



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Aplicaciones de óxido de zinc (Nanomaterial) en el
crecimiento de plantas durante la fitorremediación. Revisión
sistemática 2022**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR:

Gomez Cahuatico, Marcelino (ORCID: 0000-0001-5241-9303)
Muñoz Huamanccari, Carlos Alberto (ORCID: 0000-0003-2431-5237)

ASESOR:

Mg. Cabello Torres, Rita Jaqueline (ORCID: 0000-0002-9965-9678)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y gestión de los Recursos Naturales

LIMA- PERÚ

2022

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación está dedicada a mis hijos y mi esposa quienes han sido motor y motivo durante este periodo, que gracias a su apoyo pude concluir mis objetivos planteados.

Agradecimiento

Agradezco a la Universidad César Vallejo por la oportunidad y asesoría brindada y a nuestros padres por todo su amor y permitir cumplir nuestros objetivos.

Índice de contenidos

Carátula	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA	14
3.1. Tipo y diseño de investigación	14
3.2. Categorías, subcategorías y matriz de Operacionalización	14
3.3. Escenario de estudio	15
3.4. Participantes	16
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	16
3.6. Procedimiento	16
3.7. Rigor científico	17
3.8 Métodos de análisis de la información	17
3.9 Aspectos éticos	17
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
VI. CONCLUSIONES	35
VII. RECOMENDACIONES	36
REFERENCIAS	37
ANEXOS	

Índice de tablas

Tabla 1	Matriz de categorización	15
Tabla 2	Preparación de extracto vegetal y síntesis verde de nanopartículas de ZnO	20
Tabla 3.	Plantas usadas bajo la aplicación de iones de Zn ⁺²	31

Índice de Figuras

Figura 1.	Absorción de Zinc por las plantas desde una variedad de fuentes.	4
Figura 2.	Síntesis verde de NP usando extractos vegetales	5
Figura 3.	Formación de NP. Fuente: Naseer et al. (2020)	6
Figura 4.	Síntesis de NP, bajo el estudio de los efectos de concentración de ion precursor (0,5, 1, 3, 10 mM), extracto acuoso (3, 5, 10, 15, 30 mL) y tiempo de contacto (1, 2, 6, 12, 24 h).	7
Figura 5.	Posibles mecanismos de alivio de la toxicidad de Cd mediada por Zn en plantas. En la figura, las flechas hacia arriba y hacia abajo representan el aumento y la disminución de los parámetros, respectivamente	8
Figura 6.	Peso fresco y seco de raíz, tallo y hojas de <i>Coffea arabica</i> L. fertilizados foliarmente con ZnSO ₄ y ZnO NPs.. (A): raíz fresca, (B): tallo fresco (C): hojas frescas, (D): raízsecas, (E): tallo seco, (F): hojas secas	28
Figura 7.	Absorción de Zn ⁺² en la planta con los días de cultivo	29
Fuente 8.	Mecanismo de defensa de la planta ante daños de elevadas concentraciones de Zinc.	30

Resumen

Los metales pesados cuando se transportan a los suelos causan graves daños que alcanzan a los desarrollos de cultivos poniendo en riesgo la salud humana, sin embargo, alternativas usando nanopartículas ZnO pueden ayudar mediante la fitorremediación. Se ha investigado sobre la aplicación de nanopartículas de ZnO en los procesos de remediación de suelos contaminados por metales mediante una revisión sistemática de artículos científicos indexados entre los años 2018-2022. Los resultados mostraron que las nanopartículas de ZnO elaboradas con extractos vegetales resultan ser más ecoamigables comparados con los agentes reductores y estabilizadores tóxicos y dañinos, asimismo el análisis de los efectos de estos nano materiales es benéfico porque alivian el estrés que pueden experimentar las plantas sujetos a diversos factores como los metales pesados, sequía etc, sin embargo, las dosis y forma su aplicación deben ser evaluados de manera preliminar antes de su aplicación ya que puede también causar efectos negativos especialmente en la actividad microbiana que es el motor de las actividades productivas especialmente agrícolas. Finalmente, la aplicación en fitorremediación de suelos contaminados por metales demostró buenos resultados, especialmente en la remoción de Pb y Cd entre otros favoreciendo la restauración de suelos, debido a sus propiedades de mejora ante el estrés y tolerancia en la acumulación de metales en los tejidos de la planta.

Palabras clave: nanopartículas, ZnO, fitorremediación, efectos, beneficios.

Abstract

Heavy metals when transported to soils cause serious damage that reaches crop developments, putting human health at risk, however alternatives using ZnO nanoparticles can help through phytoremediation. Research has been carried out on the applications and nanoparticles of ZnO in the remediation processes of soils contaminated by metals through a systematic review of scientific articles indexed between the years 2018-2022. The results showed that the ZnO nanoparticles made with resulting plant extracts are more eco-friendly compared to toxic and harmful reducing and stabilizing agents, highlighting the analysis of the effects of these nanomaterials is beneficial because they relieve the stress that plants subject to environmental stress can experience. Various factors such as heavy metals, drought, etc., however, the dosage and form of its application must be evaluated preliminarily before its application. Since it can also cause negative effects, especially on microbial activity, which is the engine of productive activities.

Finally, the application in phytoremediation of soils contaminated by metals exploited good results, especially in the removal of Pb and Cd, among others, favoring the restoration of soils, due to its properties of improvement in the face of stress and tolerance in the accumulation of metals in the plant tissues.

Keywords: nanoparticles, ZnO, phytoremediation, effects, benefits.

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación de suelos y agua por metales pesados es un serio problema de gran envergadura, el desarrollo industrial ha ejercido un impacto negativo que se debe tratar seriamente (Zhou et al. 2018). Cuando los metales pesados se transportan y alcanzan los suelos y cuerpos de agua, se desarrollan efectos muy tóxicos para la comunidad microbiana y para el crecimiento vegetal, la productividad y servicio eco sistémico es seriamente dañado, causando enormes pérdidas ambiental, de recursos y económicas (Zhang et al 2019). El problema de la contaminación es general y no distingue en países desarrollados y en desarrollo, ya que los desechos de la industria que contienen metales pesados son vertidos de manera directa en los suelos incluyendo suelos agrícolas o a los cuerpos de agua sin tratamiento alguno (Yentür et al. 2021). Una vez dispuesto en suelo y agua, su transporte ambientales ingresan a la cadena trófica alcanzando al ser humano lo cual significa un riesgo para la salud humana Wang, et al. (2018) y una mala gestión del agua como recurso ha generado muchos impactos con los metales (Ullah et al. 2018). Los metales pesados son muy tóxicos por ejemplo el Pb genera muchas complicaciones en la salud especialmente relacionadas con problemas de neurotoxicidad, fertilidad, anemia, hipertensión y hasta cáncer en diversos órganos (Qin et al. 2018)

El tratamiento de suelos requiere una solución sostenible lo cual implica el desarrollo de tecnologías muy eficientes y ecoamigables para remediar el suelo contaminado por el metal (Gunathilakae et al. 2018). La fitorremediación usando plantas representa una solución apropiada para remediar los problemas de suelos y aguas contaminadas (Akhtar, et al. 2021). El estrés por estos contaminantes afecta negativamente el desarrollo vegetal descrito en su crecimiento y reducción de la capacidad de acumulación de metales en sus tejidos (Chen et al. 2022). Cuando una planta se encuentra estresada debido al contenido de metales pesados producen especies reactivas de oxígeno (ROS) originando un estrés oxidativo lo cual puede conducir a la muerte celular, por eso una forma de enfrentar esta toxicidad hace que las plantas inicien un proceso defensivo iniciando un mecanismo de defensa contra la ooxidación a través de enzimas especiales y metabolitos secundarios tales como fenoles, flavonoides y

prolina (Hussain, et al. 2021). Estas enzimas y componentes antioxidantes desarrollan una acción defensiva directa e inclusive actúan indirectamente en los distintos órganos o células de la oxidación y demás daños inherentes causados por las ROS; los fenoles, flavonoides y la prolina libre constituyen quelantes de metales, osmoprotectores, y eliminadores de radicales libres, de esta forma previenen la peroxidación de compuestos lípidos brindando a las plantas una defensa y la tolerancia al estrés (Ullah et al. 2019).

De otro lado, las nanopartículas (NPs) representan los nuevos materiales, muchos basados en metales que se viene estudiando de manera amplia, estas tienen tamaños menores a 100 nm por eso se han categorizado como nanopartículas y adquieren características muy especiales debido a su tamaño, porosidad funcional y elevada reactividad por su gran superficie específica (Elmer et al. 2018). Sin embargo las nanopartículas presentan influencias positivas y negativas en el crecimiento de las plantas, son capaces de mejorar la clorofila, el nitrógeno, la proteína y la biomasa, estimulan el crecimiento pero a niveles altos, las plantas resultan afectadas negativamente (Ezealisiji, et al 2019).

La técnica de la síntesis verde resulta adecuada para la preparación de las NP de ZnO, debido a que es ecoamigable y se deja de usar reactivos químicos estabilizadores y reductores tóxicos, sin embargo hay pocos estudios sobre su aplicación en fitorremediación, para evaluar los beneficios y efectos negativos que pudieran causar al ambiente y a la comunidad microbiana, es necesario integrar la información dispersa que demuestra las formas de síntesis y de extracción de plantas que contiene fotoquímicos que actúan como reductores o estabilizantes de las NP ZnO, así como los efectos que causa este material en las plantas y la eficiencia de remoción de metales pesados.

Esta investigación se justifica ambientalmente, porque presenta una alternativa de manejo de NP ZnO en la fitorremediación o recuperación de suelos contaminados por metales pesados de manera ecoamigable; asimismo económicamente esta alternativa es viable ya que reduce los gastos de uso de insumos químicos costosos y permite recuperar suelos para su beneficio en las actividades económicas de cultivos y también se justifica teóricamente porque se hace una revisión exhaustiva de los enfoques que gobiernan los beneficios, mecanismos y los riesgos que gobiernan esta alternativa.

En ese contexto se ha planteado el siguiente problema general:

PG: ¿Cómo se efectúan las aplicaciones de Óxido de Zinc (Nanomaterial) en el Crecimiento de Plantas durante la Fitorremediación?

Y las preguntas específicas:

PE1: ¿Que método se usa para preparar el Extracto vegetal y síntesis verde de NP de ZnO?

PE2: ¿Cómo afecta las NP ZnO a las plantas?

PE3: ¿Cuán eficiente es la aplicación en fitorremediación de metales pesados?

Asimismo, se planteó el siguiente objetivo general:

OG: Evaluar las aplicaciones de Óxido de Zinc (Nanomaterial) en el Crecimiento de Plantas durante la Fitorremediación.

Y los siguientes objetivos específicos:

OE1: Analizar el método usado para preparar el Extracto vegetal y síntesis verde de NP de ZnO

OE2: Analizar el efecto de las NP ZnO en las plantas

OE3: Analizar la aplicación en fitorremediación de metales pesados

II. MARCO TEÓRICO

El elemento metálico del Zn es esencial para el crecimiento de los seres vivos, plantas, animales y el ser humano, forma parte de los oligoelementos que sirven de nutrientes a los cultivos, e interviene en una serie de reacciones metabólicas y de oxi-reducción (Semida et al. 2021), una cuestión relevante de acuerdo a Zhang et al. (2019) es que en presencia de este elemento metálico en medio enzimático se promueve el metabolismo del nitrógeno en las plantas en ter tron sin embargo, la eficiencia de la absorción de Zn en la planta es una función de las propiedades fisicoquímicas del suelo, destacando el pH, la materia orgánica, la presencia de CaCO_3 , es decir carbonatos y tipo de planta sembrado los que generan una serie de interacciones (Khan et al. 2019), la forma iónica Zn^{+2} es la forma absorbida en las raíces vegetales o formando quelatos de ácidos orgánicos llega a viajar hacia las partes aéreas de la planta mediante el xilema Rizwan et al. (2019), la hoja resulta un órgano crucial en la absorción del metal en el área foliar y la presencia del Zn en el ambiente se describe Jabri et al. (2022) en la figura 1.

