

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE SUELOS



Retención de elementos nutritivos en diferentes sustratos, mediante la
aplicación de nanopartículas

Por:

Rene Guadalupe Hortelano Olivares

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

Torreón, Coahuila, México

Junio 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE SUELOS

**Retención de elementos nutritivos en diferentes sustratos, mediante la
aplicación de nanopartículas**

Por:

Rene Guadalupe Hortelano Olivares

Tesis

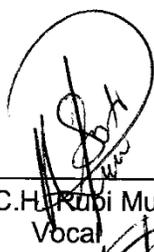
**Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito
parcial para obtener el título de:**

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

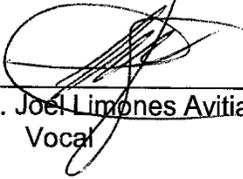
Aprobada por:



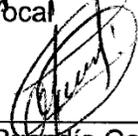
Dr. Eduardo Arón Flores Hernández
Presidente



M.A.C.H. Rubi Muñoz Soto
Vocal



M.A.G.A. Joel Limones Avitia
Vocal



Dr. Alain Buendía García
Vocal Suplente



Dr. J. Isabel Márquez Mendoza
Coordinador de la División de Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México
Junio 2023



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE SUELOS

**Retención de elementos nutritivos en diferentes sustratos, mediante la
aplicación de nanopartículas**

Por:

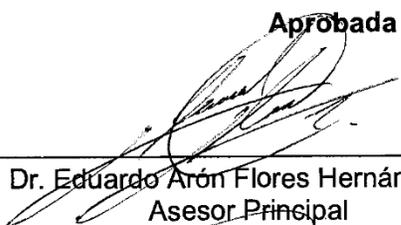
Rene Guadalupe Hortelano Olivares

Tesis

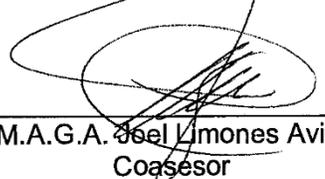
Presenta como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. Eduardo Arón Flores Hernández
Asesor Principal


M.A.C.F. Rubi Muñoz Soto
Coasesor


M.A.G.A. Joel Limones Avitia
Coasesor


Dr. Alain Buendía García
Coasesor


Dr. J. Isabel Márquez Mendoza
Coordinador de la División de Carreras Agronómicas



Torreón, Coahuila, México
Junio 2023

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por haberme aceptado y abierto sus puertas en cada momento que lo necesite, además de brindarme la dicha de poder estudiar mi carrera de ingeniería en procesos ambientales, así como también a mis docentes que me brindaron sus conocimientos y experiencias.

Agradezco también a mi Asesor de Tesis el Dr. Eduardo Aron Flores Hernández quien me ha guiado en la realización de este trabajo, que me ha motivado cada día para continuar con este proyecto y brindarme la oportunidad de realizar esta investigación dentro de su grupo de trabajo.

Agradezco el inmenso apoyo que me brindo la familia Ríos y Ordaz, padres de mi mejor amigo José Gerardo Ríos Ordaz quienes me abrieron las puertas de su casa en todo momento de mis estudios universitarios, además de los consejos y apoyo de familiares y amigos de San Antonio de los Bravos con quienes compartí muchas experiencias de mi vida.

Mi agradecimiento también va para mis amigos Berenice Pares Cisneros, Víctor Valenzuela Díaz y Fernando Montiel Silva quienes estuvieron conmigo en esta etapa, por motivarme a seguir adelante y haberme brindado su amistad.

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado con mucho cariño a mis padres Alejandra Olivares Lugo y Rene Hortelano Santa Rosa, quienes siempre me apoyaron incondicionalmente y a quienes debo el apoyo que me han dado, así también, por darme lo necesario para construir mi futuro, al igual dedico este trabajo a mis hermanos Eduardo Enrique Hortelano Olivares y Mayra Yadira Hortelano Olivares y a familiares por la parte materna Olivares por creer en mí y motivarme día a día.

Resumen

La agronomía requiere de nuevas técnicas para reducir impactos ambientales negativos como la degradación de suelos. La nanotecnología (NT) tiene la capacidad de resolver dichos impactos. La hipótesis de este trabajo es que la mezcla de nHAp - Zeolita (compuesto híbrido) mejora la retención de humedad y micronutrientes como Azufre, Hierro y Zinc, en una proporción mayor, que la zeolita o el suelo por separado. El objetivo es comprobar que la combinación zeolita – nHAp permite mejoras agronómicas, mediante la retención de humedad y nutrientes. Se diseñó el experimento como completamente al azar utilizando porómetros. La zeolita se acondicionó con 1000, 2000, 4000 ppm de nHAp en solución, se utilizó 3 L de zeolita para cada tratamiento con 3 repeticiones. Para la determinación de Azufre se empleó el método de turbidimetría en equipo electrofotómetro, en la determinación de Hierro y Zinc el método de absorción atómica. Los resultados en S mostraron concentraciones de $167.222 \text{ mg L}^{-1}$, esto representa un 1,001.329%, en el Fe concentraciones de 35.659 mg L^{-1} , esto representa un 594.316%, en el Zn concentraciones de 11.111 mg L^{-1} , esto representa un 138.887 % por arriba de la concentración inicial. Por lo anterior expuesto, los resultados obtenidos no fueron los esperados debido posiblemente a una contaminación cruzada así como también el arrastre de los elementos desde el sustrato al lixiviado de análisis.

Palabras clave: Nanotecnología, Liberación lenta, Nanocompuestos híbridos, Zeolita, Micronutrientes

Abstract

Agronomy requires new techniques to reduce negative environmental impacts such as soil degradation. Nanotechnology (NT) has the capacity to solve such impacts. Our hypothesis indicates that the combination of zeolite - nHAp (hybrid compound) improves the retention of moisture and micronutrients such as Sulfur, Iron and Zinc, in a higher proportion, than zeolite or soil alone. The objective is to prove that the zeolite - nHAp combination allows agronomic improvements through the retention of moisture and nutrients. The experimental design was completely randomized using porometers. The zeolite was conditioned with 1000, 2000, 4000 ppm of nHAp in solution, 3 L of zeolite were used for each treatment with 3 replicates. For the determination of sulfur, the turbidimetric method was used in electrophotometer equipment, and for the determination of iron and zinc, the atomic absorption method was used. The results for S showed concentrations of 167.222 mg L⁻¹, which represents 1,001.329%, for Fe concentrations of 35.659 mg L⁻¹, which represents 594.316%, and for Zn concentrations of 11.111 mg L⁻¹, which represents 138.887% above the initial concentration. Therefore, the results obtained were not as expected, possibly due to cross-contamination as well as the entrainment of elements from the substrate to the leachate for analysis.

Keywords: Nanotechnology, Smart release, Hybrid nanocomposites, Zeolite, Micronutrients

Índice General

Agradecimiento	I
Dedicatoria.....	III
Resumen	III
Abstract.....	IV
1. Introducción	1
2. Revisión de literatura	3
2.1. Antecedentes de la nanotecnología.....	3
2.2. Enfoque actual de la nanotecnología.....	3
2.2.1. Ingeniería y desarrollo de nuevas tecnologías	5
2.2.2. Medicina.....	6
2.2.3. Medio ambiente.....	6
3. Nanotecnología (NT) en la agronomía.....	6_Toc136290748
3.1. Remediación con NT en suelos contaminados	7
3.1.1. Contaminación con metales pesados.....	8
3.1.2. Contaminación con hidrocarburos.....	8
3.2. Mejoramiento de las propiedades agronómicas del suelo	9
3.2.1. Retención de humedad	9
3.2.2. Materia orgánica.....	10
3.2.3. Elementos nutritivos	11
3.3. Productos agronómicos	11
3.3.1. Nanopartículas (NPs).....	11
3.3.2. Micronutrientes.....	14
3.3.3. Nanofertilizantes.....	17
3.4. Caracterización de nanopartículas	17
3.4.1. Difracción de rayos X (XRD)	18_Toc136290762
3.4.2. Microscopia electrónica de transmisión (TEM).....	18_Toc136290764
3.4.3. Microscopia electrónica de barrido (SEM).....	19_Toc136290766
3.5. Zeolita y aplicaciones.....	20
3.6. Hidroxiapatita (HAp) y aplicaciones	21
3.7. Complejo Zeolita-Hidroxiapatita-Urea.....	22
3.7.1. Smart Release.....	23
3.8. Tendencias futuras	25
4. Materiales y métodos.....	27
4.1. Descripción del sitio.....	27
4.2. Características climáticas	27
4.3. Acondicionamiento de la zeolita con nHAp.....	27
4.4. Diseño experimental	29
4.4.1. Determinación de Azufre total	34
4.4.2. Determinación de Hierro y Zinc (Método Absorción atómica).....	35
5. Resultados y discusión	39
6. Conclusión	43
7. Referencias.....	44

Índice de tablas

Tabla 1. Acondicionamiento de zeolita con nHAp	28
Tabla 2. Matriz de datos y tratamientos.....	29
Tabla 3. Composición porcentual de los elementos presentes en el fertilizante.	31
Tabla 4. Curvas de calibración.	38
Tabla 5. Concentración inicial de los micronutrientes en 200 ml de solución nutritiva.....	40
Tabla 6. Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.	42

Índice de figuras

Figura 1. Usos y aplicaciones de la nanotecnología en distintas disciplinas (Barragán <i>et al.</i> , 2018).	5
Figura 2. Ejemplo de escalas del tamaño nanométrico-micrométrico (Nano- futuro, 2023).....	7
Figura 3. Difractómetro de rayos X (Aguilar, 2019).	18
Figura 4. Microscopio Electrónico de Transmisión (Ávila, 2016).	19
Figura 5. Microscopio electrónico de barrido (SEM) (Aguilar, 2019).	20
Figura 6. Boceto descriptivo de una nanopartícula elaborada con un material que actúa como nutriente conforme se esparce (A). Nanopartícula creada de forma que libera los nutrientes acumulados en su interior (B) (Rojas, 2020)....	24
Figura 7. Vías de entrada de los nanomateriales a la planta. A. Absorción foliar. B. Absorción radical. (Echevarría 2019).....	25
Figura 8. Localización del experimento.	27
Figura 9. Preparación de nHAp	28
Figura 10. Preparación de Zeolita y Perlita	29
Figura 11. Concentraciones de Zeolita con nHAp	29
Figura 12. Fabricación de mesa.	30
Figura 13. Fabricación de porómetros.....	30
Figura 14. Etiquetado y rotulado de porómetros.	31
Figura 15. Fertilizante FertiDrip utilizado.....	32
Figura 16. Preparación de tratamientos	32
Figura 17. Muestras extraídas en frascos rotulados.....	33
Figura 18. Colación de lixiviado resultante.....	33
Figura 19. Equipo electrofotómetro (MERCK SQ 118).	34
Figura 20. Equipo Espectrofotómetro de Absorción Atómica (PERKIN- ELMER 2380)	36

1. Introducción

La población mundial aumenta cada año y se necesitan suministros alimenticios suficientes para satisfacer sus necesidades, uno de los retos que enfrentan los científicos en la actualidad, es mejorar la tecnología para incrementar la producción de alimentos en cantidad suficiente y con la calidad necesaria, pero protegiendo el suelo y agroecosistemas (Bharadwaj, 2016), ya que se estima que para el 2050 existirá un incremento de entre el 70 – 100% de la población mundial (Lira *et al.*, 2018).

La palabra nanotecnología (NT) la utilizó Pratima Nikaljeo Taniguchi por primera vez en 1974, quien se desempeñaba como profesora de la Universidad de Ciencias de Tokio. Utilizó este término para describir el mecanizado preciso de materiales (herramientas) con tolerancias dimensionales de escala atómica, donde ha demostrado su importancia en las ciencias agrícolas y sus industrias relacionadas contribuyendo en la resolución de problemas en diversos ámbitos (Parikhani *et al.*, 2018). Los nanomateriales (NM) pueden aplicarse y se han aplicado ampliamente en una gran variedad de procesos agrícolas, incluyendo el procesamiento, almacenamiento y transporte de los alimentos hasta nuestro plato (Xiaojia *et al.*, 2019).

Los nanocompuestos pueden definirse como una combinación de materiales de arquitectura geométrica diferente que presentan propiedades colectivas únicas (Eltarahony *et al.*, 2021). La zeolita se utiliza ampliamente en procesos de remediación de suelos deteriorados por metales pesados, se incorporan a las cadenas alimentarias desde los suelos contaminados y provocan la contaminación de los forrajes e insumos alimenticios, perjudicando la salud de personas y animales (Głąb *et al.*, 2021). Todo ello debería conducir a un aumento de la eficacia de los productos agroquímicos, reduciendo los residuos y las dosis, minimizando posibles efectos adversos en el ambiente y los organismos no objetivos (Pérez, 2020).

Además de lo anteriormente expuesto, la NT se aplica es en el desarrollo de plaguicidas químicos mejorando la eficiencia en el control de insectos al dirigir los

efectos directamente sobre el objetivo, minimizando el desarrollo de mecanismos de resistencia en las plagas y reduciendo la muerte de insectos no objetivo (Hernández, 2022).

Las plantas, al ser especies clave, tienen su propia importancia en el ecosistema terrestre. En un proceso de erosión antrópica, los contaminantes penetran en la planta a través de las hojas o las raíces del sistema vegetal (Sardoiwala *et al.*, 2018). Sin embargo, las zeolitas, NM entre otro tipo de NT se han implementado en la mejora de retención de agua, como proveedores de nutrientes, así como también para la recuperación de suelos contaminados por fertilizantes y pesticidas (Arguello *et al.*, 2016). Por ende, la determinación de la porosidad en las partículas está relacionada con el tamaño y tipo de sustrato, ya que con ello se determina su capacidad de retención de agua y aprovechamiento para el desarrollo de las plantas (Anicua *et al.*, 2009).

