando en cuenta 4 grados de libertad y valores “F” de 3.67, evidenciando así que todas las medias son iguales y que por ende no existe efecto significativo del óxido de cobre (CuO) para el proceso de germinación de semillas de cebolla. En la **Figura 2** se observa lo anteriormente mencionado gráfico en donde se muestran las concentraciones analizadas y las áreas de las estructuras principales de la plántula. Sabiendo además que las pruebas de Tukey para diferencias de las medias” (**Tabla 1**) tienen valores “p” mayores a 0.05 (aplicando el mismo criterio que en un principio), respaldando aún más la similitud de las medias entre los distintos análisis.



**Figura 2.** En la gráfica se observa el crecimiento ( $\text{mm}^2$ ) de las raíces y tallos de cebolla (*Allium cepa*) en presencia de distintas concentraciones de óxido de cobre (CuO). Las barras indican el área promedio de raíces y tallos. Las líneas muestran el error estándar. Letras iguales indican que no hay diferencias significativas entre los tratamientos ( $n=4$ ).

**Tabla 1.** Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias para el área de cebolla tratada con CuO (primero para raíz, después para tallo).

**Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias**

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
1 - 0	-0.01	1.38	(-4.41, 4.39)	-0.01	1.000
10 - 0	-0.21	1.38	(-4.61, 4.19)	-0.15	1.000
100 - 0	2.01	1.38	(-2.39, 6.41)	1.45	0.608
1000 - 0	0.74	1.28	(-3.33, 4.82)	0.58	0.975
10 - 1	-0.20	1.47	(-4.90, 4.50)	-0.13	1.000
100 - 1	2.02	1.47	(-2.69, 6.72)	1.37	0.658
1000 - 1	0.75	1.38	(-3.65, 5.15)	0.55	0.980
100 - 10	2.22	1.47	(-2.49, 6.92)	1.50	0.580
1000 - 10	0.95	1.38	(-3.45, 5.35)	0.69	0.955
1000 - 100	-1.26	1.38	(-5.66, 3.14)	-0.92	0.885

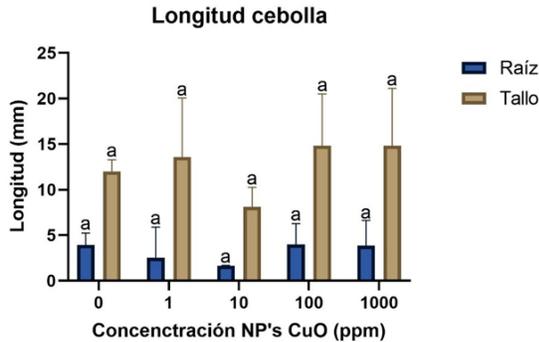
Nivel de confianza individual = 99.22%

**Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias**

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
1 - 0	-0.52	5.64	(-18.51, 17.47)	-0.09	1.000
10 - 0	-4.82	5.64	(-22.81, 13.16)	-0.86	0.908
100 - 0	6.00	5.64	(-11.99, 23.99)	1.06	0.821
1000 - 0	1.34	5.22	(-15.32, 17.99)	0.26	0.999
10 - 1	-4.30	6.03	(-23.53, 14.93)	-0.71	0.949
100 - 1	6.52	6.03	(-12.71, 25.75)	1.08	0.813
1000 - 1	1.86	5.64	(-16.13, 19.85)	0.33	0.997
100 - 10	10.82	6.03	(-8.41, 30.05)	1.79	0.419
1000 - 10	6.16	5.64	(-11.83, 24.15)	1.09	0.807
1000 - 100	-4.66	5.64	(-22.65, 13.33)	-0.83	0.917

Nivel de confianza individual = 99.22%

Ahora bien, en el caso del análisis hecho para las longitudes registradas de las raíces y tallos de *A. cepa* se encontró un comportamiento bastante similar al anterior debido a que las medias son estadísticamente iguales, es decir, la hipótesis nula se acepta; los valores p del ANOVA son 0.749 y 0.558 para raíz y tallo, respectivamente. Las pruebas simultáneas de Tukey son mayores a 0.05 ( $\alpha$ ). Respaldo la premisa con el gráfico que esquematiza la naturaleza de dichas cifras (**Figura 3**) y las pruebas desglosadas antes mencionadas (**Tabla 2**).