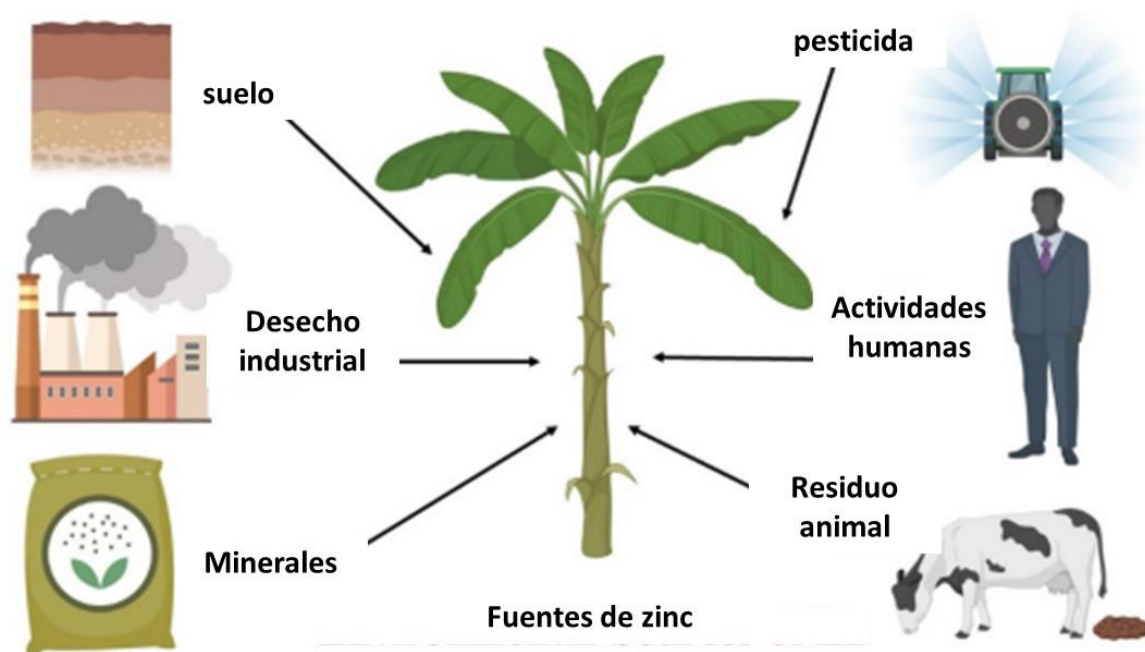


Figura 1. Absorción de Zinc por las plantas desde una variedad de fuentes.
Fuente: Jabri et al. (2022)

Preparación del extracto vegetal y síntesis verde. Para sintetizar nanopartículas se usa una base fuerte como NaOH como un agente reductor, también puede ser borohidruro de sodio, para reducir iones metálicos mediante las soluciones salinas, luego hay que aplicar un agente protector o un estabilizador. El asunto también es que hay que disolver los estabilizadores y los reactivos reductores, todo eso son sustancias tóxicas, es por eso que la síntesis verde que usan las plantas presentan ventajas por sus metabolitos primarios y secundarios que ayudan a estabilizar y proteger en la síntesis de NP cuando se produce la reducción de iones metálicos objetivo (Shafey, et al. 2020, Kamran, et al. 2019), como se muestra en la figura 2.

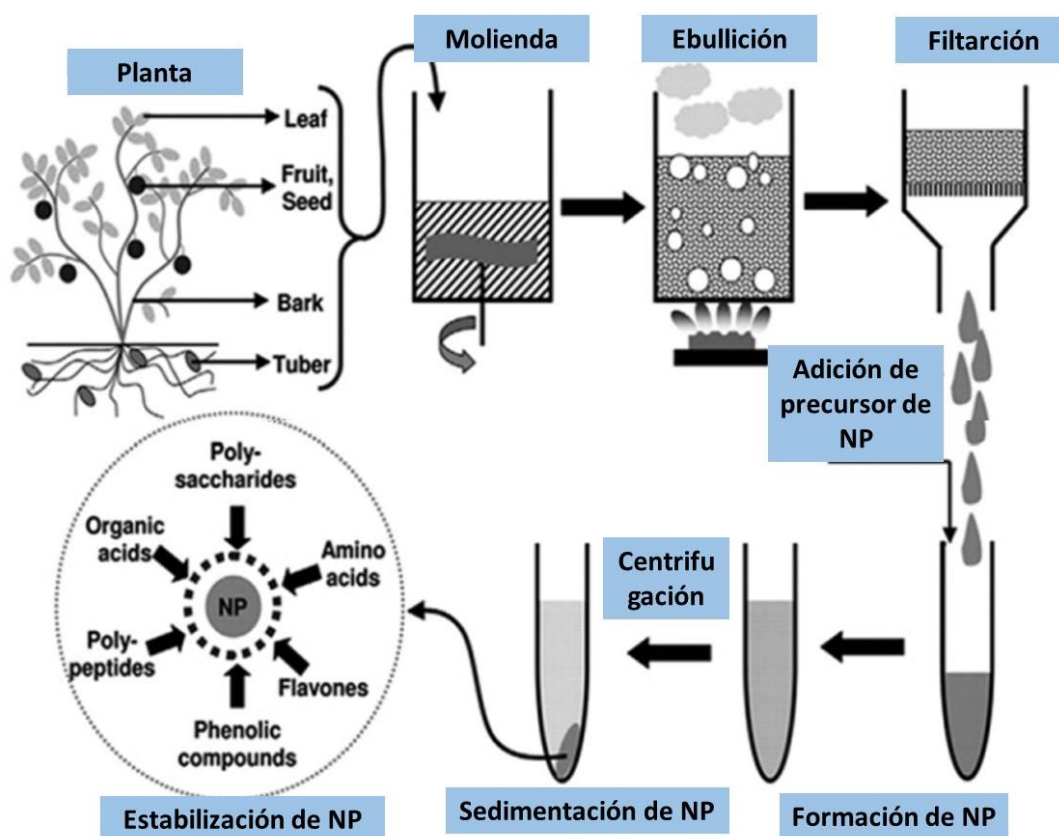


Figura 2. Síntesis verde de NP usando extractos vegetales. Fuente: Shafey et al. (2020)

Resulta que proteínas y los hidratos de carbono de origen vegetal son agentes que reducen los metales formando NP, esto se debe a la presencia de grupos químicos amino, alcaloides, flavonoides y antracenos, los cuales actúan sobre

los estados de oxidación de los metales, también están presentes los grupos de quinonas y plasto-hidroquinonas en los tejidos de hojas que son extraídos en el proceso, con un mecanismo en el que el oxígeno del aire o aquel generado mediante compuestos fitoquímicos unifican los iones metálicos ya reducidos mediante atracciones electrostáticas lo cual conduce a la formación de NP, de esta forma se evita la formación de aglomeraciones entre las partículas (Shafey et al. 2018; Shafey et al. 2020). La reducción de iones metálicos y la nucleación del ion reducido se irán activando pero su estabilidad como NP también aumenta en la fase de crecimiento pero la forma de las NO ocurre en la fase de terminación, lo cual se resumen como i) metales como los metales de transición, metales preciosos forman óxidos metálicos usando a los componentes fitoquímicos. ii) mediante los fitoquímicos, los iones metálicos pasan a la fase de crecimiento y estabilización. iii) una vez que los componentes fotoquímicos son degradados como consecuencia es liberado el oxígeno, logrando estabilizar a los iones metálicos antes de que se desarrolle una fase de crecimiento acelerado (Shafey et al. 2020; Rizwan et al. 2019)

Efecto del pH. Cada vez que varía el pH durante el proceso de generación de NP en la mezcla reaccionante se producen cambios en la forma de las nanoparticulas, Las NP de mayor tamaño se generaron a un pH más pequeño en comparación con el pH básico, en forma de varilla fabricadas de mayor tamaño a 2 pH y de menor tamaño a pH 3; mientras que a pH alcalino los resultados mostraron mejores propiedades (Naseer et al. 2020).

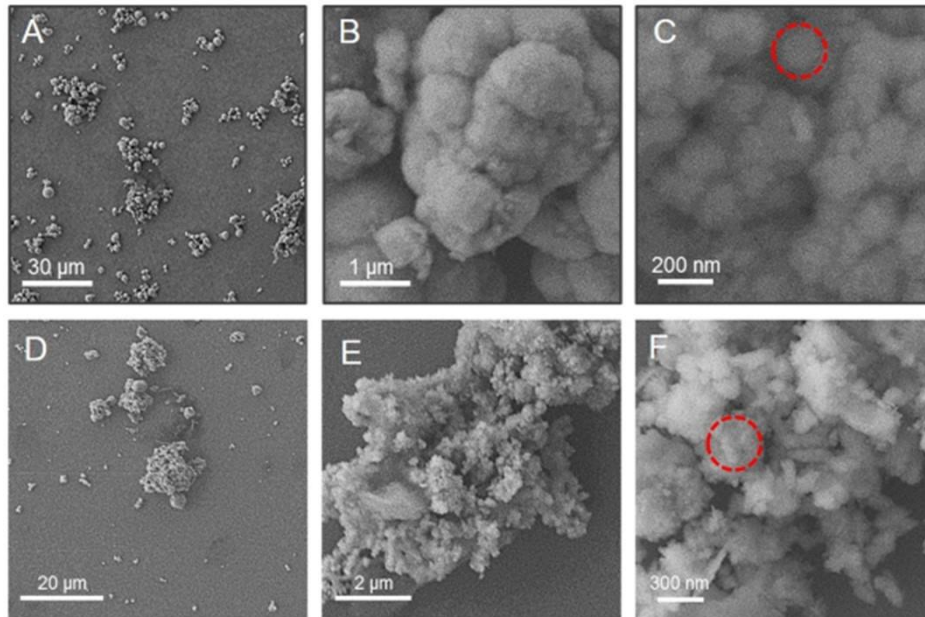


Figura 3. Formación de NP. Fuente: Naseer et al. (2020)

Efecto de la concentración. Otro factor relevante es la cantidad del extracto de la planta usado durante la síntesis de las esperadas NP, es sabido que una mayor concentración de extracto produce la desestabilización de las NP de plata, por eso se usan concentraciones del 5 % de extracto de hojas de té por ejemplo (Behravan et al. 2018).

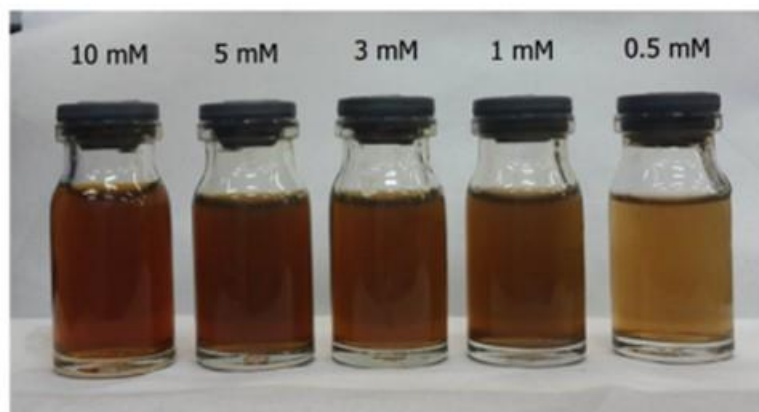


Figura 4. Síntesis de NP, sujeto a los efectos de concentración de la sal metálica aplicada entre 0.5 y 10 mM; del extracto vegetal acuoso de 3 a 30 mL y tiempo de agitación de 1 a 24 h. Fuente: Behravan et al. (2018)

Efecto del tiempo. Se han informado de tiempos muy cortos de 2 min observado por una rápida variación de color generando tamaños de 12 nm, otros casos han mostrado que en 15 minutos las NP comienzan a formarse continuando durante más de 2 h, es importante mencionar que también observaron una relación directa entre tiempo-intensidad del color de la mezcla reaccionante, en general la mezcla de reacción genera una velocidad de reducción de los iones metálicos que depende de sus grupos funcionales y su energía de activación que logra causar la reducción (Behravan et al. 2018; Shafey, et al. 2020)

Efecto de la temperatura. La temperatura de reacción y la naturaleza de la planta también afecta la morfología y la producción de NP, por ejemplo a temperatura ambiente (25 °C), se pueden producir NP de tamaños regulares, pero un incremento de temperatura puede causar la disminución del tamaño, en general, la cinética de la reacción puede mejorar o complicarse con la temperatura afectando los tamaños de NP (Shafey, et al. 2020; Behravan et al. 2018).