Se ha logrado conseguir que los nanofertilizantes enfocados en NM como nutrientes (hierro, fósforo, magnesio, nitrógeno) sean absorbidos, donde el nutriente es introducido en el interior del nanomaterial, dichos nutrientes se van liberando de manera progresiva lo que provoca una fuente continua de nutrientes en la parte interior del cultivo (raíz) o en la planta, esto puede ser por difusión o desintegración de la nanopartícula (NP) (Sibri, 2022).

En ese sentido, el objetivo de la presente investigación es determinar la mejor combinación de sustrato zeolítico y nHAp para la retención de micronutrientes como S, Fe y Zn, además de comprobar que la combinación zeolita – nHAp permite mejoras agronómicas mediante la retención de humedad y nutrientes.

2. Revisión de literatura

2.1. Antecedentes de la nanotecnología

En 1986, Kim Eric Drexlese utilizó nanopartículas (NPs), para disipar los contaminantes del suelo a pesar de las interacciones de las NPs con el medio ambiente del suelo, es decir, el movimiento, el destino y la biodisponibilidad de los materiales a nanoescala en la matriz del suelo, conocida como nanotecnología molecular (MNT) (Mohajerani *et al.*, 2019).

Desde estos descubrimientos, los avances de la NT no dejan de aumentar, no solo en el dominio de la electrónica con la necesidad de más y más pequeños componentes, sino también con el uso creciente de NPs en objetos de la vida diaria como lo es en la industria alimentaria (Schaming y Remita, 2015).

Las NPs se caracterizan como naturales o sintéticas según su composición, se agrupan en esferas, tubos, varillas, placas, etc., según su forma (Thangavelu *et al.*, 2021).

En las últimas dos décadas, un enfoque de investigación global en la evaluación e integración de fenómenos a nanoescala se ha llevado a un enorme avance tecnológico como la remediación ambiental, es un excelente ejemplo de un campo que ha sido revolucionado por un enfoque en procesos mejorados (Linley y Thomson, 2021).

Por lo anterior, la agregación, la sedimentación, la transformación química y biológica y el riesgo potencial de las NPs se revisan sistemáticamente según la necesidad y demanda que lo requiera (Ubaid *et al.*, 2020).

2.2. Enfoque actual de la nanotecnología

El uso de la NT en farmacia, industria alimenticia y agricultura aumenta rápidamente, y su impacto en el ambiente (Vega *et al.*, 2020). Influye profundamente en los aspectos de la vida cotidiana y tiene una gran importancia en la actualidad, ya que se ocupan de estructuras diminutas (Shahana y Ganapathy, 2020).

Diferentes enfoques de encapsulación tienen diferentes pros y contras y afectan las propiedades en una escala diferente, por lo tanto, existe la necesidad de diseñar y conceptualizar un sistema de nanoportadores que pueda mejorar la vida de las moléculas sin comprometer sus propiedades biológicas y físicas (Chopra *et al.*, 2022). En las últimas dos décadas, la investigación de vanguardia en todas las áreas de la tecnología de remediación se basa en materiales de nanoingeniería, y los avances científicos relacionados están preparados para enfrentar desafíos globales de importancia crítica, por ejemplo, la disminución de gases de efecto invernadero (GEI), la recuperación de agua y tierra inutilizables por la actividad industrial (Linley y Thomson, 2021).

Las NPs de sulfuro de zinc (ZnS-NP) se utilizan en un número cada vez mayor de productos industriales estas se han convertido en una de las NPs de metaóxidos más populares en aplicaciones biológicas debido a su excelente biocompatibilidad, economía y baja toxicidad en suelos agronómicos, la figura 1 ejemplifica las disciplinas que tiene la NT (Anjali *et al.*, 2021).

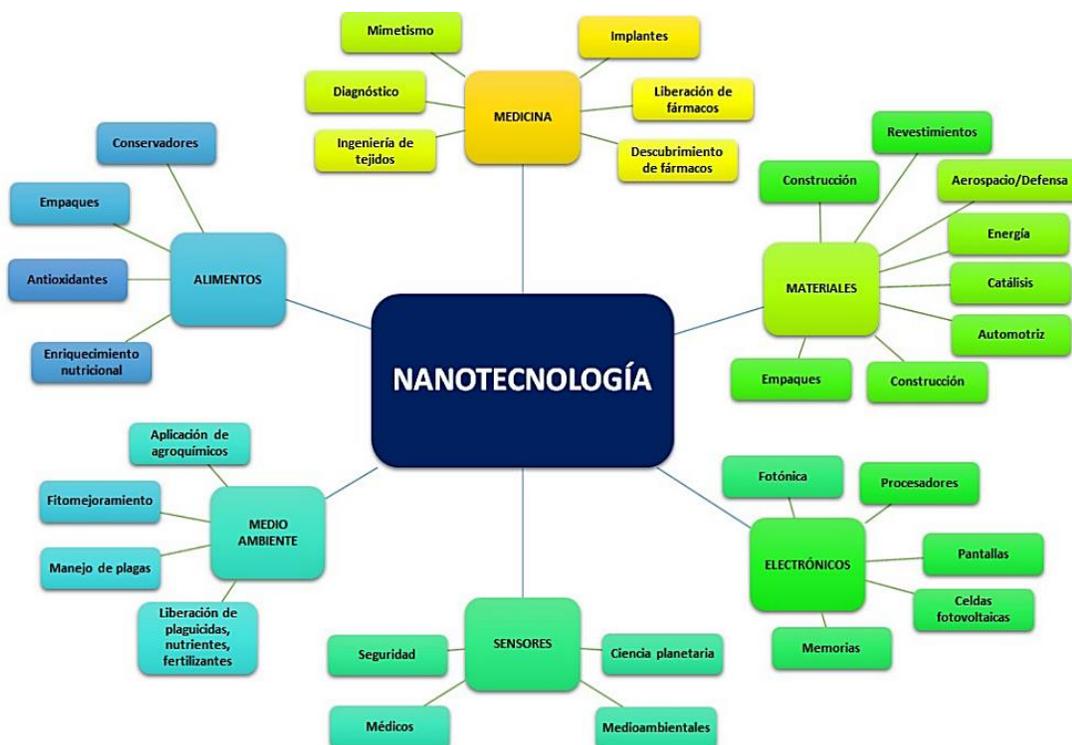


Figura 1. Usos y aplicaciones de la nanotecnología en distintas disciplinas (Barragán *et al.*, 2018).

2.2.1. Ingeniería y desarrollo de nuevas tecnologías

Los centros de investigación estudian el comportamiento de los átomos y moléculas, dado a que la NT tiene implicaciones en cuanto a su diseño y síntesis de materiales mediante la implementación de la nanoescala con el propósito de construir NPs con específicas funciones (Invernizzi y Foladori, 2005).

Asimismo, la NT parece ofrecer una forma de mitigar los efectos nocivos de los plaguicidas en el ambiente y la salud pública, ya que puede proporcionar sistemas que permitan la liberación controlada de compuestos activos, aumentando así la eficiencia y seguridad de los productos, al tiempo que reduce las cantidades requeridas en las aplicaciones de campo (Camara *et al.*, 2019).

Por lo anterior se puede definir que las NPs tienen un gran potencial como "balas mágicas" cargadas con herbicidas, fungicidas, nutrientes, fertilizantes o ácidos nucleicos y se dirigen a tejidos vegetales específicos para liberar su carga en la

parte deseada de la planta para lograr los resultados deseados (Unnikrishnan y Vijayaraghavan, 2019).

2.2.2. Medicina

La nanomedicina es una subdisciplina de la NT que ha tenido muchos avances en la salud humana ya que ha proporcionado la posibilidad de diagnosticar y tratar enfermedades a nivel celular y molecular (Bouwmeester *et al.*, 2009).

También es importante señalar que la nanoinformática puede proporcionar avances y progresiones innovadoras que están relacionadas con la neurociencia básica y clínica (Bhattacharya *et al.*, 2022).

Además, se han aplicado NTs en terapias contra el cáncer, enfermedades infecciosas, problemas cardiovasculares, trastornos inflamatorios e inmunológicos entre otros casos, dichos tratamientos están disponibles en la actualidad (Castro *et al.*, 2013).

2.2.3. Medio ambiente

Con el desarrollo de la NT se tiene el potencial de mitigar los problemas ambientales que se tienen hoy en día, con la innovación de técnicas en la remediación y tratamiento en los ecosistemas recuperando recursos naturales, un ejemplo es la contaminación del agua, para la solución de este problema se han desarrollado membranas para su filtración, adsorción, floculación y coagulación con la implementación de NPs (Chávez, 2018).

3. Nanotecnología (NT) en la agronomía

La NT ha demostrado tener un gran potencial para mejorar la seguridad alimentaria, la calidad, la trazabilidad de los productos, el suministro de nutrientes, además de ser una fuente alternativa de fertilizantes (Dasgupta *et al.*, 2017). Por ende, la NT logra permitir la manipulación de materiales a nanoescala, con el propósito de mejorar las propiedades fisicoquímicas y biológicas del material de interés (Lau *et al.*, 2014) figura 2; descripción de la escala nanométrico-micrométrico.

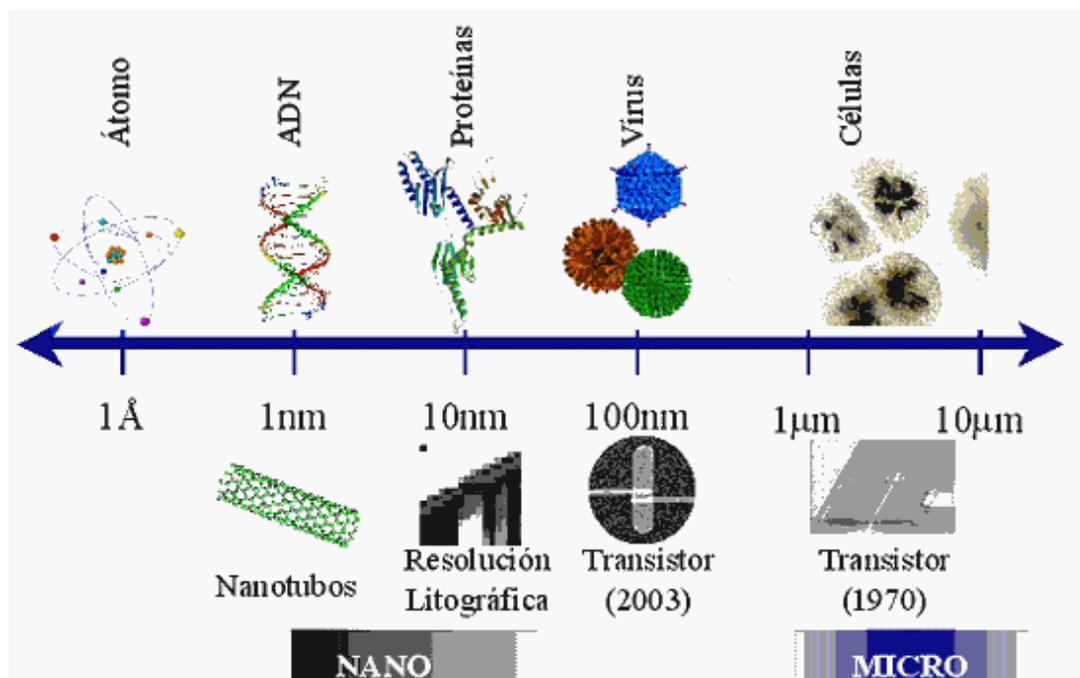


Figura 2. Ejemplo de escalas del tamaño nanométrico-micrométrico (Nano-futuro, 2023).

En la agronomía, la aplicación de esta NT ha proporcionado el incremento en las oportunidades de generar productos como nanosensores, nanofertilizantes, nanoherbicidas, nanopesticidas, que favorecen el incremento y rendimiento de insumos alimenticios de manera sustentable (Lira *et al.*, 2018).

3.1. Remediación con NT en suelos contaminados

La tecnología de remediación en suelos contaminados mediante la adición de enmiendas ha llamado mucho la atención debido a sus ventajas eficientes, económicas y respetuosas con el medio ambiente (Chen *et al.*, 2020).

Por otro lado, la posible toxicidad de las NPs metálicas involucradas en el proceso de remediación, junto con sus subproductos y costos de recuperación del sitio de remediación es otro factor que puede imponer una limitación a su uso (Guerra *et al.*, 2018). Así pues, se vuelve importante estudiar el espectro de elementos químicos y evaluar su nivel de contenido en comparación con sus concentraciones de fondo en el suelo (Senchenko *et al.*, 2021).

Una técnica empleada es la aplicación de nanocatalizadores, que consisten en la mitigación de hidrocarburos con formación de dióxido de carbono y agua mediante oxidación-reducción (Díaz, 2022).

En efecto esa es una técnica moderna avanzada y una alternativa a los métodos tradicionales de remediación, proporciona nuevos tipos de materiales que por sus propiedades conceden la reducción química y catálisis para la transformación y desintoxicación de contaminantes, los métodos implican la aplicación de NM en suelos contaminados y degradados (Sharma, 2019).