**Figura 3.** En la gráfica se observa el crecimiento (mm) de las raíces y tallos de cebolla (*Allium cepa*) en presencia de distintas concentraciones de óxido de cobre (CuO). Las barras indican la longitud promedio de raíces y tallos. Las líneas muestran el error estándar. Las letras iguales indican que no hay diferencias significativas entre los tratamientos (n=4).

**Tabla 2.** Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias para la longitud de cebolla tratada con CuO (primera para raíz, segunda para tallo).

**Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias**

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
1 - 0	-0.78	1.72	(-6.25, 4.69)	-0.46	0.990
10 - 0	-1.67	1.72	(-7.14, 3.81)	-0.97	0.863
100 - 0	0.67	1.72	(-4.80, 6.14)	0.39	0.994
1000 - 0	-0.05	1.59	(-5.12, 5.02)	-0.03	1.000
10 - 1	-0.89	1.83	(-6.74, 4.96)	-0.48	0.988
100 - 1	1.45	1.83	(-4.40, 7.30)	0.79	0.928
1000 - 1	0.73	1.72	(-4.74, 6.20)	0.43	0.992
100 - 10	2.34	1.83	(-3.51, 8.19)	1.28	0.710
1000 - 10	1.62	1.72	(-3.86, 7.09)	0.94	0.875
1000 - 100	-0.72	1.72	(-6.20, 4.75)	-0.42	0.993

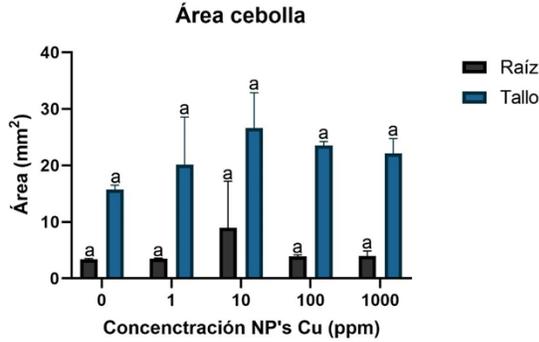
Nivel de confianza individual = 99.22%

**Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias**

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
1 - 0	2.28	3.86	(-10.03, 14.60)	0.59	0.974
10 - 0	-3.19	3.86	(-15.50, 9.13)	-0.83	0.918
100 - 0	3.53	3.86	(-8.79, 15.84)	0.91	0.886
1000 - 0	1.28	3.58	(-10.12, 12.68)	0.36	0.996
10 - 1	-5.47	4.13	(-18.63, 7.70)	-1.32	0.682
100 - 1	1.25	4.13	(-11.92, 14.41)	0.30	0.998
1000 - 1	-1.00	3.86	(-13.32, 11.31)	-0.26	0.999
100 - 10	6.72	4.13	(-6.45, 19.88)	1.63	0.509
1000 - 10	4.47	3.86	(-7.85, 16.78)	1.16	0.775
1000 - 100	-2.25	3.86	(-14.56, 10.07)	-0.58	0.975

Nivel de confianza individual = 99.22%

Posteriormente, se cambió a la especie química objeto de estudio porque la misma también puede encontrarse de manera común en el ambiente agrícola, suponiendo prioridad; por ende, se ejecutó el efecto del cobre metálico (Cu) sobre el crecimiento de brotes de cebolla, llevando así lo siguiente: para el análisis de varianza inicial se demostró que la hipótesis nula se acepta haciendo respaldo en el valor de p que es mucho mayor al valor de  $\alpha$ , la representación gráfica de los mismos demuestra similitud con las concentraciones usadas de cobre metálico tanto para raíz como para tallo (**Figura 4**), los resultados obtenidos por la prueba de Tukey, demuestran que no existen efectos significativos en las áreas obtenidas para raíces y tallos de las plántulas de *Allium cepa* (**Tabla 3**).



**Figura 4.** En la gráfica se observa el crecimiento (mm<sup>2</sup>) de las raíces y tallos de cebolla (*Allium cepa*) en presencia de distintas concentraciones de cobre (Cu). Las barras indican el área promedio de raíces y tallos. Las líneas muestran el error estándar. Las letras iguales indican que no hay diferencias significativas entre los tratamientos (n=4).