Efectos de la aplicación de Zinc en las plantas. En el crecimiento; la presencia de metales genera un estrés en la planta limitando su crecimiento y la reducción de la longitud de la raíz y la biomasa de brotes especialmente con mayores niveles de metales como el Cd pero aplicaciones de Zn en el caso del maíz han aumentado el rendimiento de grano con diferencias de acuerdo al fertilizante de zinc usado, el método de aplicación y los genotipos de maíz , el zinc se ha usado junto con enmiendas, por ejemplo la ceniza de caucho aplicada al suelo ha sido efectiva en el rendimiento de suelos contaminados con Cd, sin embargo las dosis de zinc pueden afectar al suelo y cultivo cuando no son las mejores , se ha informado de concentraciones de hasta 6.4 kg/h muy apropiado para incrementar el rendimiento de grano de lupino amarillo, pero un contenido más elevado de Zn en combinación con los metales en este caso el Cd disminuye el crecimiento de la planta como el arroz, de los brotes y raíces de la espinaca en cantidades de hasta 300 mg/kg cuando son estresadas con Cd , esto significa que contenido altos de zinc en las plantas podrían ocasionar efectos tóxicos (Rizwan et al. 2019).

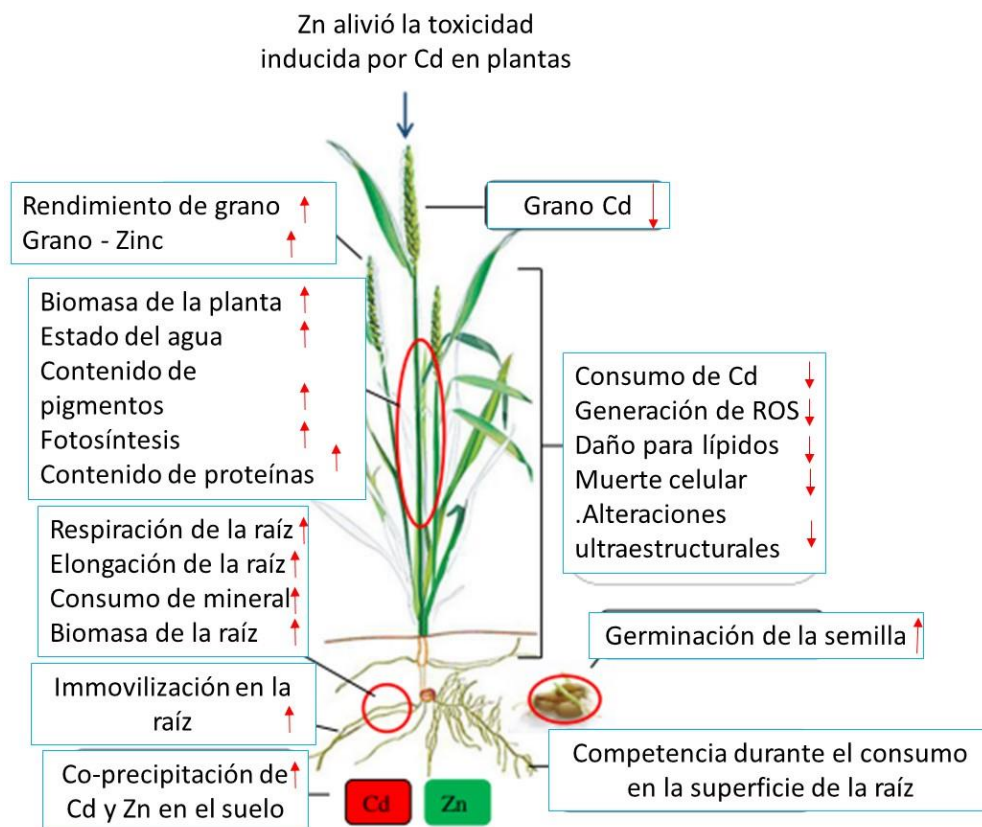


Figura 5. Mecanismos de tolerancia a la toxicidad de Cd mediada por Zn en vegetales propuesta por Rizwan et al. (2019). Fuente: Rizwan et al. (2019).

Efectos del Zn en el **crecimiento y desarrollo vegetal** ante la falta de agua. La sequía genera stress en los vegetales reduciendo la longitud y el peso de la planta, esto se debe a que la planta en calidad de emergencia moviliza sus nutrientes que tienen en reserva hasta el embrión, así la membrana celular es la primera célula afectada por el stress de la sequía (Hera et al. 2018), por lo tanto su auto mantenimiento es el centro de la tolerancia en este periodo sin agua. La sequía es ruda y reduce el tiempo de inicio de la panícula vegetal, esto trae como consecuencia la disminución en el rendimiento de grano e inhibe la absorción de nutrientes pero las ZnO-NP resultan mejor porque reducen el tiempo promedio para que la panícula prenda y pueden ser consideradas como fertilizante para los cultivos vegetales (Dimkpa et al. 2020). Según Hassan et al. (2020), cuando el Zn es aplicado en cultivos como el cebado de semillas se logra mejorar la germinación y el rendimiento del maíz, y otros cereales de amplio espectro en condiciones ambientales en plena sequía por mejora de formación de IAA y GA3 lo cual se aprecia en el desarrollo foliar, concentración de clorofila que le otorga

el color al vegetal y de otros pigmentos de tipo fotosintéticos, el Zn supera la falta de agua al estabilizar a las membrana, producir nuevas hormonas, y con ello eliminar los radicales oxidantes peligrosos ROS (Hassan et al. 2020). Sin embargo, las NP aplicadas en forma de suspensión acuosa, cuando se trata de nanopartículas sin cubierta y sin superficie funcional podría ser riesgoso cuando se pretende aplicar como humectante del suelo, o es aplicado foliarmente o simplemente es regado ya que en el agua el material puede ser solubilizado en forma de iónica o agregarse en grupos más grandes destruyendo su naturaleza nanoparticulada (Dimkpa et al. 2020). Respecto a la aplicación de Zn y su efecto en la **absorción de nutrientes, cuando es aplicado en el exterior se ha logrado incrementar la** absorción de otros nutrientes (Fe y Mn), lo cual señala una regulación de la actividad enzimática por la sobrevivencia de la planta que modulando las transducciones de señales y por consiguiente acumulando solutos compatibles para su desarrollo (Hassan et al. 2020).

Zhang et al. (2020) ha señalado que las NP son muy activas porque se transportan rápidamente, y tienen propiedades que les permiten catalizar directamente el crecimiento vegetal, mejorando el proceso fotosintético y la resistencia al estrés biótico y abiótico. Esto quiere decir que se produce un efecto positivo sobre la **fotosíntesis** en periodo de sequía ya que puede incrementar el contenido de CO₂ subestomatal disminuyendo el estrés e por la falta de agua, se desarrollan más de 300 enzimas, como los anudridos carbónicos, la carboxipeptidasa, enzimas deshidrogenasa, y superóxidos dismutasa metálicos y muy por el contrario su ausencia (Zn) disminuye estas actividades enzimáticas afectando negativamente la fotosíntesis (Hassan et al. 2020). Por ejemplo, Rossi et al. (2019) aplicó sulfato de zinc foliar y nanofertilizante de zinc en la planta de café en dosis de 10 mg/L de Zn por 45 días. Las NP de ZnO logro incrementar el peso en los tejidos en proporciones de 37/95 de raíces/hojas produciendo el aumento de la tasa fotosintética en 55 % en respuesta, las hojas tratadas con ZnO NP.

La aplicación foliar de NP de cinc ayuda al desarrollo foliar, el crecimiento de las plantas, es evidente que los tratamientos con ZnO NP pero un uso inadecuado podría inhibir de manera significativa el crecimiento de raíces y brotes al

disminuir también la concentración de clorofilas a y b, esto perjudica el proceso de fotosíntesis (Wang et al. 2018).

Cuando se produce la sequía, las hormonas son afectadas y por tanto la capacidad de formar componentes ácido indol acético (IAA) y las giberelinas GA que actúan como reguladoras del crecimiento vegetal, son, (IAA), giberelinas (GA), entre otros, pero la aplicación de Zn favorece su incremento y esto produce el crecimiento de los órganos del vegetal facilitando la absorción de agua y reduciendo los daños oxidativos de los radicales libres lo cual permite una mejor respuesta de las vías metabólicas del triptófano que regula y equilibra la osmosis natural, por ejemplo la presencia de la melatonina mejora la metabolización de la prolina mejorando a su vez su propiedad antioxidante (Sturikova et al. 2018; Hassan et al. 2020).

Desintoxicación de especies reactivas de oxígeno (**ROS**) por Zn, las especies ROS afectando las membranas vegetales, acumulan tóxicos y producen muerte celular, a pesar de que el vegetal presenta un sistema natural defensivo antioxidante que contiene varias enzimas que los protegen de estos radicales oxidantes especialmente en sequía, así, se protege el vegetal contra los superóxidos transformándolo en peróxidos y oxígeno atmosférico, la cuestión es el metal se une con las moléculas de señalización a las células como la cisteína para impedir la concentración de los radicales superoxidantes de ROS mejorando la expresión de proteínas, aumenta la expresión de las enzimas y proteínas contra la oxidación (Hassan et al. 2020). Zhou et al. (2018) aplicó Zn^{2+} para eliminar amonio y fósforo y evaluó el crecimiento de *la Lemna aequinoctialis* en el tratamiento de aguas residuales porcinas con dosis que oscilaron de 1-15 mg/L, la mejor dosis fue de 5,0 mg/L, obtuvo un buen crecimiento de la planta que logró acumular proteínas, contenido máximo de pigmentos fotosintéticos, contenido de vitamina E (4,5 mg/kg a 15 mg/L) en un cultivo de 12 días.

Efecto del Zn sobre las **actividades de las acuaporinas** bajo estrés por sequía
Las proteínas acuaporinas juegan un rol importante a nivel intracelular ya que se relacionan directamente con la regulación del movimiento del agua a través de las membranas celulares del vegetal, equilibran el proceso de osmosis y la

permeabilidad hídrica; favoreciendo la movilidad del agua hacia cada órgano del vegetal, todo tejido previniendo la pérdida del potencial acuoso en la planta, desde la sección radicular hacia los brotes manteniendo la irrigación interna y el intercambio gaseoso como es el caso del Zn en el proceso fotosintético y de absorción de calcio iónico (Hassan et al. 2020). Salama et al. (2019) preparó una suspensión de ZnO-NPs en concentraciones de 0-40 ppm y lo aplico como nutriente en las hojas del frijol cultivado, evaluó ciertos genes y sus proteínas al contabilizar la cantidad de ramas y hojas en cada unidad sembrada en estado fresco y seco logrando que la aplicación de 30 ppm incrementara el rendimiento de semillas de 2.41 a 2.48 toneladas por hectárea.