3.1.1. Contaminación con metales pesados

La contaminación excesiva por metales pesados afecta negativamente las actividades metabólicas de las plantas, lo que afecta cuantitativa y cualitativamente la producción de alimentos, que en última instancia perturban la salud humana y animal (Paul *et al.*, 2021). Debido a esto el suelo se hincha y se contrae debido a la absorción de agua, lo que reduce la resistencia a la compresión del suelo solidificado sobre la estabilidad mecánica y la estabilidad química del mismo en condiciones alternas secas y húmedas (Li *et al.*, 2021).

Por consecuencia los nutrientes aniónicos reaccionan con los cationes en el suelo, los nitratos, cloruros y la mayoría de los sulfatos forman compuestos solubles en agua y la aplicación de los fertilizantes que los contienen no presenta ningún problema en su absorción por las plantas (Prasad y Shivay, 2021).

3.1.2. Contaminación con hidrocarburos

La contaminación por hidrocarburos en el suelo y aguas, es una principal causa de fuente contaminante, esto produce alteraciones en los ecosistemas afectando los bioprocesos y ciclos naturales, estas eventualidades originan problemas directamente sobre la flora y fauna, dado a que el petróleo posee en su estructura compuestos tóxicos, desfavoreciendo las condiciones para el ser humano y microorganismos, dañando dichos procesos biogeoquímicos (Zamora *et al.*, 2012).

3.2. Mejoramiento de las propiedades agronómicas del suelo

La agricultura es el campo básico para la producción de alimentos, tiene la función de producir tanto para humanos como para animales, los agricultores para obtener grandes rendimientos han utilizado una serie de tecnologías para fertilizar los cultivos, pero especialmente para aumentar la productividad con el fin de satisfacer las necesidades (Toader *et al.*, 2020).

La implementación de los nanofertilizantes ha demostrado tener un mejoramiento en las propiedades del suelo, ya que les permite a los cultivos aprovechar los nutrientes que se le proporcionaron, superando la aplicación de fertilizantes convencionales, ya que con el tiempo degradan el suelo, el mecanismo de esta NT permite liberar lentamente los elementos nutritivos que la planta requiera para su absorción de manera que no altera los compuestos del agua y suelo (Hernández *et al.*, 2020). A su vez el uso de prácticas de conservación de la humedad junto con fertilizantes, especialmente micronutrientes, son eficaces para aumentar la rentabilidad, la productividad y la calidad de los alimentos (Yadav *et al.*, 2021).

3.2.1. Retención de humedad

La disponibilidad de agua en el suelo permite discutir el efecto de las variables utilizadas en su predicción, la distribución espacialmente acumulada en la comparación de los métodos muestra a grandes rasgos una mayor dispersión de los datos asociados, lo que indica que estos valores, asociados a la situación de capacidad de campo, son más difíciles de estimar que los valores del punto de marchitez (Pérez *et al.*, 2018). Un factor importante a considerar es la porosidad, debido a esto se logra tener una mejor capacidad de retención de agua (Melendres *et al.*, 2017).

Las propiedades hidrofísicas del suelo es fundamental en la interpretación y predicción de los cambios de la cubierta vegetal, que se producen como consecuencia de una sucesión natural (Markoski *et al.*, 2020).

Dada la dificultad y el costo de las mediciones directas, se han desarrollado muchos métodos indirectos para estimar las características hidráulicas a partir de variables del suelo que son más fáciles de medir (Cutillas *et al.*, 2018). Con respecto a esto los nanohidrogeles han ido surgiendo para tener un papel dual como hidrogel con propiedades de NPs, son ventajosos en funciones hidrofílicas y flexibles, siendo versátiles, de alta absorción de agua y capacidad de retención prolongada (Quazi y Park, 2022).

Un método para la retención de humedad es la implementación de NM de carbono (CNM), debido a que poseen un tamaño a escala nanométrica eficaz, logrando tener una alta reactividad química, ofreciendo características eléctricas, mecánicas y térmicas (Peñaloza y Robertson, 2021). Donde resulta que, se ha observado que los CNM a concentraciones bajas conducen más agua hacia los tejidos de las plantas, mejorando las concentraciones de elementos nutritivos en los tejidos vasculares (Serrato, 2018).

3.2.2. Materia orgánica

El suelo en tierras cultivadas, aumenta significativamente el contenido de agua mejorando el rendimiento y productividad del suelo, ampliando el contenido de materia orgánica (Liu *et al.*, 2021).

Por otro lado, el suelo erosionado es compensado por la meteorización de las rocas, que ocurre con la participación activa de metabolitos de organismos vivos y productos como ácidos carboxílicos de bajo peso molecular y ácidos húmicos y fúlvicos (Savenko y Savenko, 2019).

Los CNM, tienen el tamaño adecuado para penetrar en las paredes y membranas de las células de las plantas, estas NPs ayudan a transportar agua y nutrientes, teniendo funcionalidad en procesos de desalinización reduciendo el exceso de sales presentes, favoreciendo las condiciones de la materia orgánica (Ricardo *et al.*, 2016).

3.2.3. Elementos nutritivos

Los nutrientes de la planta se basan por la ley del mínimo, donde el nutriente en menor cantidad limita la producción, sin importar que los demás estén en cantidades mayores (Mejía y Menjivar, 2010).

Los macro y micronutrientes tienen una importancia en el desarrollo agrícola, por lo cual se han implementado bioestimulantes para reducir el estrés, debido a su contenido hormonal que son necesarios para el desarrollo y crecimiento de las plantas (Peña y Cruz, 2020).

Por esta razón, se ha demostrado la importancia que tiene los elementos nutritivos a escala nanométrica mediante la aplicación de NT en los ingredientes activos de las NPs ya que aumenta la eficacia de sus ingredientes químicos, mejorando la incorporación y desplazamiento vascular por los haces vasculares del xilema y floema (Lira *et al.*, 2018).

3.3. Productos agronómicos

La acidificación del suelo como consecuencia del uso de fertilizantes químicos en exceso, trae como consecuencia el desorden del sistema vegetativo de las plantas que se manifiesta de varias formas: caída de frutos, resistencia de las plagas, aparición de quemaduras en las plantas, entre otros factores (Toader *et al.*, 2020).

Algunas características del suelo consisten en la filtración, degradación y almacenamiento de sustancias orgánicas e inorgánicas, permitiendo neutralizar e inmovilizar dichas sustancias dañinas, impidiendo el paso a aguas subterráneas y a la cadena alimenticia ya que posee el poder de desactivación natural (Márquez, 2020) a partir de esto, surge la aplicación de la NT como método de solución ante problemas ambientales, agrícolas y otras disciplinas.

3.3.1. Nanopartículas (NPs)

Investigadores científicos en la disciplina agrícola, presentan desafíos en los en el rendimiento y productividad de cultivos por la baja presencia de micro y

macronutrientes, déficit de materia orgánica, disponibilidad de agua, entre otros factores (Shiva, 2016).

A causa de esto existen un tipo de nanosensores que permiten detectar la cantidad optima de elementos nutritivos que promueven la productividad sustentable (Ghormade, 2015). Para el caso de plantas y semillas, se han encontrado efectos positivos al implementar NPs de Zn, estas estimulan y favorecen su fisiología y caracteres bioquímicos (Aouada, 2015). Diversos experimentos han permitido conocer el tamaño, forma y concentración optima de las NPs para mejorar su absorción y penetración (Da Costa, 2016).

Cuando se aplican las NPs sobre las hojas en forma de aspersion, promueven el desplazamiento por el sistema conductivo del floema hacia los tejidos (Singh *et al.*, 2015). Al aplicarse en la zona radicular por riego pueden desplazarse por la xilema (López, 2016). Algunas investigaciones muestran que, al aplicar la técnica de aspersion, el 14.7% se pierde a comparación de productos convencionales con una pérdida del 32.5% (Hawthorne, 2015).

En pocas palabras, la implementación de la técnica nanoencapsulación, mejora la liberación de nutrientes ya que se desprenden de forma lenta y controlada (Sun, 2014), elevando el nivel de acción y a su vez, una disminución del ingrediente activo, lo cual se refleja en un mejor impacto medioambiental (Shang, 2006). El abastecimiento de nanofertilizantes tiene el potencial de ayudar a la captación de elementos nutritivos en el suelo, aumentando la simbiosis entre raíz-suelo de la planta (Rameshaiah, 2015).

3.3.1.A. Métodos para producir nanopartículas y aplicaciones

Para la síntesis de NPs es importante considerar los métodos que se emplean para su creación, los cuales en su mayoría son mediante métodos físicos que constan del uso de grandes cantidades de energía y condiciones específicas (Zanella, 2012). Algunos de los métodos más utilizados para producir NPs son:

- I. **Método de coprecipitación.** – Es un método que se basa en la degradación de varias sustancias cuando se encuentra en saturación, este

proceso utiliza temperaturas bajas y es fácil de contralar su tamaño, por lo que tu tiempo referentemente es corto. Regularmente, el agente de precipitación es el carbonato, sulfato, hidróxido y oxalato. La coprecipitación se basa en dos tipos: adsorción y oclusión (Hernández, 2022).

- II. **Método emulsión/evaporación.** – Este método consiste en la emulsión de dos fases: acuosa con agente emulsionante y fase orgánica inmisible en agua, con un principio activo y un polímero que establecerá la matriz. La utilización de una sonda de ultrasonido o de agitación mecánica funciona para formar una fase homogénea, cuando se forma la emulsión comienza la evaporación del solvente orgánico el cual debe ser volátil. El polímero se precipita con los principios activos teniendo un encapsulado creando NPs de morfología controlada (Urrejola *et al.*, 2018).
- III. **Método sol-gel.** – Es un método el cual consiste en la condensación e hidroxilación de las moléculas en solución, formándose un “sol” de partículas con tamaño nanométrico, después es secado por extracción mediante un solvente o por reacción química con el propósito de obtener óxidos metálicos tridimensionales (Coral y Mera, 2018).

Para entender dichas técnicas, existen dos formas de clasificación en cuanto su síntesis, las cuales son:

- 1) **Descendentes (top-down):** Se conforma en la división macroscópico del material hasta llegar a un tamaño nanométrico, se implementan métodos: físicos (desgaste o molienda), químicos y de volatilización por un sólido seguido de la condensación, con el fin de obtener una serie de ensambles controlados para obtener el tamaño requerido
- 2) **Ascendentes (bottom-up):** Se conforma con la elaboración de NPs con capacidad de autoensamble a través de la condensación de átomos El desafío es sintetizar moléculas que espontáneamente se autoensamblan sobre el cambio controlado como el pH, la concentración de un soluto o la aplicación de un campo eléctrico (Gómez, 2018).

3.3.2. Micronutrientes

Las personas en el mundo contribuyen en gran medida a la economía nacional a través de la agricultura, donde la salinidad del suelo dificulta en mayor medida la producción de cultivos en el ecosistema (Elayaraja y Sathiyamurthi, 2020).

La biofortificación agronómica mediante el empleo de micronutrientes a los cultivos, de forma foliar o directo al suelo, tiene la capacidad de corregir las carencias de elementos nutritivos (Kihara *et al.*, 2020).

Las características estequiométricas de los microelementos en las plantas que crecen en suelos de solución salina y alcalina interfieren en la fertilización de precisión, en función de la abundancia o deficiencia de microelementos, y proporcionen indicaciones sobre los mecanismos involucrados en la adaptación de las plantas a los hábitats salinos y alcalinos en los ecosistemas (Li *et al.*, 2020). Esta información es necesaria para informar la transferencia de elementos de los suelos y explorar sus ramificaciones para los beneficios a la salud (Richardson y Chase, 2021).

Además, los altos requerimientos nutricionales de las plantas muestran la importancia de estudios que indiquen formas más eficientes de manejo de la fertilidad para las plantaciones (Paris *et al.*, 2020).

Se espera que las variaciones espaciales de la disponibilidad de micronutrientes en los suelos sean altas principalmente debido a la variedad de tipos de suelo, condiciones climáticas, cultivos y manejo de cultivos (Shukla *et al.*, 2020). También se consideran los métodos de aplicación de micronutrientes y las tasas de aplicación variables (Thapa *et al.*, 2021)

En general, una comprensión profunda de la dinámica de los cationes básicos del suelo y los micronutrientes es fundamental para predecir su fertilidad y el rendimiento del ecosistema (Niu *et al.*, 2021).

3.3.2.A. Azufre

Actualmente, sabemos que la única forma de obtener azufre es utilizando gas natural, el cual contiene sulfuro de hidrogeno (H_2S), el H_2S se separa por medio de un proceso de oxidación, una molécula estable que existe en condiciones normales indefinidamente, mediante la descomposición catalítica a baja temperatura (Startsev, 2019).

Por esto las variaciones espaciales de la disponibilidad de micronutrientes y azufre en los suelos son altas principalmente debido a la variedad de tipos de suelo, condiciones climáticas, cultivos y manejo de cultivos, el conocimiento relativo a la distribución espacial de azufre y micronutrientes disponibles en suelos es limitado (Shukla *et al.*, 2020).

Tomando en cuenta lo anterior se han realizado pocos estudios para investigar el efecto de los fertilizantes minerales en las comunidades microbianas bajo sistemas de agricultura de conservación (Verdenelli *et al.*, 2018). Una de la importancia del azufre es para mejorar la producción de semillas y su calidad (Younis *et al.*, 2020).

3.3.2.B. Fierro

La capa más fértil del suelo es la superior, es rica en microorganismos, minerales y humus, esta capa se considera la mejor ubicación para el desarrollo del cultivo (Stefan *et al.*, 2022). Por ello es fundamental que la contaminación de las áreas industriales y urbanas no se propague a las áreas residenciales, recreativas y agrícolas, y se deben inmovilizar los metales pesados (Danila y Vasarevičlus, 2017).