**Tabla 3.** Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias para el área de cebolla tratada con Cu (primera para raíz, segunda para tallo).

**Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias**

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
1 - 0	-0.17	2.83	(-9.46, 9.12)	-0.06	1.000
10 - 0	3.78	2.83	(-5.51, 13.08)	1.34	0.675
100 - 0	-0.21	2.83	(-9.50, 9.08)	-0.07	1.000
1000 - 0	-0.23	2.68	(-9.05, 8.58)	-0.09	1.000
10 - 1	3.95	2.53	(-4.36, 12.26)	1.56	0.549
100 - 1	-0.04	2.53	(-8.35, 8.27)	-0.02	1.000
1000 - 1	-0.06	2.36	(-7.84, 7.71)	-0.03	1.000
100 - 10	-3.99	2.53	(-12.30, 4.32)	-1.58	0.540
1000 - 10	-4.02	2.36	(-11.79, 3.76)	-1.70	0.476
1000 - 100	-0.02	2.36	(-7.80, 7.75)	-0.01	1.000

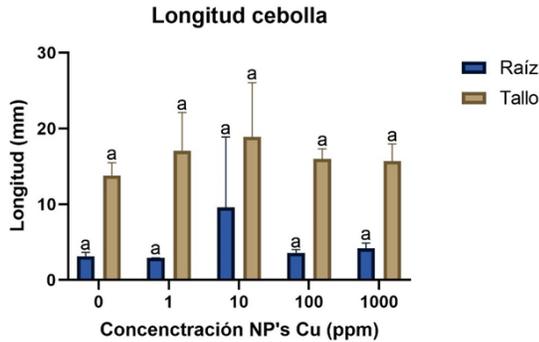
Nivel de confianza individual = 99.18%

**Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias**

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
1 - 0	3.36	5.70	(-15.38, 22.09)	0.59	0.974
10 - 0	7.06	5.70	(-11.68, 25.80)	1.24	0.731
100 - 0	3.25	5.70	(-15.49, 21.98)	0.57	0.977
1000 - 0	3.12	5.41	(-14.66, 20.89)	0.58	0.976
10 - 1	3.71	5.10	(-13.05, 20.47)	0.73	0.945
100 - 1	-0.11	5.10	(-16.87, 16.65)	-0.02	1.000
1000 - 1	-0.24	4.77	(-15.92, 15.44)	-0.05	1.000
100 - 10	-3.82	5.10	(-20.58, 12.94)	-0.75	0.940
1000 - 10	-3.95	4.77	(-19.62, 11.73)	-0.83	0.916
1000 - 100	-0.13	4.77	(-15.81, 15.55)	-0.03	1.000

Nivel de confianza individual = 99.18%

Prosiguiendo con la línea del cobre, se llevó a cabo el análisis para las longitudes de raíces y tallos de brotes de *Allium cepa*, resultando en valores p para el análisis de varianza mucho mayores al valor de  $\alpha$ , siendo estos de 0.554 y 0.765 para raíz y tallo, respectivamente. Entonces se observa que no existe diferencia estadística significativa entre las diversas medidas de brotes de cebolla al evaluarlas con distintas concentraciones de cobre. Lo anteriormente mencionado se respalda con la **Figura 5** y las comparaciones de Tukey en donde se observan valores de  $p > 0.05$ . (**Tabla 4**).



**Figura 5.** En la gráfica se observa el crecimiento ( $\text{mm}^2$ ) de las raíces y tallos de cebolla (*Allium cepa*) en presencia de distintas concentraciones de cobre (Cu). Las barras indican la longitud promedio de raíces y tallos. Las líneas muestran el error estándar. Las letras iguales indican que no hay diferencias significativas entre los tratamientos ( $n=4$ ).

**Tabla 4.** Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias para la longitud de cebolla tratada con Cu (arriba para raíz, abajo para tallo).