Aplicación de NP ZnO en fitorremediación. La nano remediación en plantas bajo estrés por metales pesados, genera mecanismos para aliviarlo y esto se refleja en la forma, procesos metabólicos del vegetal y de su bioquímica durante el proceso de bioremediación, una de las cosas generadas por las plantas es la reducción del contenido metálico biodisponible en el ecosistema suelo; expresión regulada de los genes de movilidad metálico o de translocación y la mejora de la capacidad de los sistemas antioxidantes en las plantas lo cual mejora sus funciones fisiológicas lo cual favorece la formación de agentes protectores reflejados en el sistema radicular, fito-quelatina y agentes ácidos orgánicos (Lian et al. 2020). Resuelta que los metales presentes en el suelo son captados y transformados por las nanoparticulas ya que ayudan a reducir la movilidad y biodisponibilidad de estos (Sebastian et al. 2019). Es sabido que estas NP-ZnO mejoran las propiedades fisicoquímicas del suelo y reducen los efectos nocivos de los metales en el suelo (Cui et al 2018)

La raíz del vegetal genera barreras apoplásticas para protegerla y controlar el flujo hídrico-iones-oxígeno, esta barrera es influenciada por las NP ZnO, disminuyendo la cantidad de metales de la raíz, pero por si mismas las barreras no podrían disminuir el estrés metálico y los danos inherentes producidos en las raíces vegetales que transportan metales en simultáneo; pero estos genes de transporte metálico logran ser regulados por nanoparticulas específicas, de tal manera que las nanoparticulas son acumuladas en las paredes celulares uniéndose a los metales pesados haciendo inaccesibles la formación de complejos inhabilitando su migración celular (Wang, et al 2021). También, los ácidos orgánicos acumulados en las células de los órganos son quelados con

los metales pesados reduciendo el daño por estrés metálico, las nanopartículas de ZnO mejoran la producción de agentes protectores estructurales, porque promueven la síntesis de ácidos orgánicos reduciendo el daño causado por el metal, asimismo se alivia el estrés de metales porque se activa el sistema de defensa contra la oxidación es sabido que los vegetales producen ROS por reacciones bioquímicas específicas (Hassan et al. 2020). El problema es que los radicales oxidantes dañan los procesos de respiración y aquellos fotosintéticos mediante sus efectos sobre los cloroplastos entre otras células, se debe a que los radicales se interponen con las señales defensivas y de desarrollo vegetal y más aún, si están estresadas ante concentraciones tóxicas metálicas se produce una mayor acumulación de estos radicales (Hassan et al. 2020; Zhao et al. 2020).

III.METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación.

La investigación es de enfoque cualitativo que fue realizado mediante una revisión de artículos de alto impacto referidos a la aplicación de nanopartículas de ZnO un semiconductor usado para mejorar la respuesta de las plantas respecto a su crecimiento y desarrollo considerando a demás los riesgos que implica un uso no adecuado, esta información ha sido recopilada en los últimos cinco años desde 2018 al 2022, correspondiendo a una investigación basada en artículos de investigación aplicada (Pandey and Pandey, 2015).

También corresponde a una investigación aplicada, ya que se usan los conocimientos básicos y enfoque teóricos logrados sobre la definición de las nanoparticulas para su aplicación como mejoradores del desarrollo de las plantas. De acuerdo a Concytec (2018) trata de la aplicación de ciencia básica, aplicación de métodos y tecnologías dirigidas a brindar soluciones a problemas específicos (Concytec, 2018). Se ha efectuado una revisión sistemática y organizada de acuerdo a 4 categorías plantadas.

Con tal fin se han investigado artículos científicos publicados en la base de datos de Scopus directamente enlazadas con la aplicación de nanoparticulas ZnO para optimizar el rendimiento y tolerancia de las plantas ante distintos efectos del stress, especialmente por metales, además de la información relacionada con las categorías seleccionadas como aparecen en la matriz de categorías. Los criterios de inclusión han sido el idioma inglés y publicaciones de los recientes 5 años.

3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización

La tabla 1 presenta la matriz de categorizacion:

Tabla 1. Matriz de categorización

Problemas	Objetivo	Categorías	Sub categorías	Unidad de análisis
¿Qué método se usa para preparar el Extracto vegetal y síntesis verde de NP de ZnO?	Analizar el método usado para preparar el Extracto vegetal y síntesis verde de NP de ZnO	Extracto vegetal y síntesis verde	hojas, tallo, raíces, fruto, efecto de pH, de concentración de extracto	Hacisalihoglu 2020; Estrada-Urbina 2018
¿Cómo afecta las NP ZnO a las plantas?	Analizar el efecto de las NP ZnO en las plantas	Efecto del NP ZnO en plantas	fotosíntesis, clorofila, crecimiento, etc	Estrada-Urbina 2018; Bala, et al 2019
¿Cuán eficiente es la aplicación en fitorremediación de metales pesados?	Analizar la aplicación en fitorremediación de metales pesados	Aplicación en fitorremediación	tipo de metales, eficiencia de remoción	Elhaj 2018; Neto, et al 2020; Itrotwar, et al 2020

3.3. Escenario de estudio

La investigación no presenta lugar de estudio, debido a que es virtual, esto corresponde a los artículos científicos analizados a partir de donde se extrajo la información necesaria para responder a las 3 categorías usadas y buscadas en las revistas que pertenecen a SCOPUS y Web of Sciences.

3.4. Participantes

No hay participantes en esta investigación salvo las bases de datos mencionados, los artículos fueron extraídos de la biblioteca virtual de la universidad.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica empleada ha sido la observación y como instrumento se elaboraron fichas para separar los datos e información obtenida en respuesta a la categorías planteadas tales como las metodologías empleadas en la extracción vegetal y síntesis verde, en el efecto del NP ZnO en plantas y en la aplicación de las NP ZnO en fitorremediación. Se efectuó un análisis exhaustivo de los documentos (Domínguez, 2016, p. 15).

3.6. Procedimientos

Se ha procedido a la búsqueda de artículos originales sobre las distintas metodologías usadas para manipular los tejidos vegetales en sus partes como hojas, fruto, raíces, etc en las cantidades usadas de este material, como en la temperatura y tiempo de extracción, además de las condiciones termodinámicas de la síntesis de las NP de ZnO, asimismo en las fortalezas y limitaciones de la aplicación de NP ZnO en las plantas y en los proceso de fitorremediación, el análisis se he efectuado en artículo de años recientes entre el 2018 y el 2022 en idioma ingles delas bases de datos Scopus y WoS.

3.7. Rigor científico

En principio se ha definido conceptualmente los aspectos propios de cada categoría como parte de la validez del constructo, la teorías y enfoques que se usan para la preparación de los materiales nanoparticulas con óxido de cinc para

mejorar el rendimiento vegetal en suelos fitoremediados a partir de artículos revisados por pares que demuestran la validez de los datos y enfoques planteados (López et al., 2019). Por lo tanto se ha cumplido con el principio de transferencia del conocimiento, además de la información que permite tener una visión general de las técnicas reproducibles que han formado parte de los resultados y discusión de este informe (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 453-459).

3.8. Método de análisis de información

Mediante las fichas de información, se ha efectuado la selección de datos para armar las tablas de resultados donde se ha señalado las distintas condiciones que han sido informado por los autores revisados respecto a la aplicación de NP ZnO en fitorremediación de suelos por metales pesados.

3.9. Aspectos éticos

La investigación cumple con los principios éticos de CONCYTC , asimismo con los valores éticos que establece la Universidad Cesar Vallejo, se ha respetado cada autor revisado, se ha citado completamente y e identificado en las referencias bibliográficas respetándose la propiedad intelectual.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

OE1: Preparación del extracto vegetal. La preparación del extracto siempre es única, es difícil que se repita a no ser se apliquen las mismas condiciones para el mismo tejido de la planta, esto significa que el extracto dependerá de la sección del tejido vegetal usado, la cantidad, el tiempo de extracción, el líquido de extracción, orgánico, covalente o polar, ya que la concentración de los fitoquímicos es variada; por ejemplo en el caso de la Aloe vera se puede extraer desde las hojas que se cortan en pedazos finos y uniformes y luego hervirlas con agua desionizada o desde el gel triturado y luego convertido en pasta fina molida junto con la adición de agua desionizada (Rizwan et al. 2019). En otros casos se usa el fruto, la pulpa es cortada en trozos y es mezclada con agua desionizada, una vez que se deja en agua, luego se filtra, en otros casos se usan las hojas cortadas finamente, luego estas son molidas en un mortero con agua desionizada, la aplicación de calor es importante y, cuando se enfrían, es necesario efectuar una filtración para usarlo en las pruebas programadas (Hacisalihoglu 2020), se han usado las hojas de *Juglans regia L.* entendiendo el potencial del extracto de hojas para sintetizar nanocristales de ZnO (Darvishi, et al. 2019). En el caso del *Eucalyptus globulus Labill* sus hojas resultaron en un magnífico extracto, primero fueron lavadas con agua destilada, deshidratada, y cortadas en pequeños trozos, se usaron 20 g de trozos mezclados con 5 ml de agua destilada para formar una pasta, luego 6 g de la pasta se mezcló con 100 mL de una solución 2 M de NaOH a pH 8, posteriormente se centrifugo para separar el precipitado formado, y se secó a 60 °C y luego enfriado a temperatura ambiente. Los procesos son similares tratándose de hojas como la *Cayratia pedata*, para lo cual se pesó 50 g de hojas cortadas en trozos pequeños las que fueron trituradas y mezcladas con agua; sin embargo, se aplicaron distintas concentraciones de extracto de 25 g/50 ml y 25 g/100 ml sometidos a ebullición, se necesitó centrifugar y se separó el sobrenadante que constituyo el extracto a usar en la síntesis verde. El extracto podría usarse como agente de protección o hidrolización en la síntesis verde de NP- ZnO. Por lo tanto, la elaboración del extracto a partir de los tejidos del vegetal sigue cualquiera de los dos

procedimientos básicos; i) lavar la parte de la planta, cortar finamente, luego hervir y, ii) lavar, secar, moler y finalmente hervir. Sin embargo, existen diferencias entre los extractos vegetales porque dependen del tipo de planta, partes de la misma, temperatura de extracción y tiempo de ebullición.

Las proteínas y los carbohidratos actúan como los principales agentes en la producción de las nanopartículas, reducen los iones metálicos conformando estructuras nanoparticuladas de ZnO (Shafey et al. 2020).

En la actualidad aun nos e ha descifrado el mecanismos completo de la síntesis verde, aunque sí se sabe que son los componentes fitoquímicos vegetales los responsables de la reducción de metales, una vez mas, se sabe que es el oxígeno atmosférico o liberado en el proceso por fitoquímicos une los iones metálicos reducidos, mediante una atracción electrostática formando óxido metálico, esto le confiere estabilidad porque se evita la aglomeración entre ellos. Liu et al (2020), opto por el calentamiento de 25 mL de extracto vegetal (*A. longiligulare*) a 60 °C usando un solución de extracto al 50 % y mezclado con nitrato de zinc 1 M alcalinizando la reacción por medio de 1 M de NaOH, lo cual formo un precipitado que luego sería calentado y centrifugado y finalmente secada hasta obtener un polvo blanco correspondiente a las NP de ZnO. Los resultados para cada caso son mostrados en la tabla 2.