En consecuente a lo anterior se han implementado tecnologías basadas en NPs de fierro de valencia cero para la remediación de suelos y aguas (Galdames *et al.*, 2020). En particular, hay pocos datos disponibles sobre la efectividad de las estrategias de nanorremediación para la remoción simultánea de suelos contaminados con metales (Gil *et al.*, 2022).

Por ello es importante estudiar los efectos que puede tener sobre ellos la presencia de nanofierro o sus óxidos en el suelo, para evaluar la fitotoxicidad de NPs sobre el crecimiento inicial de plantas, así como la retención por parte de las mismas (Thomé *et al.*, 2020). Sin embargo, las suspensiones de NPs de fierro presentan una movilidad limitada a los suelos calcáreos (Mystrioti *et al.*, 2021).

En resumen, la síntesis de NPs estables en ambientes naturales y aeróbicos como los suelos tiene una gran importancia (Emadi *et al.*, 2019). Del mismo modo, se desconocen en gran medida sus efectos de interacción con la red alimentaria del suelo y en procesos dentro del ecosistema (Rashid *et al.*, 2017).

3.3.2.C. Zinc

La fertilización con Zn se realiza a través del suelo, las hojas y la cubierta de la semilla, pero la respuesta al Zn agregado es más pronunciada cuando se realiza la aplicación al suelo (Yuvaraj y Subramanian, 2021).

En algunos casos, la solubilidad del zinc y la movilidad de los iones de zinc en suelos alcalinos pueden ser bajas, por lo tanto, la suplementación adecuada de zinc es muy importante para optimizar la producción agrícola (Akalin y Pulat, 2020). Una muestra de suelo se considera deficiente en zinc si contiene menos de 0,6 partes por millón (ppm) de zinc (Gupta *et al.*, 2020).

Los suelos sódicos muestran propiedades físicas y químicas deficientes, lo que impide la infiltración de agua, la disponibilidad de agua y, en última instancia, afectan el crecimiento de las plantas, debido al alto pH, el Zn se precipita como $Zn(OH)_2$ y, por lo tanto, no está disponible para los cultivos (Vinothini y Baskar, 2019).

Por lo tanto, es interesante investigar cómo el suelo influye en la eficiencia de la fertilización y la magnitud de la acción sobre la planta y el suministro de Zn (Morais *et al.*, 2021). En este sentido, las NPs que contienen metales pesados (Ag, Cu o Zn) atraen una atención especial en comparación con las NP minerales (Ermolin *et al.*, 2019).

Por lo cual la aplicación de zinc ha mostrado una tendencia positiva con respecto a los parámetros de crecimiento, rendimiento, la absorción de nutrientes, la calidad y la economía del maíz (Ariraman *et al.*, 2022).

Ademas de esto, la biofortificación agronómica con zinc en el maíz tierno tiene un gran alcance en el alivio de las deficiencias relacionadas con el zinc por el consumo humano de maíz tierno rico en Zn (Karthikeyan *et al.*, 2021)

3.3.3. Nanofertilizantes

Los nanofertilizantes han resultado ser más eficientes que los fertilizantes convencionales, las NPs, debido a su tamaño, presentan una mayor superficie específica cuando se aplican, por lo que su reactividad es mayor (Ranjbar *et al.*, 2019).

A consecuencia de esto, el uso productos agroquímicos para los cultivos para control de plagas, malezas y enfermedades se incrementado cada vez más, sin embargo, entre el 80 - 90% de dichos productos aplicados afectan a la vegetación y permanecen como residuos en el medio ambiente, lo que es potencialmente un grave riesgo para el ecosistema agrícola (Acosta y Parina, 2022).

En definitiva, la aplicación de nanofertilizantes representa una excelente alternativa, ya que reduce las cantidades necesarias de aplicación comparado contra los fertilizantes tradicionales, aportando los mismos nutrientes favoreciendo el crecimiento y mejorando la producción (Salcido *et al.*, 2020).

3.4. Caracterización de nanopartículas

Para comprender el potencial de esta tecnología, se debe de comprender que las propiedades físicas y químicas de la materia cambian a escala nanométrica, con el fin de tener control de tamaño de las NPs (Echevarria, *et al.*, 2008), por lo anterior expuesto, se utilizan principalmente tres técnicas para observar NPs en imágenes para su interpretación específica de las mismas las cuales son:

3.4.1. Difracción de rayos X (XRD)

Conocido como espectroscopia electrónica para análisis químico (ESCA), es un procedimiento analítico, como se muestra en la figura 3, el equipo difractómetro de rayos X, actúa sobre la incidencia de un fotón de energía sobre los átomos situados en una muestra por efecto fotoeléctrico. Cuando se ha emitido el fotoelectrón, el átomo se relaja, emitiendo un electrón. El método XRD permite el análisis cualitativo y cuantitativo de todos los elementos, excepto el hidrógeno, a temperatura ambiente, la superficie de cualquier metal en contacto con la atmósfera se recubre instantáneamente de una delgada película, a partir de la intensidad de cada pico se puede conocer el porcentaje atómico (Feliu, 2010).



Figura 3. Difractómetro de rayos X (Aguilar, 2019).

3.4.2. Microscopia electrónica de transmisión (TEM)

Es un método en el que se transmite un haz de electrones a través de una muestra dando lugar a diversos fenómenos, en esta técnica algunos electrones pasan a través de la muestra dando lugar a la formación de una imagen. El TEM está compuesto por una cámara, un condensador, un detector, y una serie de lentes que transmite la imagen a una pantalla fluorescente y finalmente se

procesa dicha imagen en un equipo de cómputo. Esta técnica de caracterización se utiliza para análisis estructurales, cristalinidad de materiales, morfología y tamaño de NPs, así como también de interacción o adherencia celular (Acosta, 2021). En la figura 4 se muestra una representación del Microscopio Electrónico de Transmisión.



Figura 4. Microscopio Electrónico de Transmisión (Ávila, 2016).

3.4.3. Microscopía electrónica de barrido (SEM)

Esta técnica funciona con un equipo de SEM el cual consiste en generar un haz de electrones de alta energía donde se usa un sistema de lentes para focalizar el haz y hacerlo incidir sobre la muestra el cual genera electrones llamados secundarios como respuesta al impacto electrónico, dichos electrones que salen de la muestra son detectados mediante el dispositivo microscopio electrónico de barrido (SEM, figura 5), que registran la cantidad de electrones detectados y lo convierten en una señal digital que se interpreta como intensidad de color, para construir una “imagen” (Penagos, 2013).



Figura 5. Microscopio electrónico de barrido (SEM) (Aguilar, 2019).

3.5. Zeolita y aplicaciones

Algunas de las aplicaciones de las zeolitas se basan como sustratos agrícolas, fertilizantes de liberación lenta, biofertilizantes y modificadores de suelo (Vunduk *et al.*, 2014). Además, las zeolitas naturales contienen no solo aluminosilicatos que absorben agua, sino también esméctica hinchable y su constituyente montmorillonita natural (Czél *et al.*, 2021). además, su importancia en la desintoxicación de suelos contaminados con metales pesados (Boros *et al.*, 2018).

Al tener una estructura cristalina, presentan una forma tridimensional con huecos y canales, permitiéndoles una alta capacidad de intercambio de cationes (CIC), al igual una alta capacidad de retener agua y elementos nutritivos (Salas *et al.*, 2014). Por ende, las zeolitas han sido ampliamente utilizadas comercialmente como catalizadores ácidos sólidos para aplicaciones petroquímicas y de refinación debido a sus propiedades únicas, como alta estabilidad térmica, superficie desarrollada, alta acidez y selectividad de forma. (Paul *et al.*, 2021).

Por lo tanto, la sistematización del conocimiento disponible sobre la síntesis y las propiedades fisicoquímicas y catalíticas es un paso importante para futuras investigaciones (Vorobkalo *et al.*, 2021).

Se sabe que el Zn, Cu y Fe del suelo generalmente disminuyen con un aumento en la aplicación de zeolita, mientras que el Zn y Cu del suelo y Mn aumentan a pesar de que el pH del suelo aumentó con la zeolita (Sindesi *et al.*, 2021).

Con lo anterior se ha anunciado constantemente que las zeolitas tienen un alto potencial como acondicionador del suelo para promover el desarrollo de los cultivos, así como bioestimulantes de plantas que contienen hongos micorrízicos (Lopes *et al.*, 2020).

La zeolita es una enmienda del suelo más efectiva que el carbón en el proceso de remediación del suelo (Glab y Mierzwa, 2021), ya que mejoraran con éxito la eficiencia de varios procesos biológicos (Silva *et al.*, 2021). Las pequeñas diferencias de tamaño, forma de poros y la temperatura de reacción influyen tanto en la cantidad como en su naturaleza (Silva *et al.*, 2022).

En resumen, se considera la posibilidad de potenciar el desarrollo de cultivos en suelos degradados con el uso de un nuevo sustrato mediante la implementación de zeolita (Chomczyńska *et al.*, 2022). El hecho de que cada grupo de zeolitas responda de forma diferente a los tratamientos químicos obliga a determinar los parámetros efectivos y las condiciones óptimas para obtener la mejor eficiencia de adsorción (Boros *et al.*, 2018).

3.6. Hidroxiapatita (HAp) y aplicaciones

La hidroxiapatita (HAp) es de tamaño nanométrico $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2]$, que es un compuesto de fosfato-calcio e hidróxido de calcio (Liang *et al.*, 2019). Se puede afirmar que, en la síntesis hidrotermal a partir de lactato de calcio pentahidratado y ácido ortofosfórico, se obtuvo la HAp pura (Szterner y Biernat, 2022). Sabiendo eso, se ha investigado el efecto de la concentración sobre el tamaño, forma y composición de las partículas de HAp en función de la composición del medio de reacción y el orden de mezcla de los componentes (Koroleva *et al.*, 2020).

Muchos de los trabajos sobre la HAp solo se enfocan en su efecto sobre la actividad y biodisponibilidad de los metales pesados, pero hay pocas investigaciones que presten atención a su efecto potencial sobre la distribución y migración de metales pesados en el suelo (Xu *et al.*, 2021).

Sin embargo, hasta donde sabemos, no está claro cómo los metales se migran del suelo contaminado y se acumula en el suelo de la rizosfera con hidroxiapatita durante el cultivo en comparación con el suelo de la rizosfera sin hidroxiapatita (Masahiko *et al.*, 2017).

La importancia que se tiene sobre la HAp es su uso como nanofertilizante ya que tiene la capacidad de liberar nutrientes por medio de tres mecanismos: La encapsulación del nutriente en NM o nanocompuestos, cubiertos en películas o liberados como partículas a nanoescala (García y Pedroza, 2018)

3.7. Complejo Zeolita-Hidroxiapatita-Urea

Las NPs de hidroxiapatita (nHAp) pueden aumentar la eficiencia del uso de fertilizantes, al realizar una lenta liberación de nutrientes, entre los métodos más efectivos se encuentran la hidrólisis, los procesos hidrotérmicos, la preparación mecanoquímica y la vía sonoquímica, por lo que es importante seleccionar el proceso adecuado, de acuerdo al objetivo del nanocompuesto, lo cual incluso puede ayudar a reducir costos (Hernández *et al.*, 2020).

Investigadores han recomendado el complejo de fertilizantes nitrogenados y zeolita, como un mineral poroso, dando lugar al retraso en la lixiviación de la urea desde la zona de la raíz, controlando la tasa de liberación de carga de nutrientes (Maghsoodi *et al.*, 2020).

Por otra parte, el enfoque *down to* en particular, como se mencionó anteriormente, es implementado como método para la síntesis de urea-hidroxiapatita de liberación lenta, las NPs de HAp poseen una relación de volumen - área superficial muy alta, lo que facilita la unión del complejo durante el proceso de encapsulación en su superficie (Madzokere *et al.*, 2021).

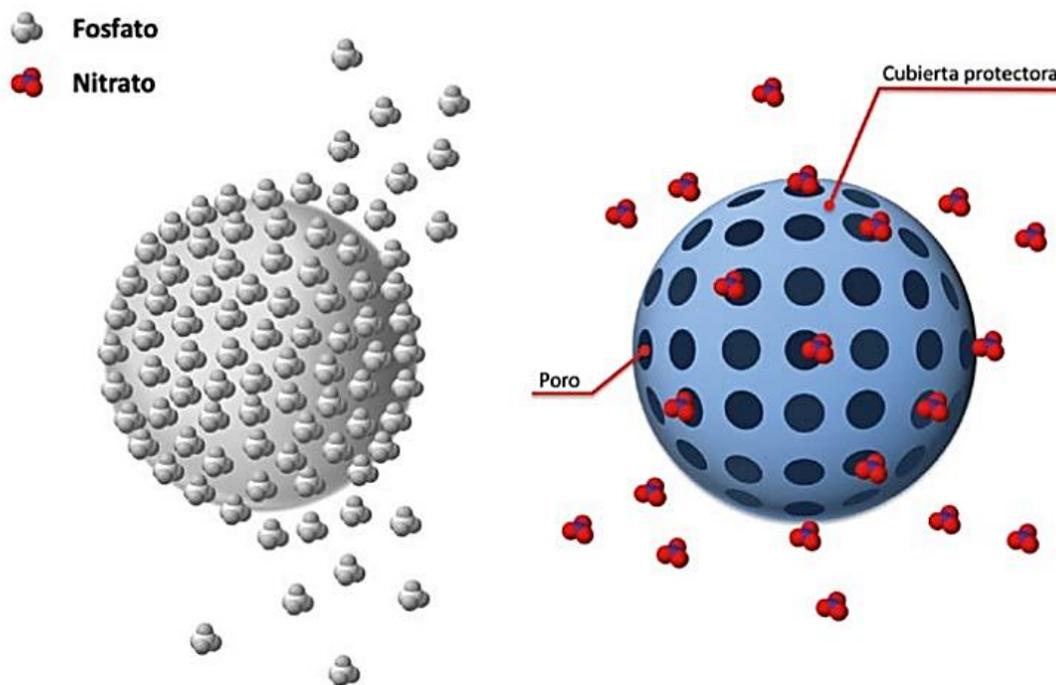
En efecto, la hidroxiapatita-urea (HAp-Urea) compuesto nanohíbrido es capaz de liberar nitrógeno 12 veces más lento en comparación con la urea pura, lo que confirma la aplicabilidad de HAp-urea como fertilizante de liberación controlada (Pabodha *et al.*, 2022), liberando con precisión sus ingredientes activos para responder a los desencadenantes ambientales y las demandas biológicas (Rashmi *et al.*, 2021).

