

Síntesis de nanopartículas de óxido de zinc (NPs-ZnO) y sus aplicaciones en la agricultura

Adriana Morfín-Gutiérrez¹; Álvarez-Vázquez, Perpetuo¹; Ramírez- Barrón, Sonia N.¹
Josué Israel García-López^{1,*}

¹ Departamento de Fitomejoramiento, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. C.P 25315.

* Autor para correspondencia: josue.garcia@uaaan.edu.mx

Problema

Actualmente uno de los sectores con mayor demanda a causa de la sobrepoblación mundial, ha sido el sector agrícola, ya que se encarga de producir grandes cantidades de alimentos en pequeños espacios de suelo, provocando una deficiencia de micronutrientes como cobre, manganeso, hierro, boro y particularmente de zinc. La tercera parte de la población mundial presenta deficiencias de zinc debido a la carencia de este micronutriente en los alimentos de consumo básico. Por otra parte, las deficiencias de zinc en suelos agrícolas es uno de los principales problemas que limitan la productividad de los cultivos, ya que actúa como cofactor funcional y regulador de varias reacciones fisiológicas. La deficiencia de micronutrientes en el suelo, provoca cambios fisiológicos en una planta, los cuales están asociados con alteraciones en las funciones enzimáticas, tales como, la inhibición de enzimas involucradas en la eliminación de especies reactivas de oxígeno, que consecuentemente provoca daños por estrés oxidativo, así como, el incremento del potencial osmótico celular y la disminución en la síntesis de clorofilas (producción del color) y la síntesis de proteínas.

Cómo citar: García López, J. I., Morfín-Gutiérrez, A., Ramírez Barrón, S. N., & Álvarez Vázquez, P. Síntesis de nanopartículas de óxido de zinc (NPs-ZnO) y sus aplicaciones en la agricultura. *Agro-Divulgación*, 5(2). <https://doi.org/10.54767/ad.v5i2.475>

Editores académicos: Dra. Ma. de Lourdes C. Arévalo Galarza y Dr. Jorge Cadena Iniguez.

Publicado en línea: Octubre, 2025.

Agro-Divulgación, 5(2). Marzo-Abril. 2025. pp: 59-62.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International

Solución planteada

Una de las alternativas para incrementar el contenido de nutrientes en un cultivo agrícola, es el uso de nanofertilizaciones, que consiste en la aplicación de micronutrientes con tamaños nanométricos, comúnmente en forma de nanopartículas, los cuales pueden ser aplicados en el suelo, directamente a la planta e incluso durante el proceso de germinación de semillas e incrementar la absorción de nutrientes y potenciar el crecimiento y desarrollo de una planta. Además, con este tipo de aplicaciones se disminuye la pérdida de minerales por procesos de lixiviación y volatilización, que normalmente ocurren con fertilizantes



convencionales (eficiencias menores al 30%), la contaminación ambiental y el impacto a la economía. Recientemente, se han utilizado NPs-ZnO como nanofertilizantes en diversos cultivos, debido a su capacidad de descomponerse de forma gradual y lenta en el suelo, suministrando nutrientes durante un largo periodo de tiempo, permitiendo a la planta una absorción más efectiva, sin comprometer el rendimiento del cultivo.

Generalmente la síntesis de nanopartículas se puede llevar a cabo siguiendo dos rutas (Figura 1), la primera de ellas conocida como top-down, que consiste en métodos físicos, a partir de los cuales obtendremos materiales nanométricos, partiendo de un material a granel, que será sometido a molienda mecánica hasta alcanzar el tamaño deseado. Mientras que la segunda ruta, conocida como bottom up, es un método químico que parte de átomos y sus diferentes reacciones químicas (reacciones de nucleación y crecimiento) hasta alcanzar la formación de una nanopartícula. Las nanopartículas de óxido de zinc pueden ser sintetizadas mediante diversas metodologías, siendo las más comunes, sol-gel y coprecipitación química.