Tabla 2. Preparación de extracto vegetal y síntesis verde de nanopartículas de ZnO

Planta	Tejido	Extracto vegetal	Síntesis verde	Referencia
<i>A. longiligulare</i>	frutos secos	Las plantas es lavada y secada y molida, se pesa 25 mg + 100 mL de agua para formar una Suspensión acuosa que se autoclava x 30 min a 100 °C. Centrifugación de la solcuion acuosa: 5000 rpm, 10 minutos, filtración con PFW1	Se calentaron 25 mL de extracto vegetal (<i>A. longiligulare</i>) a 60 °C con una concentración del 50 % + 25 mL de nitrato de zinc 1 M + gotas de 1 M de NaOH = Precipitado de NP-ZnO. La solución se agita x 2 h a 60 °C adopta color amarillento cremoso (ZnO). Centrifugación a 12.000 rpm x 10 min + lavado con etanol. Posterior secado al vacío a 60 °C x una noche (polvo blanco).	Liu et al. (2020=
<i>C. fstula</i> y <i>M. azedarach</i>	no indica	no indica	Extractos de hojas de <i>C. fstula</i> y <i>M. azedarach</i> + acetato de zinc. Cambio de color en la síntesis con <i>C. fstula</i> color de amarillo hacia marrón claro y con <i>M. azedarach</i> de rojo a	Naseer et al. (2020)

			blanco indicó la formación de NP de ZnO a 70 °C para producir NP de ZnO	
<i>Cayratia pedata</i>	Hoja	Hojas de la planta lavada en agua y luego secada. Pesado de 50 g de hojas cortadas en trozos pequeños y trituradas + agua. Concentraciones de extracto: 25 g/50 ml y 25 g/100 ml + ebullición x 15 minutos, + filtración con PFW1. Centrifugación a 2400 rpm x 5 min. Sobrenadante = extracto	5 ml de nitrato de zinc 10 mM + extracto vegetal de hoja Temperatura: 65 °C durante Tiempo: 20 min x toda la noche cambio a color amarillo claro. Posterior secado de pasta calcinada a 400 °C x 2 h	Jayachandran et al. (2021)
<i>D. tortuosa</i>	partes aéreas	Vegetal seco, y molido. Peso: 50 g de polvo + 1 L de agua destilada x 24 h a 20 °C d Agitación: 100 rpm. Filtración PFW1	25 ml de extracto se calienta a 60–80 °C + agitación magnética + a 60 °C se añade 2.5 g de nitrato de zinc y reposan x 1h hasta la formación de un precipitado blanco + reposo x una noche a 60 °C hasta formación de una pasta cremosa. Posterior lavado en agua destilada: Etanol (3:1). Luego la pasta se calcina a 400 °C x h resulta polvo blanco	Selim et al. (2020)

<i>Punica granatum</i>	hojas frescas	Lavado con agua, secado a la sombra, molidos hasta un polvo fino + agua. Mezcla es calentada a 60 °C x 3 h, hasta cambio de color verde a marrón. Filtración en PFW1. Filtrado = extracto	Nitrato de zinc de 0,1 M + gota a gota extracto acuoso de hojas + calor a 60 ° C por 3 – 4 h (hasta gelatina) llevado a calcinación a 400 °C x 3 - 4 h = toma polvo de color blanco	Singh et al. (2019)
<i>Atalantia monophylla</i>	hojas	Secado y molido Peso: 10g de polvo fino + 100 ml de agua a 60 °C x 20 min. Filtración PFW1	Mezcla de acetato de zinc 0,1 M + 25 ml de los extracto con agitación a 60 °C x 2 h hasta obtener color amarillo. Reposo x 8 h, centrifugación a 6000 rpm x 20 min. Posterior lavado con agua y luego con metanol. Secado por una noche, el precipitado a 80 °C	Vijayakumar, et al (2018)
<i>Albizia saman</i> (Jacq.) Merr.	hojas	20 g de hojas frescas lavadas con agua, secado a la sombra y cortadas en trozos pequeños + 100 ml de agua. Ebullición a 60°C x 1 h. La suspensión fría se filtra con PFW1	A 7.5 ml de extracto + 92.5 ml de solución Zn(NO ₃) ₂ a 60°C x 10 min. Se enfría a temperatura ambiente con pH ajustado alcalino de 8 a 10. Cambio de color de la solución de amarillo débil a oscuro	Daphedar et al. (2018)

<i>Solanum torvum</i> L	hojas	Lavado con agua secado y molido. Extracción: Polvo + agua a 100 °C por 45 min. Extracto de color marrón oscuro es filtrado + ultrafiltración con filtro de 0.45 µm. Extracto es almacenado a 4 °C	200 ml de solución de Zn(NO ₃) ₂ (1.5 mM) + 20 ml del extracto + hidróxido de sodio 1.0 M (10 ml) sometido a oscuridad a 60 °C. Formación de color blanco por NP ZnO al final de las 24 h. Centrifugación y lavado en agua bidestilada y etanol. Secado	Ezealisiji, et al. (2019)
<i>S. baicalensis</i>	raíces	5 mg de raíces secas + 100 ml de agua forma suspensión. Autoclave x 30 min a 100 °C =Extracto, se eliminó la parte sólida. Suspensión es filtrada con PFW1.	Solución extracto/agua = 5 ml/95 ml de agua destilada (5 %) + gota a gota de solución de nitrato de zinc a una concentración final de 1 mM. Se alcalinizo con NaOH + calor a 70 °C x 1,5 h x 30 min cambia de color a amarillo de Nápoles. El precipitado es centrifugado a 8000 rpm por 15 min, secado al aire a 60 °C en horno de vacío x una noche y se recogió el polvo	Chen et al. (2019)

<i>M.azedarach</i>	hojas	<p>Lavado secado y pulverizado. Peso: 5 g de polvo de hojas + 100 mL de agua</p> <p>Temperatura: 80 °C</p> <p>Tiempo: 20 minutos,</p> <p>Filtrado: PDW1 (tamaño de poro 45 μm).</p>	<p>Preparar: 100 mL de una solución 6 mM de nitrato de zinc</p> <p>Síntesis: 25 mL de extracto + 75 mL de solución Zn(NO₃)₂</p> <p>Temperatura: 50 °C.</p> <p>Reposo x 24 h</p> <p>Calcinación: 200 °C x 30 min para obtener nanopartículas de ZnO</p>	Dhandapani, et al. (2020)
<i>Eucalyptus globulus Labill</i>	Hojas	<p>Lavado con agua destilada.</p> <p>Deshidratado, pequeños trozos cortados. 20 g de trozos de hojas + 5 ml de agua destilada se trituraron formando una pasta. Mezcla 6 g de pasta + 100 mL de agua destilada + gota a gota 2 Mol de solución de NaOH a pH 8. Agitación x 1 h forma precipitado turbio Zn (OH)₂, centrifugación a 5000 rpm x 1 h y secado a 60 °C y luego enfriado a temperatura ambiente</p>	<p>30 ml de este extracto calentado a 60 °C, + 3 g de nitrato de zinc a 60 °C, hasta convertir a una pasta amarillenta después de 1 hora. Calcinación posterior a 400 °C x 2 horas. Residuo es lavado con etanol y agua destilada. Polvo calentado a 100 °C para sequedad</p>	Barzinjy, et al. (2020)

<p><i>Costus pictus</i> <i>D. Don</i></p>	<p>Hojas</p>	<p>Enjuague con agua corriente y cortada en trozos pequeños, secada a 50 ° C. Sometidas a ebullición hirvieron 2 g de en agua x 15 minutos, filtrado luego en PFW1</p>	<p>50 ml de Zn(NO₃)₂ 0.1 M + 10ml de extracto gota a gota Temperatura: 80 °C Tiempo: 4h, Centrifugado: 10000 rpm x 10 min, lavados y secado Centrifugado: 5000 rpm x 10 min, Secado: 40 °C x 8 h Calcinado: 450 °C</p>	<p>Suresh et al. (2018)</p>
<p><i>Juglans regia L.</i></p>	<p>Hojas</p>	<p>Lavado con agua, secada y molido. Peso: 2 g de polvo de hojas + 100 ml de agua destilada + calor x 5 min a 100 °C. Filtración del extracto con PFW1 Almacenado: 4 °C.</p>	<p>20 ml del extracto + calor a 50 °C x 10 min Adición gota a gota a 500 ml de solución de acetato de zinc (2–20 mM) Tiempo: 3-4 h Temperatura: 70 °C. Color amarillento pasa a crema (hidróxido de zinc). Precipitado Centrifugado:8000 rpm</p>	<p>Darvishi, et al. (2019)</p>

			Tiempo: 10 min, lavado y seca a 60 °C x 24 h	
<i>Matricaria chamomilla L</i>	Flor	Extracto de flores de manzanilla, hojas de olivo y frutos rojos de tomate.	Proporción 1:1 de ZnO 1 M + extractos de plantas + calor a 100 rpm x 4 h. Posterior centrifugado a 10000 rpm x 20 min. El sedimento se lavó con agua destilada y liofilizó	Ogunyemi, et al. (2019)
<i>Lycopersicon esculentum M</i>	Fruto	Lavado con agua, y secado al aire. Peso: 2 g de polvo + 200 ml de agua		
<i>Olea europaea</i>	Hoja	Temperatura: 60–70 °C x 4 h, Filtrado: PFW1.		

papel de filtro Whatman No.1 =PFW1

OE2: Efecto de la aplicación de Zn (II) el crecimiento y la ecofisiología de plantas cultivadas en suelos contaminados por metales pesados. De acuerdo a Ahmad, et al. (2022), la aplicación de iones de Zn(II) puede disminuir el daño oxidativo en la membrana orgánulo por formación de ROS que es un efecto o estrés inhibiendo el crecimiento y la fotosíntesis, siempre y cuando sea regulado en su aplicación de ZnO conforme señalo Bhat et al. (2022), cuando las dosis resultan además el ZnO regula distintas vías transcripcionales que permiten elevar la tolerancia al estrés oxidativo (Faizan et al. 2021; Ahmad et al. 2020), lo cierto es que cuando las cantidades resultan adecuadas el Zn puede mejorar la capacidad de intercambio de gases, promoviendo el crecimiento y la biomasa de la planta (Qin et al. 2018).

Rossi et al. (2019) comparo la aplicación de ZnO y de NP de ZnO confirmando una mayor desarrollo de la biomasa vegetal expresada en el incremento del peso fresco de sus tejidos (raíces: 28 %; tallo: 85 %; y hojas: 20 %), mientras que el ZnO solo aumento cantidades inferiores al 19%, además no se observó variaciones en la tasa de fotosíntesis y la conductancia estomática, se notó una disminución en gs de aproximadamente un 30% en D20 para las plantas tratadas con ZnSO₄ y un aumento de más del 90% para los tratamientos con ZnO NPs en D40, tampoco hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos, eso significa que se experimentó una asimilación de zinc en hojas aumentó especialmente con ZnO NP ya que las hojas contenían un mayor contenido de Zn (alrededor de 1267 mg/L), los estados entre tallos y raíces fueron similares estadísticamente. Las diferencias de peso se observan en la figura 6.