3.7.1. Smart Release

La liberación lenta de sustancias activas detalladas en un sistema, se llaman tecnologías de liberación sostenida y busca mantener una cierta concentración dentro de un medio por un tiempo más prolongado, esto puede ser empleado para reducir impactos ambientales y economizar gastos (Wang y Liu, 2019).

En México la empresa Flamel desarrollo un herbicida llamado Roundup con una formulación en nanocápsulas de liberación lenta, usada en agentes biológicos como fármacos, insecticidas, fungicidas, plaguicidas, herbicidas y fertilizantes (Cox, 1998).

Debido a que algunos NM pueden ser absorbidos por la planta en forma de nanopartícula (lo que no ocurre con un fertilizante convencional), se descomponen lentamente y pueden proporcionar una fuente continua de iones solubles en las cercanías de la rizosfera, o dentro de la propia planta, de este modo, se evitan pérdidas por lavado, descomposición e inmovilización (Rojas, 2020), tal como se muestra en la figura 6.



A) Nutriente en forma de nanopartícula

B) Nanopartícula cargada con nutriente

Figura 6. Boceto descriptivo de una nanopartícula elaborada con un material que actúa como nutriente conforme se esparce (A). Nanopartícula creada de forma que libera los nutrientes acumulados en su interior (B) (Rojas, 2020).

El uso y la implementación de nanofertilizantes de lenta liberación ha resultado en un aumento en la productividad de los cultivos, se le atribuye principalmente a la facilidad con la que penetran los estomas de las hojas como se menciona en la figura 7.

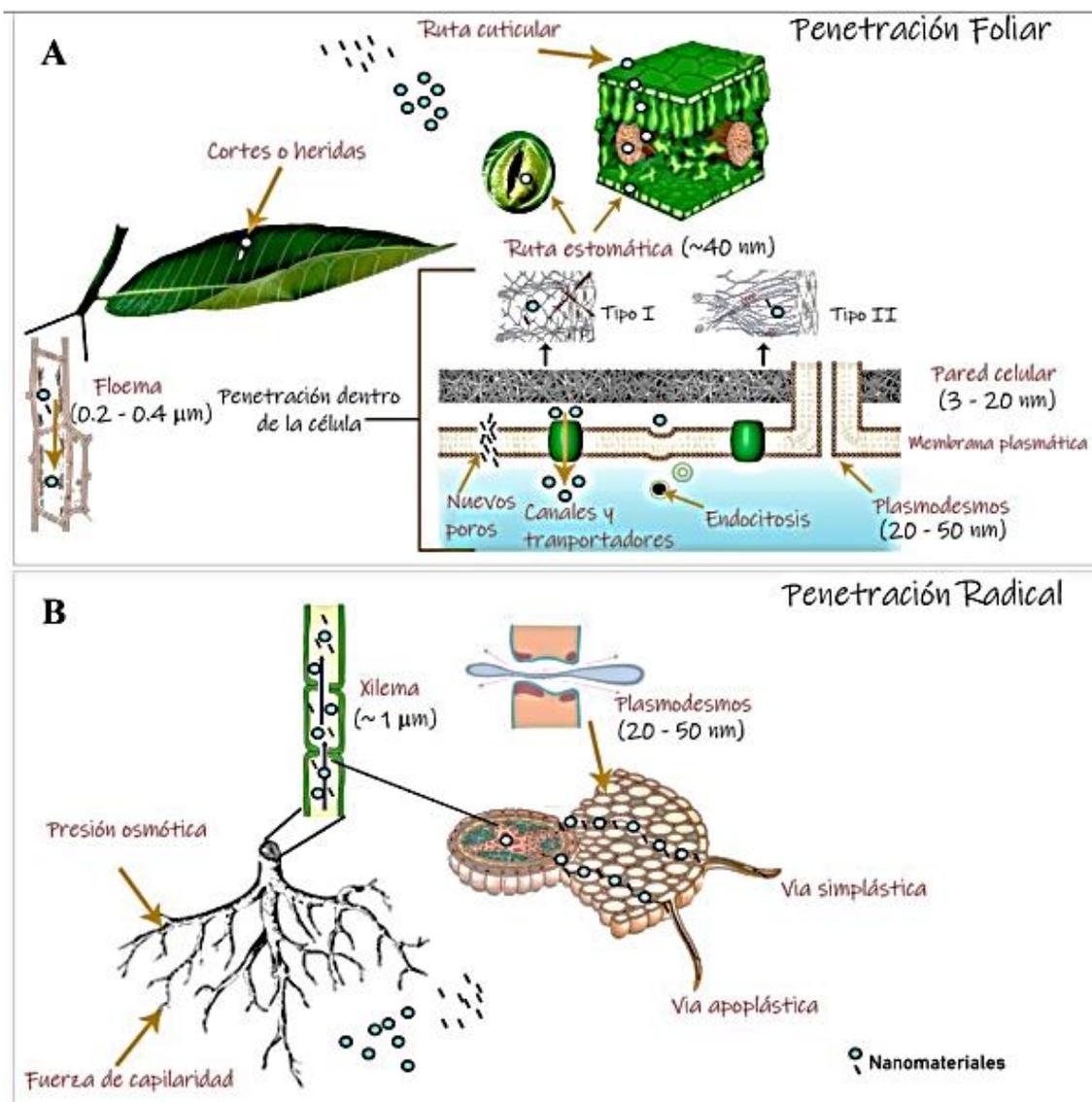


Figura 7. Vías de entrada de los nanomateriales a la planta. A. Absorción foliar. B. Absorción radical. (Echevarría 2019).

3.8. Tendencias futuras

Tomando en cuenta la información anterior, el uso y aplicación de la NT apunta sobre el sector agroalimentario ya que presenta avances y resultados sobre la demanda de los consumidores y actual proceso de globalización, además, todo ello trae nuevas situaciones desconocidos, asociados con el cambio (innovación) que requieren respuestas a corto y largo plazo (González *et al.*, 2018).

En consecuencia, se ha elevado la urgencia de desarrollar tecnologías que protejan el medio ambiente, una de ellas y la más novedosa es la NT verde, ya que brinda un enfoque que promueve el uso de productos sustentables (Kanwar *et al.*, 2019).

A la par en la rama de la medicina existe un nanomaterial muy importante para fines terapéuticos la (nHAp) o fosfato cálcico, material biocerámico que tiene una aplicación en la regeneración de huesos, este compuesto es parte de la estructura óseo humana y debido a su biocompatibilidad, es utilizado como sustituto del injerto óseo (Zhang *et al.*, 2021).

4. Materiales y métodos

4.1. Descripción del sitio

El presente estudio se llevó a cabo entre los meses de febrero y mayo del 2021 en el laboratorio de suelos en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, ubicada en Torreón, Coahuila, México. Con las coordenadas geográficas 25°33´19"N 103°22´14W y con una altura de 1120 msnm.



Figura 8. Localización del experimento.

4.2. Características climáticas

El clima en Torreón actualmente es de subtipos secos semicálidos. La temperatura media anual es de 20 a 22 °C. En Torreón, los veranos son largos y cálidos, los inviernos cortos, frescos y secos. El cielo se mantiene parcialmente nublado durante el año. En el transcurso del año existe una variación de la temperatura entre los rangos de 8 – 36 °C, ocasionalmente baja a menos de 3 °C o supera los 39 °C Weather Spark. (2023).

4.3. Acondicionamiento de la zeolita con nHAp

Para la preparación de la zeolita en conjunto con la nHAp se tomó en cuenta las siguientes concentraciones.

En 1 L de agua destilada:

Tabla 1. Acondicionamiento de zeolita con nHAp

<i>Soluto</i>	<i>Solvente</i>	<i>Concentración (ppm)</i>
<i>Ml de nHAp</i>	<i>L de zeolita</i>	
4	3	1000
8	3	2000
16	3	4000

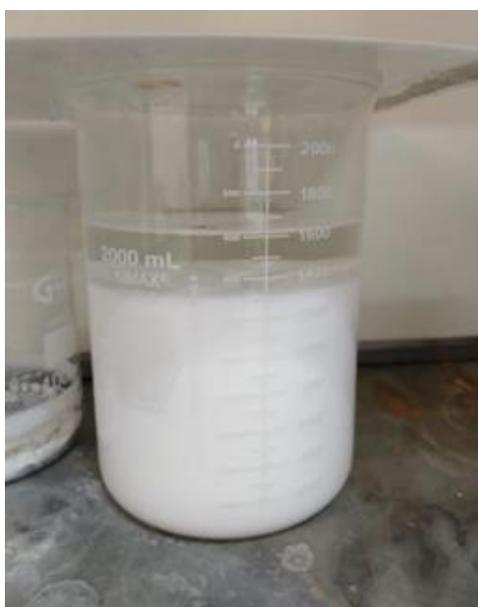


Figura 9. Preparación de nHAp



Figura 10. Preparación de Zeolita y Perlita



Figura 11. Concentraciones de Zeolita con nHAp

4.4. Diseño experimental

En este trabajo, se utilizó un diseño factorial de dos factores donde el Factor A corresponde al tipo de sustrato utilizado y el Factor B a la concentración utilizada de la nano hidroxapatita, se establecieron 9 tratamientos con 3 repeticiones por tratamiento. Se consideró como unidad experimental un porómetro conteniendo la combinación de perlita sustrato zeolítico y nHAp, la matriz de datos y los tratamientos quedaron de la siguiente manera:

Tabla 2. Matriz de datos y tratamientos

FACTOR A	FACTOR B	TRATAMIENTOS	REPETICIONES
Perlita - Zeolita 1A (70% - 30%)	1B=1000	T1 = 1A*1B	3
	2B=2000	T2 = 1A*2B	3
	3B=4000	T3 = 1A*3B	3
2A (50% - 50%)	1B=1000	T4 = 2A*1B	3
	2B=2000	T5 = 2A*2B	3
	3B=4000	T6 = 2A*3B	3
3A (30% - 70%)	1B=1000	T7 = 3A*1B	3
	2B=2000	T8 = 3A*2B	3
	3B=4000	T9 = 3A*3B	3

Para la realización del experimento, se fabricó una mesa de madera reciclada para colocar los porómetros.



Figura 12. Fabricación de mesa.

Una vez realizada la mesa, se comenzó con la elaboración de los porómetros, los cuales para su fabricación se utilizaron tubos de PVC de 2 pulgadas, cada porómetro tiene una altura aproximada de 35 cm, están sellados con un tapón ciego y se les hizo un orificio en la parte inferior para poder drenar el lixiviado contenido.



Figura 13. Fabricación de porómetros



Figura 14. Etiquetado y rotulado de porómetros.

Posterior a ello se disolvió el fertilizante de la marca FertiDrip para crecimiento de plantas y aplicación foliar en un balde de 20 L, del cual se tomaron 200 ml para introducir en cada uno de los tratamientos en conjunto con la zeolita y perlita.

Tabla 3. Composición porcentual de los elementos presentes en el fertilizante.

Nitrógeno (N)	20.00%	Magnesio (Mg)	0.054%
Fosforo (P ₂ O ₅)	20.00%	Manganeso (Ma)	0.03%
Potasio (K ₂ O)	20.00%	Cobre (Cu)	0.010%
Calcio (Ca)	0.003%	Boro (Bo)	0.020%
Azufre (A)	0.167%	Molibdeno (Mo)	0.001%
Fierro (Fe)	0.060%	Zinc (Zn)	0.080%



Figura 15. Fertilizante FertiDrip utilizado



Figura 16. Preparación de tratamientos

Se dejaron los tratamientos en reposo durante 24 horas y se recolectó el lixiviado resultante de cada una de ellas.



Figura 17. Muestras extraídas en frascos rotulados



Figura 18. Colación de lixiviado resultante

4.4.1. Determinación de Azufre total

Material, reactivos y equipo

- Matraz Erlenmeyer de 125ml.
- Solución ácida acondicionadora.
- Añadir 50 ml de glicerina a una solución que contenga: 30.0 ml de HCl concentrado.
- 300 ml de agua destilada.
- 100 ml de alcohol etílico.
- 75 g de cloruro de sodio.
- Reactivo de $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (tamaño de partícula: malla 20 a 30).
- Se requieren 0.5 g de cristales para cada muestra.
- Solución patrón de 100 ppm de SO_4^{2-} Disolver 0.1479 g de Na_2SO_4 secados a 110 °C durante 2 horas y aforar a 1000 ml.



Figura 19. Equipo electrofotometro (MERCK SQ 118).