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T ajustado	Valor p
1 - 0	-0.29	3.29	(-11.10, 10.52)	-0.09	1.000
10 - 0	4.03	3.29	(-6.78, 14.84)	1.23	0.738
100 - 0	-0.15	3.29	(-10.95, 10.66)	-0.04	1.000
1000 - 0	-0.01	3.12	(-10.26, 10.24)	-0.00	1.000
10 - 1	4.32	2.94	(-5.35, 13.99)	1.47	0.602
100 - 1	0.14	2.94	(-9.52, 9.81)	0.05	1.000
1000 - 1	0.28	2.75	(-8.76, 9.32)	0.10	1.000
100 - 10	-4.18	2.94	(-13.84, 5.49)	-1.42	0.629
1000 - 10	-4.04	2.75	(-13.08, 5.00)	-1.47	0.602
1000 - 100	0.14	2.75	(-8.90, 9.18)	0.05	1.000

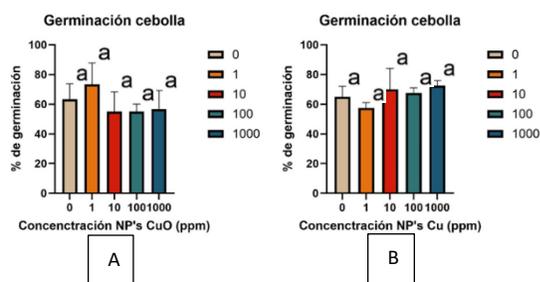
Nivel de confianza individual = 99.18%

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T ajustado	Valor p
1 - 0	2.42	3.47	(-9.00, 13.84)	0.70	0.952
10 - 0	3.35	3.47	(-8.07, 14.77)	0.96	0.865
100 - 0	-0.05	3.47	(-11.47, 11.37)	-0.01	1.000
1000 - 0	0.71	3.29	(-10.12, 11.55)	0.22	0.999
10 - 1	0.92	3.11	(-9.29, 11.14)	0.30	0.998
100 - 1	-2.47	3.11	(-12.68, 7.74)	-0.80	0.926
1000 - 1	-1.71	2.91	(-11.26, 7.84)	-0.59	0.974
100 - 10	-3.39	3.11	(-13.61, 6.82)	-1.09	0.807
1000 - 10	-2.63	2.91	(-12.19, 6.92)	-0.91	0.888
1000 - 100	0.76	2.91	(-8.79, 10.31)	0.26	0.999

Nivel de confianza individual = 99.18%

En el estudio, también se incluyeron los porcentajes de germinación de las semillas de cebolla (*Allium cepa*) tratadas con óxido de cobre (CuO) y cobre metálico (Cu) para ver si en escalas mayores habría injerencia por parte de estas especies en el crecimiento de esta planta; sin embargo, los análisis de varianza iniciales mostraron que las medias de dichos porcentajes son estadísticamente iguales y que por ende no hay ninguna intervención. Esto dado que los valores p nuevamente son mayores al valor de  $\alpha$  resultando en 0.245 para “CuO” y 0.546 para “Cu”. Los resultados en forma gráfica se encuentran en la **Figura 6**, y las pruebas simultáneas de Tukey que muestran valores p se muestran en la **Tabla 5**, en donde se observa para todos los casos valores de  $p > 0.05$ .



**Figura 6.** Porcentaje de germinación de brotes de cebolla (*Allium cepa*) tratados con (A) CuO, y (B) Cu metálico. Las barras indican la longitud promedio de raíces y tallos. Las líneas muestran el error estándar. Las letras iguales indican que no hay diferencias significativas entre los tratamientos (n=4).

**Tabla 5.** Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias para los porcentajes de germinación de cebolla tratada con CuO y Cu (izquierda para CuO, derecha para Cu).

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T ajustado	Valor p
1 - 0	13.33	9.07	(-15.59, 42.25)	1.47	0.598
10 - 0	-5.00	9.07	(-33.92, 23.92)	-0.55	0.980
100 - 0	-5.00	9.07	(-33.92, 23.92)	-0.55	0.980
1000 - 0	-7.50	8.40	(-34.27, 19.27)	-0.89	0.894
10 - 1	-18.33	9.69	(-49.25, 12.58)	-1.89	0.372
100 - 1	-18.33	9.69	(-49.25, 12.58)	-1.89	0.372
1000 - 1	-20.83	9.07	(-49.75, 8.09)	-2.30	0.211
100 - 10	0.00	9.69	(-30.92, 30.92)	0.00	1.000
1000 - 10	-2.50	9.07	(-31.42, 26.42)	-0.28	0.999
1000 - 100	-2.50	9.07	(-31.42, 26.42)	-0.28	0.999