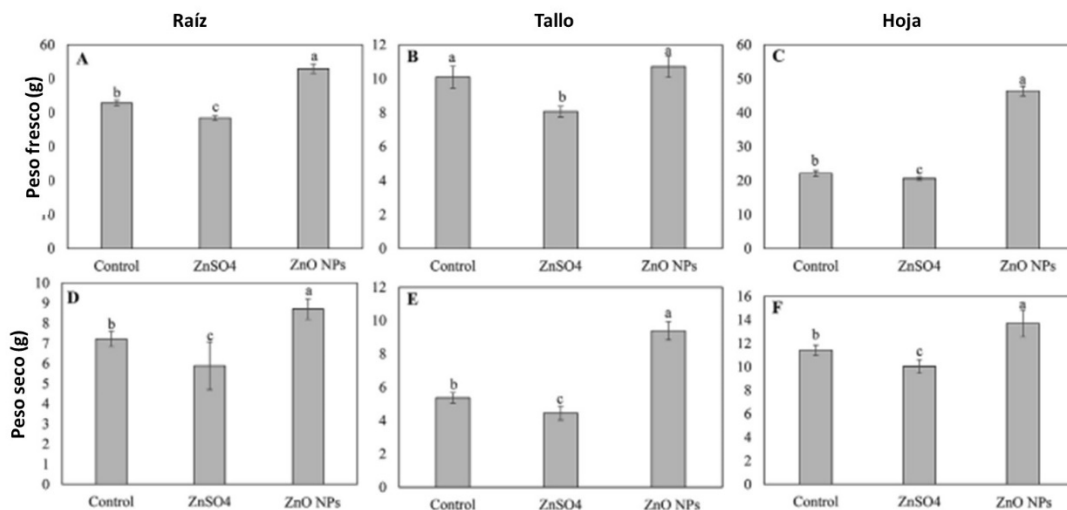


Figura 6. Peso fresco y seco de raíz, tallo y hojas de *Coffea arabica* L. fertilizados foliarmente con ZnSO₄ y ZnO NP. (A): raíz fresca, (B): tallo fresco (C): hojas frescas, (D): raízsecas, (E): tallo seco, (F): hojas secas Fuente: Rossi et al. (2019)

No obstante, Zhou et al. (2018), señalo que elevadas concentraciones de Zn⁺² podrían ser dañinas para la planta, la asimilación de Zn²⁺ efectuada por plantas como la *Lemna aequinoctialis* bajo distintas concentraciones del metal en aguas residuales independiente del tiempo de cultivo, no produce diferencias (1.0-5.0 mg/L), mostrando poca absorción o asimilación del ion por la planta y tolerancia a menores contenidos del metal, es posible que algunas células estuvieran muertas por el daño causado por ROS peróxidos a las altas concentraciones de Zn²⁺, entonces la estructura del nucléolo celular fue destruida con una ruptura de la membrana nuclear causando una caída rápida del pH a mayores valores de zinc.

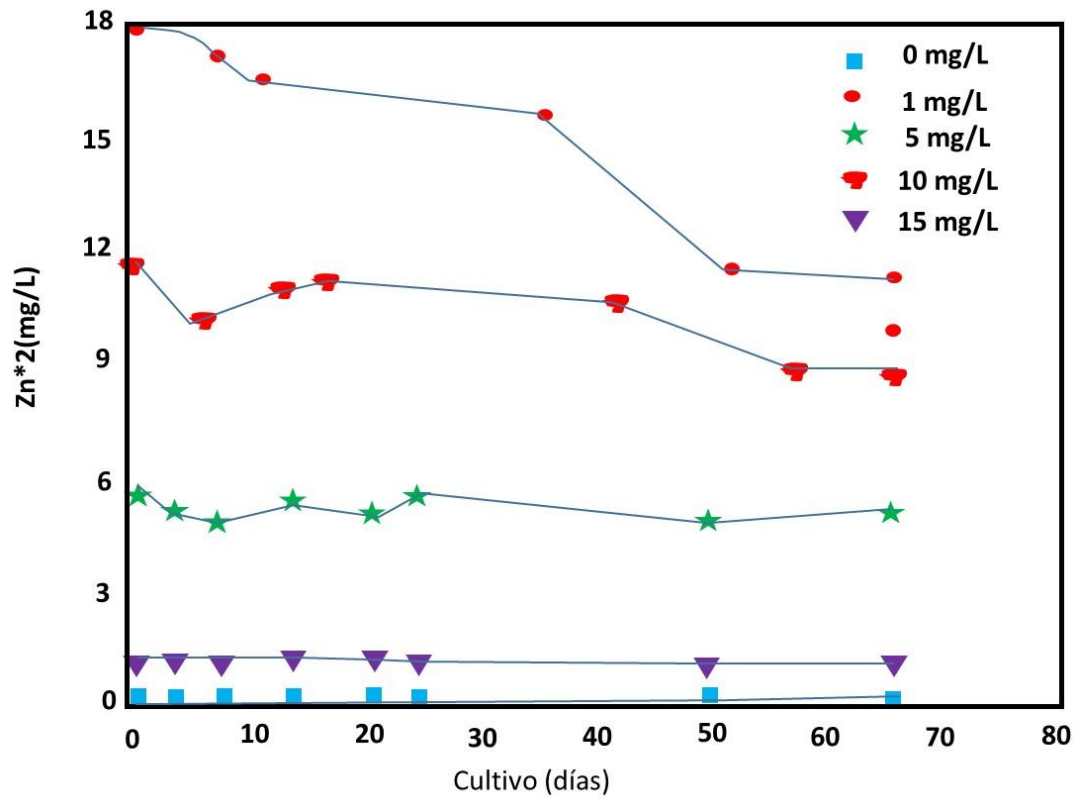


Figura 7. Absorción de Zn^{+2} en la planta con los días de cultivo. Fuente: Zhou et al. (2018).

Además Sturikova et al. (2018) ha enfatizado que la acción de elevadas concentraciones de las nanopartículas de zinc se llega a manifestar a nivel celular porque inducen la producción desmedida de especies de radicales oxidantes de oxígeno (ROS), lo que conduce al estrés oxidativo, interrumpiendo la formación de clorofila, la peroxidación de lípidos, la desnaturalización de proteínas y la deformación cromosómica, la planta produce mecanismos defensivos y genera la sobreexpresión de enzimas antioxidantes superóxidos, catalasa, peroxidasa entre otros.

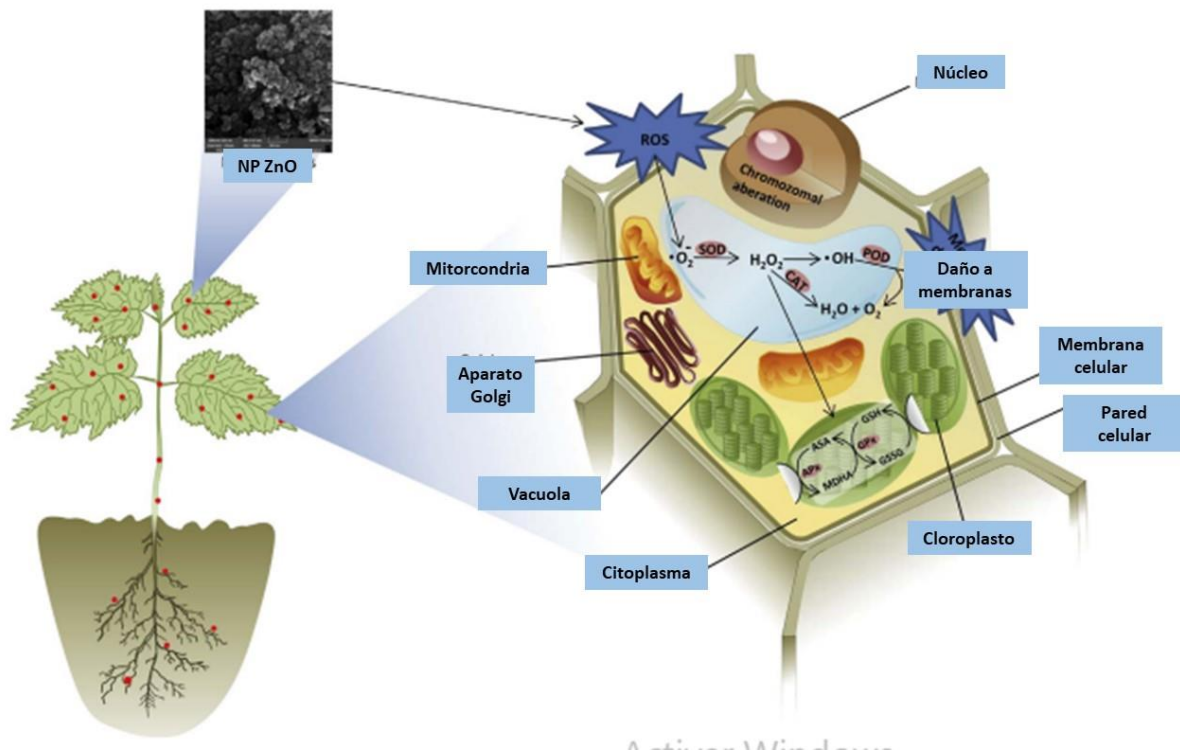


Figura 8. Mecanismo de defensa de la planta ante daños de elevadas concentraciones de Zinc. Fuente: Sturikova et al. (2018)

OE3: Las nanopartículas de óxido de zinc (ZnO NP) han mostrado un impacto positivo en las plantas a concentraciones bajas pero una mayor dosis inhibe el crecimiento de plantas y puede resultar toxica. Las nanopartículas de Zn con extracto de plantas han tratado de manera sinérgica distintos contaminantes tóxicos, se sabe que el zinc metálico es un oligoelemento presente en los organismos, micronutriente elemental para el crecimiento y desarrollo óptimo vegetal, se requiere para la síntesis de clorofila, lípidos, proteínas y los hidratos de carbono, promueve con las enzimas la actividad hormonal (Hussein y Abou-Baker 2018). Las nanoparticulas de ZnO son usados en el tratamiento de aguas como adsorbente para eliminar metales pesados y también se usa para tratar suelos contaminados por metales (Hussain et al. 2021). Akhtar, et al (2021) probó dosis de ZnO NP desde 5 a 25 mg/L pero la menor dosis aunque acumulo menor cantidad de Pb y Cu en la raíz, el brote y la hoja de la *Oryza sativa L* pudo lograr un mayor crecimiento de la planta. Además Chen et al. (2022) probó una combinación de enmiendas de residuo de bersim con ZnONP y lograron mejorar

el contenido de clorofila de la hoja de *Triticum aestivum L* además de una mejora en las actividades enzimáticas antioxidantes lo cual produjo una mayor retención de los electrolitos en el tejido y una mayor acumulación de Cd en las raíces y partes aéreas. Yentür et al. (2021) logro demostrar que el Cd acumuló de 5.2 a 8.7 veces más que el valor umbral crítico de hiperacumulación (100 µg/g) cuando uso la *Carthamus tinctorius* fortalecida con NP ZnO en dosis de 0-3-6 mg/L. Esto significa que el uso de NP debe hacerse con sumo cuidado como se ha visto anteriormente antes hay que estudiar los efectos que pueden causar su aplicación, y esto debe incluir la actividad microbiana, por ejemplo, la aplicación de nanopartículas de ZnO en cantidades desfavorables reduce su eficiencia porque degrada hasta un 130% el carbono orgánico cuando disminuye la actividad microbiana, ya que pueden actuar como agentes antimicrobianos (Rajput et al 2018). Aun se requiere mayor investigación sobre las posibilidades de relaciones con diferentes especies vegetales; interacciones metal-suelo (Handojo et al 2020) para evaluar los efectos de los NM especialmente en los inicios del crecimiento del vegetal y la posible biomagnificación (Guerra et al. 2021). La tabla muestra los resultados obtenidos respecto a las cualidades del ZnO en procesos de mejorar del estrés de las plantas y de fitorremediación.