Procedimiento

Blanco:

- Preparar un blanco con agua destilada y reactivos y ajustar la absorbancia a un valor de 0

Muestra:

- Colocar 10 ml de la muestra de agua en un matraz Erlenmeyer de 125ml.
- Añadir 1 ml de la solución ácida acondicionadora.
- Mezclar bien
- Agregar 0.5 g de $BaCl_2 \cdot 2H_2O$
- Agitar durante 1 minuto.
- Transferir la muestra a una celda de 1 cm del espectrofotómetro y leer la absorbancia a una longitud de onda de 420 m dentro de los 2 minutos siguientes.

Cálculos

De la curva de calibración: Obtenga las ppm de $SO_4^{=}$, de acuerdo con la lectura de absorbancia de la muestra.

En caso de utilizar diluciones, se multiplica por el factor de dilución correspondiente.

$$Meq. l de SO_4 = \frac{(ppm)(dilución)}{PE del SO_4}$$

PE: Peso equivalente del ión sulfato = 48.0 g

4.4.2. Determinación de Hierro y Zinc (Método Absorción atómica)**Material y equipo**

- Tubos de polietileno de 50 ml o matraz erlenmyer de 125 ml
- Matraces volumétricos de 25 y 50 ml
- Pipetas de 2, 3 y 5 ml
- Tapones de hule y cuadros de film o película de plástico
- Microbureta

- Papel whatman 5, 42 o similar
- Probeta de 25 ml o dosificador automático
- Agitador mecánico de acción reciproca
- Medidor de ph
- Lámparas de cátodo hueco Fe, Cu, Zn y Mn
- El material utilizado debe dejarse toda la noche en HCl a 5%, enjuagarse con aguade la llave y finalmente, con agua destilada y desionizada.



Figura 20. Equipo Espectrofotómetro de Absorción Atómica (PERKIN-ELMER 2380)

Reactivos

Solución Extractora:

- Ácido dietilentriaminopentacético (DTPA) 0.005m.
- Cloruro de calcio ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 0.01 M.
- Trietanolamina (TEA, $\text{C}_6\text{H}_{15}\text{NO}_3$) 0.1 m, con ph 7.30.

Procedimiento: para preparar un litro de esta solución es necesario disolver 1.967 g de DTPA, 1.47 g de cloruro de calcio y 14.92 g de trietanolamina en 20 ml de agua desionizada aproximadamente; se diluye a 900 ml. El ph debe estar a 7.30 ± 0.05 , se corrige con HCl 6N, posteriormente agitamos y diluimos a un litro con agua desionizada.

Ácido Clorhídrico 6 N. Diluir 5.9 ml de HCl a 37% en un matraz aforado de 10 ml.

Estándar de Zinc de 1000 ppm. Disolver 1.0 g de Zn metálico puro, con 10 ml de HCl concentrado. Evaporar casi a sequedad y diluir a un litro con DTPA 0.005 m, almacenar en botella de polietileno y refrigerar.

Estándar de Manganeso de 1000 ppm. Diluir 1.58 g de MnO_2 en 5 ml de HCl concentrado. Evaporar casi a sequedad y diluir a un litro con DTPA 0.005 m, almacenar en botella de polietileno y refrigerar.

Estándar de Fierro de 1000 ppm. Disolver 1.0 g de Fe en 5 - 10 ml de HCl concentrado. Evaporar casi a sequedad y diluir a un litro con DTPA 0.005 m, almacenar en botella de polietileno y refrigerar.

Estándar de cobre de 1000 ppm. Disolver 1.0 g de Cu en una cantidad concentrada de HNO_3 y 5 ml de HCl. Evaporar casi a sequedad y diluir a un litro con DTPA 0.005 m, almacenar en botella de polietileno y refrigerar.

Estándar de Fe, Cu, Zn y Mn de 100 ppm. Disolver por separado 10 ml de solución de 1000 ppm de Mn, Zn, Cu y Fe y aforar a 100 ml con solución DTPA 0.005m.

Procedimiento

Pesar 20 g de suelo y colocar en matraces Erlenmeyer de 125 m, agregar 40 ml de solución extractora. tapar los matraces, agitar durante dos horas a 180 rpm. Filtrar en papel whatman 5, 42 o similar y cuantificar los microelementos en el extracto.

Utilizar el método de espectrofotometría de absorción atómica para la determinación de Mn, Zn, Cu y Fe, utilizar llama de aire y C_2H_2 . Para obtener las concentraciones de la muestra revisar las curvas de calibración. Mantener la matriz como muestra, para leer los extractos directamente; es necesario que las curvas se preparen con la solución extractora, sin embargo. La preparación de la

curva se indica en la tabla siguiente (se pueden tener otras concentraciones dependiendo de la sensibilidad del instrumento):

Tabla 4. Curvas de calibración.

Solución de 100 ppm De Fe, Cu, Zn y Mn MI	Aforar con DTPA^a	Conc. De Fe, Cu, Zn y Mn ppm
0	100	0
0.5	100	0.5
1.0	100	1.0
3.0	100	3.0
5.0	100	5.0
7.0	100	7.0
10.0	100	10.0

^a con agua destilada

Cálculos

$$\text{Fe, Cu, Zn Y Mn (MG/KG)} = \text{ppm cc} * D_m * D_v$$

Donde:

- ppm cc = partes por millón en la curva de calibración
- D_m = dilución de masa (volumen de extractante/g de muestras)
- D_v = dilución de volumen aforo/alicuota)

5. Resultados y discusión

En el trabajo de Cruz *et al.* (2013) en Sustratos en la horticultura, explican cómo los suelos improductivos por sobreexplotación, heterogeneidad y con características fisicoquímicas distintas en la agricultura, ha llevado a desarrollar técnicas de cultivo, así como la implementación de tecnologías para mejorar las propiedades de los sustratos manteniendo los nutrientes aprovechables. Por otro lado, se deben eliminar problemáticas en la caracterización y estandarización de las metodologías de análisis de los sustratos.

En la literatura publicada, se encuentran diversos trabajos que indican el uso e importancia de los sustratos, por ejemplo, Soca y Lorente (2015) en su investigación Efecto de las zeolitas naturales y activadas en la producción de tomate, encontraron una mayor concentración de Fe y Zn en hojas de tomate con tratamiento de zeolita, 13 y 14%, en comparación con perlita y Lana de Roca Bolsa Respectivamente.

En otro trabajo desarrollado por Peña *et al.* (2013) en la Producción hidropónica de tomate (*Solanum lycopersicum L.*) en cascarilla de arroz mezclada con materiales minerales y orgánicos, se encontró que la cascarilla quemada, tuvo un mayor promedio con la zeolita, donde se incrementó hasta un 59,6% la producción comparada con los otros dos sustratos. De igual manera, en la cascarilla cielo abierto, se encontró que la zeolita aumentó en un 57,6% la producción respecto a los otros dos sustratos.

En el estudio de García y Peñuela (2022) en el Tratamiento de suelos contaminados por elementos traza hierro, cromo y aluminio mediante la aplicación de zeolitas como agente inmovilizador, se evidencia una mayor retención de dichos elementos en el tratamiento combinado suelo-zeolita, para el caso en particular del Hierro la mejor relación observada fue la proporción 75 % suelo - 25 % zeolita, obteniéndose una retención encima de 40% de la concentración inicial. Por otro lado, se observó que a medida que incrementa el tiempo en contacto entre zeolita - suelo, las concentraciones de los contaminantes disminuyen notablemente.

Por otra parte, en el estudio de Díaz *et al.* (2019) en la Evaluación agronómica de fertilizantes de fórmula completa mezclados con zeolita natural en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum L.*) obtuvieron un mayor rendimiento con el tratamiento de zeolita natural (25%) y fórmula completa (75%), obteniéndose un incremento del rendimiento del 17.48 % en comparación con los otros tratamientos.

En la investigación de Caracterización química y física de sustratos enriquecidos con minerales y composta, realizada por Montoya *et al.* (2021) encontraron una mayor concentración de nutrientes en su complejo de composta-zeolita-dolomita [CaMg(CO₃)₂], provocando un aumento en su CIC, además de mencionar el factor en el tamaño de las partículas minerales (0.1 a 0.8 mm) donde mencionan que entre mayor sea la porosidad de partícula disminuye la aireación del suelo y aumenta la retención de humedad, además presentaron un incremento de Ca y Mg en sus resultados finales por la presencia de la dolomita, posiblemente por un arrastre dichos elementos del sustrato al lixiviado.

Los resultados obtenidos en la presente investigación, difieren de lo que han encontrado los autores antes señalados, ya que se observó un incremento de las concentraciones finales comparadas contra los valores iniciales de los micronutrientes analizados, observándose que no existe una retención de dichos elementos por el sustrato, la nanopartícula o la combinación de los factores anteriores, esto es un resultado atípico, en la comparación con los trabajos antes analizados. En la siguiente tabla se observan las concentraciones iniciales de la solución de cada elemento.

Tabla 5. Concentración inicial de los micronutrientes en 200 ml de solución nutritiva

Concentración	S	Fe	Zn
Mg L⁻¹	16.7	6	8

- Para el caso particular del Fe, el promedio final de las concentraciones de los tratamientos fue de 35.659 mg L⁻¹, esto representa un 594.316% por arriba de la concentración inicial.

Lo anterior puede deberse a la composición de los sustratos utilizados en este experimento. Por ejemplo, la perlita mineral tiene la siguiente composición:

- (SiO₂) Sílice: 70-75%.
- (Al₂O₃) Óxido de aluminio: 12-15%.
- (Na₂O) Sodio: 3-4%.
- (K₂O) Potasio: 3-5%.
- (Fe₂O₃) Óxido de hierro: 0.5-2%.
- (MgO) Óxido de magnesio: 0.2-0.7%.
- (CaO) Óxido de calcio: 0.5-1.5%.
- Pérdida al fuego: 3-5%.

(Quimica.es, 2023).

Se puede observar que en la composición de la perlita se encuentra hasta 2% de óxido de hierro, por lo que podría presentarse arrastre de este elemento hasta el lixiviado obtenido para el análisis.

- Para el caso particular del S, el promedio final de las concentraciones de los tratamientos fue de 167.222 mg L⁻¹, esto representa un 1,001.329 % por arriba de la concentración inicial.
- Para el caso particular del Zn, el promedio final de las concentraciones de los tratamientos fue de 11.111 mg L⁻¹, esto representa un 138.887 % por arriba de la concentración inicial.

Lo anterior puede deberse a la contaminación cruzada donde según Filtración y Análisis (2023) menciona que, en el laboratorio es un problema crítico que puede afectar la precisión y confiabilidad de sus resultados donde se refiere a la introducción accidental de materiales o sustancias extrañas en una muestra, lo que puede dar lugar a resultados falsos y confusos.

En la siguiente tabla se muestran los resultados del análisis estadístico para cada elemento.

Tabla 6. Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

TRATAMIENTO	AZUFRE	FIERRO	ZINC
1 = 1A 1B	165.000 a	49.833 a	10.333 a
2 = 1A 2B	165.000 a	28.867 b	9.000 a
3 = 1A 3B	173.333 a	30.767 ab	8.500 a
4 = 2A 1B	166.667 a	37.333 b	11.500 a
5 = 2A 2B	166.667 a	35.200 ab	13.000 a
6 = 2A 3B	161.667 a	34.033 ab	10.833 a
7 = 3A 1B	168.333 a	35.733 ab	12.000 a
8 = 3A 2B	168.333 a	35.033 ab	13.833 a
9 = 3A 3B	170.000 a	34.133 ab	11.000 a

6. Conclusión

Para el caso de los micronutrientes analizados, los resultados obtenidos no fueron los esperados, puesto que se pensaba encontrar una retención por el sustrato acondicionado con las NPs de HAp, sin embargo, se obtuvieron concentraciones mayores a las iniciales.

Como recomendación se plantea utilizar otro tipo de sustrato a la par del utilizado en esta investigación para tener más parámetros comparativos que ayuden a determinar más fácilmente si existe la retención que se busca.

Recomendaciones

Se recomienda realizar nuevamente el experimento, considerando esta vez realizar un duplicado por cada muestra tomada, con el fin de corroborar los datos obtenidos y reducir la incertidumbre de la información generada. Asimismo, considerar más intervalos de tiempo con el fin de encontrar en que tiempo se obtiene la mayor tasa de retención.

Para prevenir la contaminación cruzada en laboratorios, se deben seguir ciertas medidas de seguridad y protocolos, como:

1. Mantenimiento de un buen control de aseguramiento de calidad: Esto incluye la utilización de pruebas y procedimientos para detectar y prevenir la contaminación cruzada.
2. Uso de técnicas apropiadas para la manipulación de materiales: Esto incluye la utilización de técnicas como la esterilización y la descontaminación adecuada para prevenir la contaminación cruzada.
3. Uso de buenas prácticas de laboratorio: Esto incluye la utilización de técnicas de limpieza y desinfección apropiadas, así como la separación adecuada de los diferentes tipos de materiales biológicos en el laboratorio.
4. Uso de equipos y materiales estériles: Es importante utilizar materiales y equipos estériles en todo momento para prevenir la contaminación cruzada.