La síntesis por sol-gel permite la obtención de nanopartículas con estructuras predefinidas, fases amorfas puras, monodispersidad, buen control de tamaños de partícula y de microestructura, además de productos homogéneos. Es un método que consiste en la hidroxilación y condensación de precursores moleculares en solución. Inicialmente se obtiene un “sol” de partículas nanométricas, posteriormente es secado o gelificado a partir de la remoción del disolvente o por reacción química para la obtención de un “gel”, este último es sometido a un proceso de envejecimiento a temperatura y tiempo controlados.

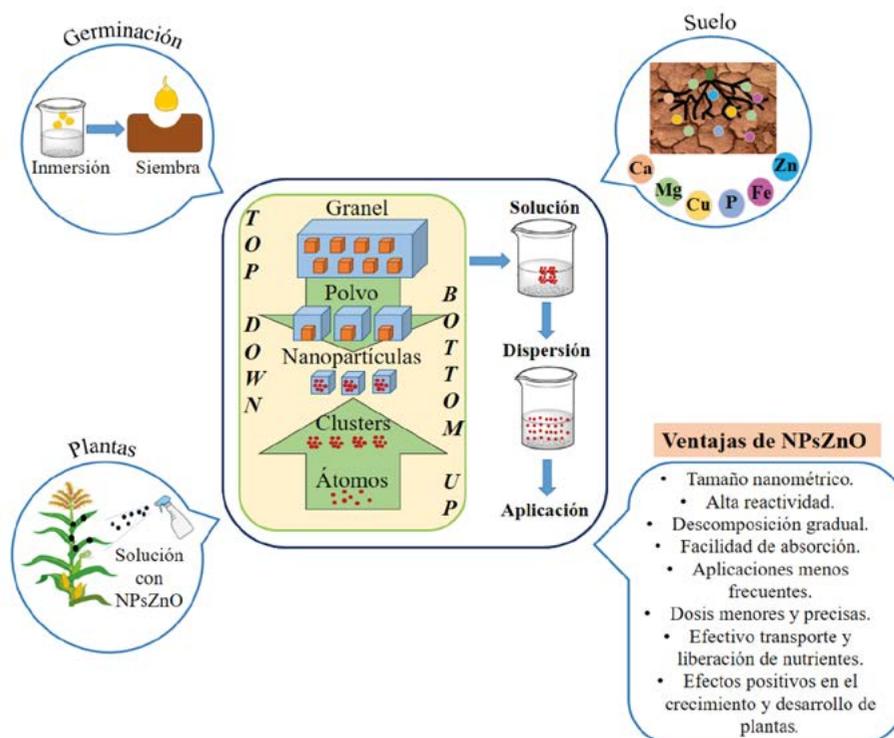


Figura 1. Esquema de la obtención de nanopartículas mediante top down y bottom up, así como sus posibles formas de aplicación en la agricultura.

La coprecipitación química es uno de los métodos más utilizados para la síntesis de nanopartículas, básicamente consiste en la precipitación simultánea de dos o más soluciones, con solubilidades similares a partir de una solución alcalina. Es un método simple y barato que permite la obtención de materiales finos, de alta pureza, partículas estequiométricas de óxidos metálicos sencillos y multi-componentes, con tamaño y forma deseada. Inicia con la formación de especies insolubles bajo condiciones de sobresaturación, seguido de la formación de partículas pequeñas. Después ocurre una agregación de material e incrementan su tamaño y finalmente se induce a la precipitación de especies químicas con la adición de algún compuesto precipitante.

Una vez que las nanopartículas son obtenidas, estas son colocadas en una solución acuosa y posteriormente dispersadas haciendo uso de un baño de ultrasonido por diferentes periodos de tiempo. Cuando la solución se encuentra dispersa, se continúa con su aplicación al cultivo, que puede ser vía foliar, al suelo o a las semillas. En el caso de la vía foliar la solución se aplica directamente al follaje de la planta, para que pueda absorber los nutrientes a través de la cutícula y tallo. Con respecto a las fertilizaciones en el suelo, las aplicaciones son en forma de abono para que estos puedan ser absorbidos por la raíz y distribuirse a lo largo de toda la planta. Por su parte, también las semillas pueden ser tratadas con NPs-ZnO previamente a su siembra, esto con la finalidad de incrementar la velocidad del proceso de germinación y obtener una mayor cantidad de plántulas útiles.