Tabla 3. Plantas usadas bajo la aplicación de iones de Zn⁺²

Especie	Tipo de metal	Tipo de cultivo	Duración de metal (días)	Descripción	Referencias
<i>Triticum aestivum</i>	Cr	Suelo	120	La aplicación de Zn disminuyó el daño oxidativo en la membrana orgánulo delimitado	Ahmad, et al. 2022
<i>Glycine max</i>	As	Suelo	mamdurez	A pesar de los efectos sobre el crecimiento y proceso foto tintico cuando se aplicó el ZnO se logró inhibir el stress	Bhat et al. (2022)
<i>Oryza sativa</i>	As	Suelo	50	ZnO logró regular las rutas de transcripción involucradas con una mayor tolerancia al estrés oxidativo	Faizan et al. (2021)
<i>Glycine max</i>	As	Suelo	60	Se logró disminuir el contenido de As en las raíces y partes aéreas del vegetal por adición de ZnO	Ahmad et al. (2020)
<i>Morus alba</i>	Pb	Suelo	90	La presencia de Zn mejoro el crecimiento de vegeta debido a un mayor intercambio gaseoso, se equilibrio los procesos redox y se mejoró el desarrollo de la biomasa.	Qin et al. (2018)

<i>Persicaria hydropiper</i>	Pb	hidropónico	-	<p>Se probaron distintas dosis de NP-ZnO: 5-20 mg/L.</p> <p>Se logró reducir el estrés oxidativo en la planta, se produjo más contenido de prolina libre, fenoles, flavonoides y activación de enzimas antioxidantes. Esta situación produjo una mayor acumulación de Pb en raíces (255.6 mg/kg), tallo (124 mg/kg) y hojas (92mg/kg) con 15 mg/L ZnO NPs</p>	Hussain, et al (2021)
<i>Oryza sativa L</i>	Pb y Cu	Suelo		<p>Dosis de ZnO NP: (5, 10, 15, 20 y 25 mg/L).</p> <p>Los mejores resultados de crecimiento vegetal se obtuvieron para un menor contenido de NP de ZnO (5 mg/L). Esto condujo a una menor absorción de Pb y Cu en la raíz, el brote y la hoja.</p>	Akhtar, et al (2021)
<i>Triticum aestivum L</i>	Cd	Suelo	plena madurez	<p>Enmiendas aplicadas siendo máximas con el uso combinado de ZnONP + residuo de bersim, 75 mg/kg) se produjo más clorofila y se mejoró la actividad de las enzimas contra la oxidación disminuyendo la pérdida de</p>	Chen et al. (2022)

				electrolitos. También se produjo una mayor acumulación de Cd en la planta.	
<i>Carthamus tinctorius</i>	Cd	Hidroponico	20	Aplicación de ZnO-NP: 0-3-6 mg/L y Cd en dosis crecientes (0-5-10 mg/L). Se incrementó la acumulación de Cd (100 mg/kg) en el vegetal. Un mejor estado de la clorofila también almaceno más contenido de Cd (5.2 a 8.7 veces más) con la aplicación de las NP ZnO	Yentür et al. (2021)

V. CONCLUSIONES

OE1: Se ha encontrado que, aunque existe una estructura general de extracción de los fitoquímicos, esta cambia y es específica para cada tejido de la planta seleccionada desde las hojas, frutos, cascara, raíces, etc y de la misma planta, además la temperatura, tiempo y concentración del extracto son factores que definitivamente afectaran las características finales de las nanoparticulas, asimismo su uso los efectos tóxicos de la síntesis de las nanoparticulas y los costos de producción. La síntesis verde del ZnO requiere de un reductor o estabilizador que controle la formación nuclear de las nanoparticulas, y esto no solo depende de los factores mencionados sino además del pH de la síntesis, temperatura y tiempo de síntesis, lo cual conlleva a un sinfín de posibilidades para una misma planta.

OE2: Las NP ZnO aplicadas vía foliar mejorar el crecimiento y desarrollo de las plantas porque actúan como un agente sinérgico como las enzimas y proteínas que permiten mejorar la clorofila y componentes fotoquímicos como la prolina libre, fenoles, flavonoides y activación de enzimas antioxidantes que disminuyen el estrés de las plantas ante sequias o agentes tóxicos, puede ser usados como agroquímicos o nutrientes en las plantas, sin embargo las dosis deben ser cuidadosamente estudiadas antes de su aplicación..

OE3 Las NP ZnO de síntesis verde, se viene usando en procesos de fitorremediación con resultados óptimos, para remover los metales pesados tales como el Pb y el Cd entre otros, sin embargo las dosis siempre se remiten a ser las menores que generan mejor respuesta a la tolerancia de la planta y una mejor acumulación de metales en sus raíces y partes aéreas. Sin embargo, esas dosis dependen de las condiciones de síntesis verde. La sinergia entre las NP ZnO con las plantas fitorremediadoras como *la Carthamus tinctorius* es capaz de lograr convertirla en hiperacumuladoras de metales.

VI. RECOMENDACIONES

En cantidades desfavorables de las nanopartículas de ZnO de síntesis verde reducen la eficiencia de descomposición del carbono orgánico porque disminuye la actividad microbiana, esto implica en la necesidad de seguir investigando la relación metal-suelo, evaluar los efectos de los NM en las primeras etapas de crecimiento de cultivos y su posible biomagnificación.

REFERENCIAS

1. AHMAD, P.; Alyemeni, M.N.; Al-Huqail, A.A.; Alqahtani, M.A.; Wijaya, L.; Ashraf, M.; Kaya, C.; Bajguz, A. Zinc oxide nanoparticles application alleviates arsenic (As) toxicity in soybean plants by restricting the uptake of as and modulating key biochemical attributes, antioxidant enzymes, ascorbate-glutathione cycle and glyoxalase system. *Plants* 2020, 9, 825.
2. AHMAD, S.; Mfarrej, M.F.B.; El-Esawi, M.A.; Waseem, M.; Alatawi, A.; Nafees, M.; Saleem, M.H.; Rizwan, M.; Yasmeen, T.; Anayat, A.; et al. Chromium-resistant *Staphylococcus aureus* alleviates chromium toxicity by developing synergistic relationships with zinc oxide nanoparticles in wheat. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2022, 230, 113142.
3. AKHTAR, Nazneen, Sehresh Khan, Shafiq U. Rehman, Zia U. Rehman, Amana Khatoon, Eui S. Rha, and Muhammad Jamil. 2021. "Synergistic Effects of Zinc Oxide Nanoparticles and Bacteria Reduce Heavy Metals Toxicity in Rice (*Oryza sativa* L.) Plant" *Toxics* 9, no. 5: 113. <https://doi.org/10.3390/toxics9050113>
4. BALA, R.; Kalia, A.; Dhaliwal, S.S. Evaluation of Efficacy of ZnO Nanoparticles as Remedial Zinc Nanofertilizer for Rice. *J. Soil Sci. Plant. Nutr.* 2019, 19, 379–389
5. BARZINJY, A.A., Azeez, H.H. Green synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticles using *Eucalyptus globulus* Labill. leaf extract and zinc nitrate hexahydrate salt. *SN Appl. Sci.* 2, 991 (2020). <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2813-1>
6. BEHRAVAN, M., Panahi, A. H., Naghizadeh, A., Ziaee, M., Mahdavi, R., & Mirzapour, A. (2018). Facile green synthesis of silver nanoparticles using *Berberis vulgaris* leaf and root aqueous extract and its antibacterial activity. *International Journal of Biological Macromolecules*. doi:10.1016/j.ijbiomac.2018.11.101
7. BHAT, J.A.; Faizan, M.; Bhat, M.A.; Huang, F.; Yu, D.; Ahmad, A.; Bajguz, A.; Ahmad, P. Defense interplay of the zinc-oxide nanoparticles and melatonin in alleviating the arsenic stress in soybean (*Glycine max* L.). *Chemosphere* 2022, 288, 132471.

8. CHEN, L., Batjikh, I., Hurh, J., Han, Y., Huo, Y., Ali, H., ... Yang, D. C. (2019). Green synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles from Root extract of *Scutellaria baicalensis* and its Photocatalytic Degradation Activity using Methylene Blue. *Optik*. doi:10.1016/j.ijleo.2019.03.051
9. CHEN Fu, Arooj Bashir, Muhammad Zia ur Rehman, Muhammad Adrees, Muhammad Farooq Qayyum, Jing Ma, Muhammad Rizwan, Shafaqat Ali. Combined effects of green manure and zinc oxide nanoparticles on cadmium uptake by wheat (*Triticum aestivum* L.). *Chemosphere*. 298, 2022, 134348, ISSN 0045-6535. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134348>.
10. CUI, H.; Shi, Y.; Zhou, J.; Chu, H.; Cang, L.; Zhou, D. Effect of different grain sizes of hydroxyapatite on soil heavy metal bioavailability and microbial community composition. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2018, 267, 165–173
11. DAPHEDAR Azharuddin & Tarikere C. Taranath (2018) Green synthesis of zinc nanoparticles using leaf extract of *Albizia saman* (Jacq.) Merr. and their effect on root meristems of *Drimia indica* (Roxb.) Jessop, *Caryologia*, 71:2, 93-102, DOI: 10.1080/00087114.2018.1437980
12. DARVISHI, E., Kahrizi, D., & Arkan, E. (2019). Comparison of different properties of zinc oxide nanoparticles synthesized by the green (using *Juglans regia* L. leaf extract) and chemical methods. *Journal of Molecular Liquids*. doi:10.1016/j.molliq.2019.04.108
13. DHANDAPANI, K. V., Anbumani, D., Gandhi, A. D., Annamalai, P., Muthuvenkatachalam, B. S., Kavitha, P., & Ranganathan, B. (2020). Green route for the synthesis of zinc oxide nanoparticles from *Melia azedarach* leaf extract and evaluation of their antioxidant and antibacterial activities. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 101517. doi:10.1016/j.bcab.2020.101517
14. EBRAHIMBABAIE, P., Meeinkuirt, W., & Pichtel, J. (2020). Phytoremediation of engineered nanoparticles using aquatic plants: Mechanisms and practical feasibility. *Journal of Environmental Sciences*. doi:10.1016/j.jes.2020.03.034

15. ELHAJ Baddar, Z.; Unrine, J.M. Functionalized-ZnO-Nanoparticle Seed Treatments to Enhance Growth and Zn Content of Wheat (*Triticum aestivum*) Seedlings. *J. Agric. Food Chem.* 2018, 66, 12166–12178
16. ELMER W, De LTR, Pagano L, Majumdar S, Zuverza-Mena N, Dimkpa C, Gardea-Torresdey J, White JC (2018) Effect of metalloid and metal oxide nanoparticles on Fusarium wilt of watermelon. *Plant Dis* 102: 1394–1401
17. ESTRADA-URBINA, J.; Cruz-Alonso, A.; Santander-González, M.; Méndez-Albores, A.; Vázquez-Durán, A. Nanoscale Zinc Oxide Particles for Improving the Physiological and Sanitary Quality of a Mexican Landrace of Red Maize. *Nanomaterials* 2018, 8, 247.
18. EZEALISIJ, K.M., Siwe-Noundou, X., Maduelosi, B. et al. Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using *Solanum torvum* (L) leaf extract and evaluation of the toxicological profile of the ZnO nanoparticles–hydrogel composite in Wistar albino rats. *Int Nano Lett* 9, 99–107 (2019).
<https://doi.org/10.1007/s40089-018-0263-1>
19. FACILE Coating of Urea With Low-Dose ZnO Nanoparticles Promotes Wheat Performance and Enhances Zn Uptake Under Drought Stress por Dimkpa et al. 2020. *Front. Plant Sci*, February 2020 Sec. Plant Nutrition
20. FAIZAN, M.; Sehar, S.; Rajput, V.D.; Faraz, A.; Afzal, S.; Minkina, T.; Sushkova, S.; Adil, M.F.; Yu, F.; Alatar, A.A.; et al. Modulation of Cellular Redox Status and Antioxidant Defense System after Synergistic Application of Zinc Oxide Nanoparticles and Salicylic Acid in Rice (*Oryza sativa*) Plant under Arsenic Stress. *Plants* 2021, 10, 2254.
21. GUERRA Sierra, Beatriz E., Jaider Muñoz Guerrero, and Serge Sokolski. 2021. "Phytoremediation of Heavy Metals in Tropical Soils an Overview" *Sustainability* 13, no. 5: 2574.
<https://doi.org/10.3390/su13052574>
22. GUNATHILAKAE N, Yapa N, Hettiarachchi R (2018) Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the cadmium phytoremediation potential of *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. *Groundw Sustain Dev* 7:477– 482
23. HACISALIHOGU, G. Zinc (Zn): The last nutrient in the alphabet and shedding light on zn efficiency for the future of crop production under suboptimal zn. *Plants* 2020, 9, 1471