7. Referencias

- Acosta Cardona, L. E. (2021). Síntesis de hidroxiapatita a partir de erizo de mar dopada con nanopartículas de óxido cobre (HAP: NPs CuO) para su posible uso como biomaterial.
- Acosta Sandoval, P. A., y Pariona Acharte, S. B. (2022). Recuperación de suelos agrícolas degradados en Ayacucho utilizando abono de *Cavia porcellus* y microorganismos eficientes, 2022.
- Aguilar, I. I. C. (2019). *Análisis de la estabilidad eléctrica de películas delgadas de ZnO: Ag, N tipo p* (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma De Zacatecas).
- Akalin, G. O., y Pulat, M. (2020). Controlled Release Behavior Of Zinc-Loaded Carboxymethyl Cellulose And Carrageenan Hydrogels And Their Effects On Wheatgrass Growth. *Journal Of Polymer Research*, 27(1), 1-11. Doi: 10.1007/S10965-019-1950-Y
- Anicua Sánchez, R., Gutiérrez Castorena, M., Sánchez García, P., Ortiz Solorio, C., Volke Halle, V. H., y Rubiños Panta, J. E. (2009). Tamaño de partícula y relación micromorfológica en propiedades físicas de perlita y zeolita. *Agricultura técnica en México*, 35(2), 147-156.
- Anjali, Singh, R., Sharma, I., Sharma, P., Gupta, M., Singhal, P., . . . Upadhyay, S. K. (2021). Nanoparticles And Nanotechnology: From Source, Properties, Types, Synthesis To Multifaceted Functional Potential In Agriculture. *Bio Science Research Bulletin-Biological Sciences*, 37(1), 23-34. Doi: 10.5958/2320-3161.2021.00006.7
- Aouada, F. (2015). Nanotechnology applied in agriculture: Controlled release of agrochemicals. EEUU: Springer International Publishing.
- Arguello, B. M., Ricardo, H. L. S., y Reyes, I. V. (2016). Respuestas fisiológicas de plantas cultivadas en bioespacios por efecto de nanofertilizantes y zeolita.
- Ariraman, R., Selvakumar, S., Mansingh, M. D. I., Karthikeyan, M., y Vasline, Y. A. (2022). Effect Of Zinc Application On Growth, Yield Parameters, Nutrient Uptake, Yield And Economics Of Maize. *Agricultural Reviews*, 43(1), 104-109. Doi: 10.18805/Ag.R-2098
- Armendaris-Barragán, B., y Galindo-Rodríguez, S. (2018). La nanotecnología en las ciencias biológicas. *Biología y sociedad*, 1(1), 108-125.
- Ávila Orta, C. A. (2016). Centro de Investigación en Química Aplicada. Mundo nano. *Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología*, 9(17), 130-140.
- Bharadwaj, D. (2016). Sustainable agriculture and plant breeding. En Al-Khayri, J., Mohan, s. y Johnson, D. (Eds.) *Advances in plant breeding strategies: agronomic, abiotic and biotic stress traits* (pp. 3-34). Estados Unidos: Springer International Publishing.
- Bhattacharya, T., Soares, G. A. B. E., Chopra, H., Rahman, M. M., Hasan, Z., Swain, S. S., y Cavalu, S. (2022). Applications Of Phyto-Nanotechnology For The Treatment Of Neurodegenerative Disorders. *Materials* (1996-1944), 15(3), 804. Doi: 10.3390/Ma15030804

- Boros-Lajszner, E., Wyszowska, J., y Kucharski, J. (2018). Use Of Zeolite To Neutralise Nickel In A Soil Environment. *Environmental Monitoring y Assessment*, 190(1), 1-13. Doi: 10.1007/S10661-017-6427-Z
- Camara, M. C., Campos, E. V. R., Monteiro, R. A., Do Espirito Santo Pereira, A., De Freitas Proença, P. L., y Fraceto, L. F. (2019). Development Of Stimuli-Responsive Nano-Based Pesticides: Emerging Opportunities For Agriculture. *Journal Of Nanobiotechnology*, 17(1), N.Pag-N.Pag. Doi: 10.1186/S12951-019-0533-8
- Castro, N. P., Verbel, J. O., y Padilla, J. R. (2013). Nanotecnología aplicada a la medicina. *Revista Guillermo de Ockham*, 11(1), 125-133.
- Chávez-Lizárraga, G. A. (2018). Nanotecnología una alternativa para el tratamiento de aguas residuales: Avances, Ventajas y Desventajas. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 9(1), 52-61.
- Chen, H., Yuan, X., Xiong, T., Jiang, L., Wang, H., y Wu, Z. (2020). Biochar Facilitated Hydroxyapatite/Calcium Silicate Hydrate For Remediation Of Heavy Metals Contaminated Soils. *Water, Air y Soil Pollution*, 231(2), 1-16. Doi: 10.1007/S11270-020-4425-1
- Chomczyńska, M., Pawłowska, M., Szczepaniak, O., y Duma, E. (2022). Biogas Generation From Maize And Cocksfoot Growing In Degraded Soil Enriched With New Zeolite Substrate. *Energies* (19961073), 15(1), 377. Doi: 10.3390/En15010377
- Chopra, H., Bibi, S., Islam, F., Ahmad, S. U., Olawale, O. A., Alhumaydhi, F. A., . . . Emran, T. B. (2022). Emerging Trends In The Delivery Of Resveratrol By Nanostructures: Applications Of Nanotechnology In Life Sciences. *Journal Of Nanomaterials*, 1-17. Doi: 10.1155/2022/3083728
- Coral, D. y Mera, J. (2018). *Nanotecnología y medicina: aplicación de nanopartículas magnéticas en el tratamiento del cáncer*. Pasto, Colombia: Editorial Institución Universitaria CESMAG. DOI: 10.15658/CESMAG18.09010103.
- Cox, C. (1998). Herbicide Factsheet: Glyphosate (Roundup). *Journal of Pesticide Reform*, 18(3), 3-17.
- Cruz Crespo, E. L. I. A., Can Chulim, A. L. V. A. R. O., Sandoval Villa, M. A. N. U. E. L., Bugarin Montoya, R. U. B. E. N., Robles Bermudez, A. G. U. S. T. I. N., & Juarez Lopez, P. O. R. F. I. R. I. O. (2013). Sustratos en la horticultura. *CONACYT*.
- Czél, G., Vanyorek, L., Sycheva, A., Kerekes, F., Szóri-Dorogházi, E., y Janovszky, D. (2021). Antimicrobial Effect Of Silver Nanoparticles Plated Natural Zeolite In Polyurethane Foam. *Express Polymer Letters*, 15(9), 853-864. Doi: 10.3144/Expresspolymlett.2021.68
- Da Costa, M. y Sharma, P. K. (2016). Effect of copper oxide nanoparticles on growth, morphology, photosynthesis, and antioxidant response in *Oryza sativa*.
- Danila, V., y Vasarevičius, S. (2017). Kadmio Ir Nikelio Imobilizavimo Dirvožemyje, Panaudojant Geležies Nanodaleles, Teorinis Modeliavimas. Theoretical Modelling Of Immobilization Of Cadmium And Nickel In Soil Using Iron Nanoparticles., 9(4), 381-386. Doi: 10.3846/Mla.2017.1067

- Dasgupta, N., S. Ranjan Y C. Ramalingam 2017. "Applications Of Nanotechnology In Agriculture And Water Quality Management." *Environmental Chemistry Letters* 15: 591-605.
- De La Vega-García, N. L., Peña-Valdivia, C. B., González-Chávez, M. D. C. A., Padilla-Chacón, D., y Carrillo-González, R. (2020). Síntesis Y Efecto De Nanopartículas De Hidroxiapatita En La Germinación Y Crecimiento De Frijol. *Synthesis And Effect Of Hydroxyapatite Nanoparticles On The Germination And Growth Of Common Bean.*, 54(8), 1009-1029.
- Díaz Álvarez, H. J., Liriano González, R., & Abreu Cruz, E. O. (2019). Evaluación agronómica de fertilizantes de fórmula completa mezclados con zeolita natural en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.). *Centro Agrícola*, 46(1), 24-30.
- Díaz Villanueva, M. J. (2022). *Aplicación de nanotecnología para remediación de suelos contaminados con hidrocarburos* (Bachelor's thesis, Fundación Universidad de América).
- Echevarria, L., Ortega, M. A., Rodriguez, L., y Castillo, J. (2008). obtención y caracterización de nanopartículas coloidales empleando métodos ópticos. *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 6(1), 1-9.
- Echevarría-Machado, I. L. E. A. N. A. (2019). El tamaño sí importa: Los nanofertilizantes en la era de la agricultura de precisión.
- Elayaraja, D., y Sathiyamurthi, S. (2020). Influence Of Organic Manures And Micronutrients Fertilization On The Soil Properties And Yield Of Sesame (*Sesamum Indicum* L.) In Coastal Saline Soil. *Indian Journal Of Agricultural Research*, 54(1), 89-94. Doi: 10.18805/ljare.A-5422
- Eltarahony, M., M. Abu-Serie, H. Hamad, S. Zaki Y D. Abd-El-Haleem 2021. "Unveiling The Role Of Novel Biogenic Functionalized Cufe Hybrid Nanocomposites In Boosting Anticancer, Antimicrobial And Biosorption Activities." *Scientific Reports* 11: 1-22.
- Emadi, M., Savasari, M., Bahmanyar, M. A., y Biparva, P. (2019). Application Of Stabilized Zero Valent Iron Nanoparticles For Immobilization Of Lead In Three Contrasting Spiked Soils. *Research On Chemical Intermediates*, 45(9), 4261-4274. Doi: 10.1007/S11164-016-2494-Y
- Ermolin, M., Fedyunina, N., y Katasonova, O. (2019). Mobility And Fate Of Cerium Dioxide, Zinc Oxide, And Copper Nanoparticles In Agricultural Soil At Sequential Wetting-Drying Cycles. *Materials* (1996-1944), 12(8), 1270. Doi: 10.3390/Ma12081270
- Etheridge, M.L., Campbell, S.A., Erdman, A.G., Haynes, C.L., Wolf, S.M., Mccullough, J. (2013). "The big picture on nanomedicine: the state of investigational and approved nanomedicine products". En *Nanomedicine*. 9(1), pp 1-14.
- Feliu Jr, S. (2010). Caracterización química de nanosuperficies. introducción a la espectroscopia fotoelectrónica de rayos x (xps). *Técnicas de laboratorio*, 356, 838-843.
- Filtración y análisis. (2023). La contaminación cruzada en el laboratorio: ¿qué es y cómo prevenirla?. Consulta: 22 Abril 2023. Disponible en: <https://filtracionyanalisis.com/contaminacion-cruzada/>

- Galdames, A., Ruiz-Rubio, L., Orueta, M., Sánchez-Arzalluz, M., y Vilas-Vilela, J. L. (2020). Zero-Valent Iron Nanoparticles For Soil And Groundwater Remediation. *International Journal Of Environmental Research and Public Health*, 17(16), 5817-5817. Doi: 10.3390/Ijerph17165817
- García Leguizamón, L. D., y Peñuela Moreno, E. P. (2022). Tratamiento de suelos contaminados por elementos traza hierro, cromo y aluminio mediante la aplicación de zeolitas como agente inmovilizador.
- García Rodríguez, D. A. (2018). *Nano fertilizantes y promotores del crecimiento de plantas para una agricultura sustentable usando nanoparticulas metalicas y grafenos*. Instituto tecnológico de colima.
- Ghormade, V. G. (2015). Fluorescent cadmium telluride quantum dots embedded chitosan nanoparticles: a stable, biocompatible preparation for bio-imaging. *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*.
- Gil-Díaz, M., Pérez, R. A., Alonso, J., Miguel, E., Díez-Pascual, S., y Lobo, M. C. (2022). Iron Nanoparticles To Recover A Co-Contaminated Soil With Cr And Pcb's. *Scientific Reports*, 12(1), 1-14. Doi: 10.1038/S41598-022-07558-W
- Głąb, T., Gondek, K., y Mierzwa–Hersztek, M. (2021). Biological Effects Of Biochar And Zeolite Used For Remediation Of Soil Contaminated With Toxic Heavy Metals. *Scientific Reports*, 11(1), 1-11. Doi: 10.1038/S41598-021-86446-1
- Głąb, T., K. Gondek Y M. Mierzwa–Hersztek 2021. "Biological Effects Of Biochar And Zeolite Used For Remediation Of Soil Contaminated With Toxic Heavy Metals." *Scientific Reports* 11: 1-11.
- Gómez-Garzón, M. (2018). Nanomateriales, nanopartículas y síntesis verde. *Revista Repertorio de Medicina y Cirugía*, 27(2).
- González-Muñoz, Y., Palomino-Camargo, C., Pérez-Sira, E., y Aguilar, V. H. (2018). Aplicaciones y tendencias futuras de la consulta de expertos en el sector de los alimentos: generalidades de la metodología delphi applications and future trends of the consultation of experts in the food sector. *Actualización en nutrición*, 19(2), 55-68.
- Guerra, F. D., Attia, M. F., Alexis, F., y Whitehead, D. C. (2018). Nanotechnology For Environmental Remediation: Materials And Applications. *Molecules*, 23(7), 1760. Doi: 10.3390/Molecules23071760
- Gupta, S., Kishore, A., Alvi, M. F., y Singh, V. (2020). Designing Better Input Support Programs: Lessons From Zinc Subsidies In Andhra Pradesh, India. *Plos ONE*, 15(12), 1-18. Doi: 10.1371/Journal.Pone.0242161
- Hawthorne, J. D.-T. (2015). Particle-size dependent accumulation and trophic transfer of cerium oxide through a terrestrial food chain. *Environmental science and technology*.
- Hernández, D. (2022). Utilización de la nanotecnología En el Desarrollo de Fertilizantes Orgánicos y Pesticidas. *International Journal of Science and Society*, 4(1), 26-35.
- Hernández, M. A. C., de Jesus, E. R., Quevedo, A. N., Flores, M. D. J. P., Martínez, E. S. J., Téllez, L. I. T., y Méndez, M. A. A. (2020). Elaboración De Nanopartículas Con Nitrógeno A Base De Urea Para Uso Agrícola. *Agrociencia*, 54(8), 1031-1041.