La idea de reducir el tamaño de partícula del fertilizante aplicado es suministrar la dosis correcta de nutrientes en el lugar y momento adecuados. Además, reducir el tamaño de las partículas aumenta su superficie específica, lo que aumenta el área de contacto de los fertilizantes con las plantas, provocando una mayor absorción de nutrientes por parte de estas en comparación con los fertilizantes comerciales.

Una vez que las nanopartículas se encuentran en contacto con las plantas, su tamaño diminuto les permite ingresar en ellas a partir de la raíz y las hojas. En el caso de la raíz, las NPs-ZnO son atraídas por la superficie radicular, provocando una acumulación en la raíz e ingreso fácil mediante pequeños poros presentes en la pared celular radicular, para posteriormente alcanzar las xilemas de la raíz y distribuirse a lo largo de la planta. Mientras que el ingreso a través de las hojas, ocurre por medio de las estomas, hasta alcanzar los vasos de la xilema y las partes sintéticas de la planta.

En ambos casos el movimiento de las nanopartículas requiere de transporte simplástico y apoplástico, es decir, a partir de los tejidos de la planta y a través de los espacios extracelulares, respectivamente. Esta libertad de movimiento a través de la planta les permite participar eficientemente en funciones importantes como la activación de numerosas enzimas (ARN polimerasa, superóxido dismutasa, anhidrasa carbónica, etc.), participación en el control de la proliferación y la diferenciación celular, desarrollo de cloroplastos, entre otros. Todo esto provoca un incremento en el desarrollo, crecimiento y rendimiento de una planta, así como mayor resistencia ante el estrés biótico y abiótico. En la Figura 2 se muestra un esquema representativo de los efectos del zinc en una planta, en donde se puede observar algunas de las funciones más importantes de este micronutriente y su esencialidad en la misma, así como, los efectos más representativos causados por exceso o deficiencia del zinc en una planta.

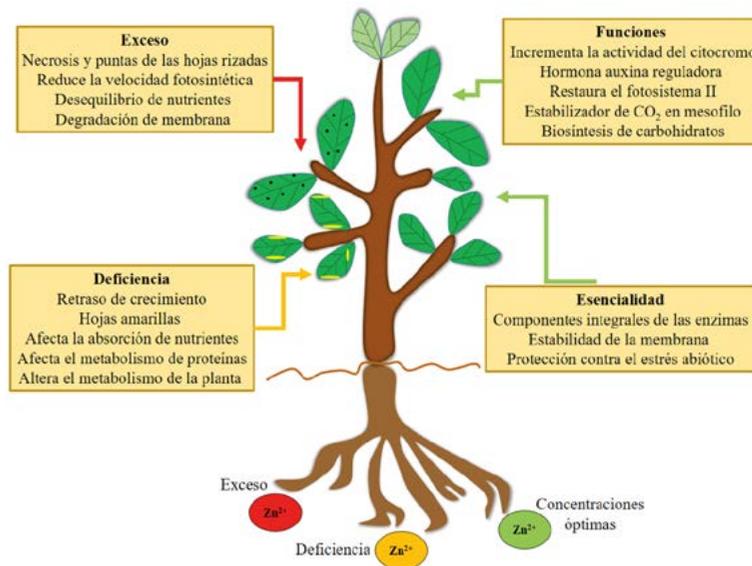


Figura 2. Esquema del efecto de zinc en las plantas.

Innovación, impacto e indicadores

Nivel de Innovación	Descripción	Transferido	Impacto		Indicador General de Políticas Públicas	Indicadores Específicos	Subindicador
			Sector	Ámbito			
Incremental	Busca incrementar la concentración de minerales en los cultivos agrícolas, durante la germinación o mediante aplicaciones foliares y suelos para mejorar el crecimiento de las plantas	Productores independientes Comunidades Agrarias	Primario: Agricultura, investigación científica. Procesos de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+I)	Económico Ambiental	Ciencia y Tecnología Responsabilidad Ambiental	Capacitación	Número de tesis Aplicación de técnicas y conocimientos tecnológicos para el desarrollo social y económico