24. HANDOJO, L.; Ikhsan, N.A.; Mukti, R.R.; Indarto, A. Nanomaterials for remediations of agrochemicals. In *Agrochemicals Detection, Treatment and Remediation*; Elsevier BV: Amsterdam, The Netherlands, 2020; pp. 535–567
25. HASSAN Umair, Muhammad, Muhammad Aamer, Muhammad Umer Chattha, Tang Haiying, Babar Shahzad, Lorenzo Barbanti, Muhammad Nawaz, Adnan Rasheed, Aniqaf Afzal, Ying Liu, and Huang Guoqin. 2020. "The Critical Role of Zinc in Plants Facing the Drought Stress" *Agriculture* 10, no. 9: 396. <https://doi.org/10.3390/agriculture10090396>
26. HUSSAIN, F., Hadi, F. & Rongliang, Q. Effects of zinc oxide nanoparticles on antioxidants, chlorophyll contents, and proline in *Persicaria hydropiper* L. and its potential for Pb phytoremediation. *Environ Sci Pollut Res* 28, 34697–34713 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13132-0>
27. HUSSEIN MM, Abou-Baker NH (2018) The contribution of nano-zinc to alleviate salinity stress on cotton plants. *R Soc Open Sci* 5:171809
28. HERA, M.H.R.; Hossain, M.; Paul, A.K. Effect of foliar zinc spray on growth and yield of heat tolerant wheat under water stress. *Int. J. Biol. Environ. Eng.* 2018, 1, 10–16.
29. ITROUTWAR, P.D.; Govindaraju, K.; Tamilselvan, S.; Kannan, M.; Raja, K.; Subramanian, K.S. Seaweed-Based Biogenic ZnO Nanoparticles for Improving Agro-morphological Characteristics of Rice (*Oryza sativa* L.). *J. Plant. Growth Regul.* 2020, 39, 717–728
30. JABRI Al, Hareb, Muhammad H. Saleem, Muhammad Rizwan, Iqbal Hussain, Kamal Usman, and Mohammed Alsafran. 2022. "Zinc Oxide Nanoparticles and Their Biosynthesis: Overview" *Life* 12, no. 4: 594. <https://doi.org/10.3390/life12040594>
31. JAYACHANDRAN, A., T.R., A., & Nair, A. S. (2021). Green synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticles using *Cayratia pedata* leaf extract. *Biochemistry and Biophysics Reports*, 26, 100995. doi:10.1016/j.bbrep.2021.100995
32. KAMRAN, U., Bhatti, H. N., Iqbal, M., & Nazir, A. (2019). Green Synthesis of Metal Nanoparticles and their Applications in Different Fields: A Review. *Zeitschrift Für Physikalische Chemie*, 0(0). doi:10.1515/zpch-2018-1238

33. KHAN, M.I.R.; Jahan, B.; Alajmi, M.F.; Rehman, M.T.; Khan, N.A. Exogenously-sourced ethylene modulates defense mechanisms and promotes tolerance to zinc stress in mustard (*Brassica juncea* L.). *Plants* 2019, 8, 540.
34. LIAN, J.; Zhao, L.; Wu, J.; Xiong, H.; Bao, Y.; Zeb, A.; Tang, J.; Liu, W. Foliar spray of TiO₂ nanoparticles prevails over root application in reducing Cd accumulation and mitigating Cd-induced phytotoxicity in maize (*Zea mays* L.). *Chemosphere* 2020, 239, 124794
35. NASEER, M., Aslam, U., Khalid, B. et al. Green route to synthesize Zinc Oxide Nanoparticles using leaf extracts of *Cassia fistula* and *Melia azadarach* and their antibacterial potential. *Sci Rep* 10, 9055 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-65949-3>
36. NETO, M.E.; Britt, D.W.; Lara, L.M.; Cartwright, A.; Dos Santos, R.F.; Inoue, T.T.; Batista, M.A. Initial development of corn seedlings after seed priming with nanoscale synthetic zinc oxide. *Agronomy* 2020, 10, 307.
37. OGUNYEMI, S. O., Abdallah, Y., Zhang, M., Fouad, H., Hong, X., Ibrahim, E., ... Li, B. (2019). Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using different plant extracts and their antibacterial activity against *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*. *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology*, 47(1), 341–352. doi:10.1080/21691401.2018.1557671
38. QIN, F.; Liu, G.; Huang, G.; Dong, T.; Liao, Y.; Xu, X. Zinc application alleviates the adverse effects of lead stress more in female *Morus alba* than in males. *Environ. Exp. Bot.* 2018, 146, 68–76.
39. RAJPUT, V.D.; Minkina, T.; Sushkova, S.; Tsitsuashvili, V.; Mandzhieva, S.; Gorovtsov, A.; Gromakova, N. Effect of nanoparticles on crops and soil microbial communities. *J. Soils Sediments* 2018, 18, 2179–2187].
40. RIZWAN, M., Ali, S., Rehman, M. Z. ur, & Maqbool, A. (2019). A critical review on the effects of zinc at toxic levels of cadmium in plants. *Environmental Science and Pollution Research*. doi:10.1007/s11356-019-04174-6
41. RIZWAN, M.; Ali, S.; Ali, B.; Adrees, M.; Arshad, M.; Hussain, A.; ur Rehman, M.Z.; Waris, A.A. Zinc and iron oxide nanoparticles improved the plant growth and reduced the oxidative stress and cadmium concentration in wheat. *Chemosphere* 2019, 214, 269–277.

42. ROSSI Lorenzo, Lauren N. Fedenia, Hamidreza Sharifan, Xingmao Ma, Leonardo Lombardini. Effects of foliar application of zinc sulfate and zinc nanoparticles in coffee (*Coffea arabica* L.) plants. *Plant Physiology and Biochemistry*. 135, 2019, 160-166. ISSN 0981-9428. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.12.005>.
43. SALAMA Dina M., Samira A. Osman, M.E. Abd El-Aziz, Mohamed S.A. Abd Elwahed, E.A. Shaaban. Effect of zinc oxide nanoparticles on the growth, genomic DNA, production and the quality of common dry bean (*Phaseolus vulgaris*). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 18, 2019, 101083. ISSN 1878-8181. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101083>.
44. SEBASTIAN, A.; Nangia, A.; Prasad, M.N.V. Cadmium and sodium adsorption properties of magnetite nanoparticles synthesized from *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. bark: Relevance in amelioration of metal stress in rice. *J. Hazard. Mater.* 2019, 371, 261–272.
45. SELIM, Y.A., Azb, M.A., Ragab, I. et al. Green Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles Using Aqueous Extract of *Deverra tortuosa* and their Cytotoxic Activities. *Sci Rep* 10, 3445 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60541-1>
46. SEMIDA, W.M.; Abdelkhalik, A.; Mohamed, G.; El-Mageed, A.; Taia, A.; El-Mageed, A.; Shima, A.; Rady, M.M.; Ali, E.F. Foliar application of zinc oxide nanoparticles promotes drought stress tolerance in eggplant (*Solanum melongena* L.). *Plants* 2021, 10, 421.
47. SHAFEY, Asmaa Mohamed El. "Green synthesis of metal and metal oxide nanoparticles from plant leaf extracts and their applications: A review" *Green Processing and Synthesis*, vol. 9, no. 1, 2020, pp. 304-339. <https://doi.org/10.1515/gps-2020-0031>
48. SINGH, K., Singh, J. & Rawat, M. Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using *Punica Granatum* leaf extract and its application towards photocatalytic degradation of Coomassie brilliant blue R-250 dye. *SN Appl. Sci.* 1, 624 (2019). <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0610-5>
49. STURIKOVA Helena, Olga Krystofova, Dalibor Huska, Vojtech Adam. Zinc, zinc nanoparticles and plants. *Journal of Hazardous Materials*. 349,

50. SUGANYA, A.; Saravanan, A.; Manivannan, N. Role of Zinc Nutrition for Increasing Zinc Availability, Uptake, Yield, and Quality of Maize (*Zea mays* L.) Grains: An Overview. *Commun. Soil Sci. Plant. Anal.* 2020, 51, 2001–2021
51. SURESH Joghee, Ganeshan Pradheesh, Vincent Alexramani, Mahalingam Sundrarajan and Sun Ig Hong. Green synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticle using insulin plant (*Costus pictus* D. Don) and investigation of its antimicrobial as well as anticancer activities.
52. ULLAH S, Hadi F, Ali N, Khan S (2018) Foliar application of iron (Fe) improved the antioxidant defense and Cd accumulation potential of *Ricinus communis* under hydroponic condition. *Water Air Soil Pollut* 229:284
53. ULLAH R, Hadi F, Ahmad S, Jan AU, Rongliang Q (2019) Phytoremediation of lead and chromium contaminated soil improves with the endogenous phenolics and proline production in *Parthenium*, *Cannabis*, *Euphorbia*, and *Rumex* species. *Water Air Soil Pollut* 230:40
54. VIJAYAKUMAR, S., Mahadevan, S., Arulmozhi, P., Sriram, S., & Praseetha, P. K. (2018). Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using *Atalantia monophylla* leaf extracts: Characterization and antimicrobial analysis. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 82, 39–45. doi:10.1016/j.mssp.2018.03.017
55. WANG, X.P., Li, Q.Q., Pei, Z.M. et al. Effects of zinc oxide nanoparticles on the growth, photosynthetic traits, and antioxidative enzymes in tomato plants. *Biol Plant* 62, 801–808 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10535-018-0813-4>
56. WANG, Y.; Liu, Y.; Zhan, W.; Zheng, K.; Lian, M.; Zhang, C.; Ruan, X.; Li, T. Long-term stabilization of Cd in agricultural soil using mercapto-functionalized nano-silica (MPTS/nano-silica): A three-year field study. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2020, 197, 110600.

57. WANG, K.; Wang, Y.; Wan, Y.; Mi, Z.; Wang, Q.; Wang, Q.; Li, H. The fate of arsenic in rice plants (*Oryza sativa* L.): Influence of different forms of selenium. *Chemosphere* 2021, 264, 128417
58. YENTÜR, F. A. & Dağhan, H. (2021). An Investigation on the Effect of Nano-ZnO Application on Cadmium Phytoextraction by Safflower *International Journal of Agriculture Forestry and Life Sciences*, 5 (2) , 154-162 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/ijafsls/issue/66205/1028083>
59. ZHANG, J.; Wang, S.; Song, S.; Xu, F.; Pan, Y.; Wang, H. Transcriptomic and proteomic analyses reveal new insight into chlorophyll synthesis and chloroplast structure of maize leaves under zinc deficiency stress. *J. Proteom.* 2019, 199, 123–134.
60. ZHAO, L.; Lu, L.; Wang, A.; Zhang, H.; Huang, M.; Wu, H.; Xing, B.; Wang, Z.; Ji, R. **Nano-Biotechnology in Agriculture: Use of Nanomaterials to Promote Plant Growth and Stress Tolerance.** *J. Agric. Food Chem.* 2020, 68, 1935–1947
61. ZHOU Qi, Yan Lin, Xiang Li, Chunping Yang, Zhenfeng Han, Guangming Zeng, Li Lu, Shanying He. Effect of zinc ions on nutrient removal and growth of *Lemna aequinoctialis* from anaerobically digested swine wastewater. *Bioresource Technology.* 249, 2018, 457-463. ISSN 0960-8524. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.10.044>.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, CABELLO TORRES RITA JAQUELINE, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, asesor de Tesis titulada: "Aplicaciones de Óxido de Zinc (Nanomaterial) en el Crecimiento de Plantas durante la Fitorremediación. Revisión Sistemática 2022", cuyos autores son MUÑOZ HUAMANCCARI CARLOS ALBERTO, GOMEZ CAHUANTICO MARCELINO, constato que la investigación cumple con el índice de similitud establecido, y verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 17 de Mayo del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
CABELLO TORRES RITA JAQUELINE DNI: 08947396 ORCID 0000-0002-9965-9678	Firmado digitalmente por: RCABELLOTO15 el 17- 05-2022 00:09:59

Código documento Trilce: TRI - 0301709