Nivel de confianza individual = 99.22%

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T ajustado	Valor p
1 - 0	-10.00	9.36	(-40.79, 20.79)	-1.07	0.818
10 - 0	1.67	9.36	(-29.12, 32.45)	0.18	1.000
100 - 0	-6.67	9.36	(-37.45, 24.12)	-0.71	0.949
1000 - 0	1.25	8.88	(-27.96, 30.46)	0.14	1.000
10 - 1	11.67	8.37	(-15.87, 39.20)	1.39	0.645
100 - 1	3.33	8.37	(-24.20, 30.87)	0.40	0.994
1000 - 1	11.25	7.83	(-14.51, 37.01)	1.44	0.621
100 - 10	-8.33	8.37	(-35.87, 19.20)	-1.00	0.852
1000 - 10	-0.42	7.83	(-26.18, 25.34)	-0.05	1.000
1000 - 100	7.92	7.83	(-17.84, 33.68)	1.01	0.845

Nivel de confianza individual = 99.18%

En otros estudios realizados para *A. cepa* con nanopartículas de ZnO, se observó que en bajas concentraciones no se observan efectos fitotóxicos (Shankar, 2014), sin embargo, en altas concentraciones se observa la fitotoxicidad en los brotes de *A. cepa*. Por esto mismo se deduce que si bien la cebolla pudo tolerar de manera exitosa las diversas concentraciones de cobre y óxido de cobre, con otros metales puede no ocurrir el mismo efecto, ya sea por su naturaleza química o por el tamaño de partícula utilizado. Por lo tanto, es necesario realizar otros estudios con nanopartículas de otros metales para estudiar posibles mecanismos de toxicidad, así como realizar estudios de especiación química para estudiar los efectos de las nanopartículas cuando presentan diferentes estados de oxidación en las plántulas de *A. cepa*.



#### 4. Conclusiones

En el presente estudio, se observa que la presencia de nanopartículas de CuO y Cu metálico en experimentos “*in vitro*” no afecta al proceso de germinación de cebolla (*A. cepa*) y este efecto también se observa tanto en la longitud y áreas de las raíces y los tallos de las plántulas de *A. cepa* en concentraciones de 1, 10, 100 y 1000 ppm.

#### Referencias bibliográficas

Ahamed, M., AlSalhi, M. S., & Siddiqui, M. K. J. (2014). Silver nanoparticle applications and human health. *Clinica Chimica Acta*, 411(23-24), 1841-1848

Benkeblia, N. (2005). Antioxidant and antimicrobial activities of essential oil and various extracts of *Allium cepa* L. and *Allium sativum* L. *LWT - Food Science and Technology*, 38(2), 189-193.

Bezvershenko. (2024). Onion plant growing stages from seeds to ripe. <https://www.shutterstock.com/es/image-vector/onion-plant-growing-stages-seeds-ripe-1673819521>

Brewster, J. L. (2008). Onions and other vegetable alliums. 2nd ed. Wallingford: CAB International.

Esparza Ponce, H. E., Lazos Martínez, R. J., Ornelas Gutiérrez, C. E., & González Rojano, N. (2014). *Comparación de tamaño y distribución de tamaño de nanopartículas por Microscopía de Transmisión de Electrones (MTE)*.

FAOSTAT. (2020). Production of onions, 2020. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*.

Shankar L., (2014). International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. *Effect of zinc oxide nanoparticles on cytology and seed germination in onion*, 3(2):467-473.

Rai, M., Yadav, A., & Gade, A. (2012). Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials. *Biotechnology Advances*, 27(1), 76-83.

Siddiqui, M. A., Ahamed, M., Ahmad, J., Khan, M. M., Musarrat, J., & Al-Khedhairy, A. A. (2015). Copper oxide nanoparticles induced cytotoxicity, oxidative stress and DNA damage in human lung epithelial cells. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 396(2), 578-583.



Naturaleza y Tecnología  
Número especial  
ISSN 2007-672X  
Universidad de Guanajuato

11<sup>er</sup> Encuentro Anual de  
Estudiantes  
23 al 25 de octubre de 2024



Wang, Z., Xie, X., Zhao, J., Liu, X., Feng, W.,  
White, J. C., & Xing, B. (2016). Xylem-and  
phloem-based transport of CuO nanoparticles

in maize (*Zea mays L.*). *Environmental  
Science & Technology*, 46(8), 4434-4441.