- Invernizzi, N., y Foladori, G. (2005). El despegue de las nanotecnologías. *CIENCIA ergo-sum*, 12(3), 321-327.
- Kanwar, R., J. Rathee, D. B. Salunke y S. K. Mehta 2019. "Green nanotechnology-Driven drug delivery assemblies." *ACS Omega* 3: 8804-8815.
- Karthikeyan, R., Thavaprakash, N., y Bharathi, C. (2021). Effect of Zinc Fertilization on Physiological Parameters, Nutrient Uptake, Yield and Economics of Babycorn. *Madras Agricultural Journal*, 108(june (4-6)), 1.
- Kihara, J., Bolo, P., Kinyua, M., Rurinda, J., y Piikki, K. (2020). Micronutrient Deficiencies In African Soils And The Human Nutritional Nexus: Opportunities With Staple Crops. *Environmental Geochemistry and Health*, 42(9), 3015-3033. Doi: 10.1007/S10653-019-00499-W
- Koroleva, M. Y., Karakatenko, E. Y., y Yurtov, E. V. (2020). Synthesis Of Hydroxyapatite Nanoparticles By Controlled Precipitation In The Presence Of Sodium Dodecyl Sulfate. *Colloid Journal*, 82(3), 275-283. Doi: 10.1134/S1061933x20030059
- Lau, E. Z., Frederick, S., y Foladori, G. (2014). Twelve years of nanoscience and nanotechnology publications in Mexico. *Journal of nanoparticle research*, 16, 1-10.
- Li, X., Yu, X., Liu, L., y Yang, J. (2021). Cyclic Drying And Wetting Tests On Combined Remediation Of Chromium-Contaminated Soil By Calcium Polysulfide, Synthetic Zeolite And Cement. *Scientific Reports*, 11(1), 1-13. Doi: 10.1038/S41598-021-91282-4
- Li, Y., Gong, H., Li, S., y Zhang, Y. (2020). Ecological Stoichiometry Homeostasis Of Six Microelements In *Leymus Chinensis* Growing In Soda Saline-Alkali Soil. *Sustainability (2071-1050)*, 12(10), 4226. Doi: 10.3390/Su12104226
- Liang, S.-X., Xi, X., Ding, L., Chen, Q., y Liu, W. (2019). Immobilization Mechanism Of Nano-Hydroxyapatite On Lead In The Ryegrass Rhizosphere Soil Under Root Confinement. *Bulletin Of Environmental Contamination and Toxicology*, 103(2), 330-335. Doi: 10.1007/S00128-019-02665-3
- Linley, S., y Thomson, N. R. (2021). Environmental Applications Of Nanotechnology: Nano-Enabled Remediation Processes In Water, Soil And Air Treatment. *Water, Air and Soil Pollution*, 232(2), 1-50. Doi: 10.1007/S11270-021-04985-9
- Lira Saldivar, R. H., Méndez Argüello, B., Santos Villarreal, G. D. L., y Vera Reyes, I. (2018). Potencial de la nanotecnología en la agricultura. *Acta universitaria*, 28(2), 9-24.
- Liu, Z., Cao, S., Sun, Z., Wang, H., Qu, S., Lei, N., . . . Dong, Q. (2021). Tillage Effects On Soil Properties And Crop Yield After Land Reclamation. *Scientific Reports*, 11(1), 1-12. Doi: 10.1038/S41598-021-84191-Z
- Lopes, J. I., Arrobas, M., Brito, C., Gonçalves, A., Silva, E., Martins, S., . . . Correia, C. M. (2020). Mycorrhizal Fungi Were More Effective Than Zeolites In Increasing The Growth Of Non-Irrigated Young Olive Trees. *Sustainability (2071-1050)*, 12(24), 10630-10630. Doi: 10.3390/Su122410630

- López-Moreno, M. A.-M. (2016). Effect of cobalt ferrite (CoFe₂O₄) nanoparticles on the growth and development of *Lycopersicon lycopersicum* (tomato plants). *Science of the Total Environment*.
- Madzokere, T. C., Murombo, L. T., y Chiririwa, H. (2021). Nano-based slow releasing fertilizers for enhanced agricultural productivity. *Materials Today: Proceedings*, 45, 3709-3715.
- Maghsoodi, M. R., Najafi, N., Reyhanitabar, A., y Oustan, S. (2020). Hydroxyapatite nanorods, hydrochar, biochar, and zeolite for controlled-release urea fertilizers. *Geoderma*, 379, 114644.
- Márquez Alvarado, A. M. (2020). Evaluación del porcentaje de retención de nanopartículas de plata en suelo de palma de aceite, mediante la combinación de técnicas de descontaminación.
- Masahiko, K., Risky, E., y Takeshi, S. (2017). Immobilization Of Lead Migrating From Contaminated Soil In Rhizosphere Soil Of Barley (*Hordeum Vulgare* L.) And Hairy Vetch (*Vicia Villosa*) Using Hydroxyapatite. *International Journal Of Environmental Research and Public Health*, 14(10), 1273. Doi: 10.3390/ijerph14101273
- Mejía de Tafur, M. S., y Menjivar Flores, J. C. (2010). Nutrición mineral de arroz. Producción eco-eficiente del arroz en América Latina. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, CO. p. 306-335. (Publicación CIAT no. 365).
- Melendres, A. I., Zermeño, A., Ramírez, H., Cárdenas, J. O., y Cadena, M. (2017). Eficiencia Del Uso Del Agua De Un Viñedo Y Su Relación Con Porosidad Del Suelo. *Water Use Efficiency In A Vineyard And Its Relationship With Soil Porosity.*, 8(5), 57-70. Doi: 10.24850/J-Tyca-2017-05-04
- Miguel-Rojas, C., y de Luque, A. P. (2020) Nanofertilizantes para cereales: situación actual y perspectivas futuras.
- Mohajerani, A., Burnett, L., Smith, J. V., Kurmus, H., Milas, J., Arulrajah, A., . . . Abdul Kadir, A. (2019). Nanoparticles In Construction Materials And Other Applications, And Implications Of Nanoparticle Use. *Materials (1996-1944)*, 12(19), 3052-3052. Doi: 10.3390/Ma12193052
- Montoya-Jasso, V. M., Ordaz-Chaparro, V. M., Benedicto-Valdés, G. S., Ruiz-Bello, A., & Arreola-Tostado, J. M. (2021). Caracterización química y física de sustratos enriquecidos con minerales y composta. *Terra Latinoamericana*, 39.
- Morais, E. G. D., Silva, C. A., y Jindo, K. (2021). Humic Acid Improves Zn Fertilization In Oxisols Successively Cultivated With Maize–Brachiaria. *Molecules*, 26(15), 4588-4588. Doi: 10.3390/Molecules26154588
- Mystrioti, C., Mpouras, T., Papassiopi, N., y Dermatas, D. (2021). Chromium Removal Using Soil Loaded With Green Iron Nanoparticles. *Bulletin Of Environmental Contamination and Toxicology*, 106(3), 453-457. Doi: 10.1007/S00128-020-02969-9
- Nano-futuro. (2023). ¿Cómo ver el mundo nano?. Consulta: 10 Abril 2023. Disponible en: <https://nanocienciainforma.wordpress.com/como-ver-el-mundo-nano/>
- Niu, G., Wang, R., Hasi, M., Wang, Y., Geng, Q., Wang, C., . . . Huang, J. (2021). Availability Of Soil Base Cations And Micronutrients Along Soil Profile After

- 13-Year Nitrogen And Water Addition In A Semi-Arid Grassland. *Biogeochemistry*, 152(2/3), 223-236. Doi: 10.1007/S10533-020-00749-5
- Pabodha, D., Abeywardana, L., Sandaruwan, C., Herath, L., y Priyadarshana, G. (2022). Urea-Hydroxyapatite-Polymer Nanohybrids as Seed Coatings for Enhanced Germination. *Vidyodaya Journal of Science*, 25(01).
- Parikhani, R. S., H. Sadighi Y M. Bijani 2018. "Ecological Consequences Of Nanotechnology In Agriculture: Researchers' Perspective." *Journal Of Agricultural Science and Technology* 20: 205-219.
- Paris, J. O., Gontijo, I., Partelli, F. L., y Facco, A. G. (2020). Variability And Spatial Correlation Of Soil Micronutrients And Organic Matter With Macadamia Nut Production. *Variabilidade E Correlação Espacial De Matéria Orgânica E Micronutrientes Do Solo Com Produtividade Da Macadâmia.*, 24(1), 31-36. Doi: 10.1590/1807-1929/Agriambi.V24n1p31-36
- Paul, R. A. I., Dhivyadharsini, D., y Mathivadhana, K. S. (2021). Rehabilitation Of Heavy Metal Contamination And Soil Erosion Through Integrated Management. *Agricultural Reviews*, 42(3), 300-307. Doi: 10.18805/Ag.R-2052
- Penagos, J. I. C. (2013). Caracterización de materiales a través de medidas de microscopía electrónica de barrido (SEM). *Elementos*, 3(3), 133-146.
- Peña, M. Y., Casierra-Posada, F. A. N. O. R., y Monsalve, O. I. (2013). Producción hidropónica de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en cascarilla de arroz mezclada con materiales minerales y orgánicos. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 7(2), 217-227.
- Peña, R., y Cruz, A. (2020). Aplicación de bioestimulantes con microelementos en el cultivo de maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg.): Rendimiento, calidad y rentabilidad económica. *Manglar*, 17(1), 39-46.
- Peñalozza, L., y Robertson, D. (2021). Avances de las nanotecnologías como parte de una nueva plataforma tecnológica con capacidad para mejorar los métodos de tratamiento de aguas residuales.
- Pérez-Cutillas, P., Barberá, G. G., y Conesa-García, C. (2018). Effects Of The Texture And Organic Matter Values In The Estimation Of The Soil Water Content At A Regional Scale. *Efectos De La Textura Y La Materia Orgánica En La Estimación Del Contenido De Agua En El Suelo A Escala Regional.*, 44(2), 697-718. Doi: 10.18172/Cig.3484
- Pérez-De-Luque, A. 2020. "Guest Edited Collection: Nanotechnology In Agriculture." *Scientific Reports* 10: N.Pag-N.Pag.
- Prasad, R., y Shivay, Y. S. (2021). Phosphorus x Other Plant Nutrient Interactions, Reaction Products, Anion Exchange And Phosphate Fixation In Soil And Strategies To Increase Availability Of The Native And Applied P To Crop Plants-A Mini Review And Critique. *Agricultural Reviews*, 42(2), 220-224. Doi: 10.18805/Ag.R-2028
- Quazi, M. Z., y Park, N. (2022). Nanohydrogels: Advanced Polymeric Nanomaterials In The Era Of Nanotechnology For Robust Functionalization And Cumulative Applications. *International Journal Of Molecular Sciences*, 23(4), 1943. Doi: 10.3390/Ijms23041943
- Quimica.es (2023). Perlita mineral. Consulta: 17 Abril 2023. Disponible en: https://www.quimica.es/enciclopedia/Perlita_%28mineral%29.html

- Rameshaiah, G. N., Pallavi, J., y Shabnam, S. (2015). Nano fertilizers and nano sensors-an attempt for developing smart agriculture. *International Journal of Engineering Research and General Science*, 314-320.
- Rashid, M. I., Shahzad, T., Shahid, M., Imran, M., Dhavamani, J., Ismail, I. M. I., . . . Almeelbi, T. (2017). Toxicity Of Iron Oxide Nanoparticles To Grass Litter Decomposition In A Sandy Soil. *Scientific Reports*, 41965. Doi: 10.1038/Srep41965
- Rashmi, C. M., Prakash, S. S., y Giridhar, B. N. (2021). Effect of urea modified hydroxyapatite (UHA) Nano fertilizer on uptake of nitrogen, phosphorus and potassium by tomato.
- Ricardo, H. L. S., Arguello, B. M., Reyes, I. V., y Gladys, D. L. S. V. (2016). Potencial de la nanotecnología para el desarrollo de la agricultura sustentable.
- Richardson, J. B., y Chase, J. K. (2021). Transfer Of Macronutrients, Micronutrients, And Toxic Elements From Soil To Grapes To White Wines In Uncontaminated Vineyards. *International Journal Of Environmental Research and Public Health*, 18(24), 13271-13271. Doi: 10.3390/Ijerph182413271
- Salas-Cruz L., Foroughbackhch P.R., Díaz J.L., Hernández P.J., Carrillo P.A. y Cárdenas A.M. (2014). Seed and seedling survival of six cacti species using natural zeolite as substrate. *Int. J. Curr. Res. Acad. Rev.* 2: 81-9.
- Salcido-Martínez, A., E. Sánchez, L. P. Licón-Trillo, S. Pérez-Álvarez, A. Palacio-Márquez, N. I. Amaya-Olivas Y P. Preciado-Rangel 2020. "Impact Of The Foliar Application Of Magnesium Nanofertilizer On Physiological And Biochemical Parameters And Yield In Green Beans." *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 48: 2167-2181.
- Saldivar, R. H. L. (2018). Potencial de la nanotecnología en la agricultura sustentable.
- Savenko, A. V., y Savenko, V. S. (2019). Effect Of Natural Organic Acids On Mobilization Of Macro- And Microelements From Rocks. *Doklady Earth Sciences*, 485(1), 331-335. Doi: 10.1134/S1028334x19030334
- Schaming, D., y Remita, H. (2015). Nanotechnology: From The Ancient Time To Nowadays. *Foundations Of Chemistry*, 17(3), 187-205. Doi: 10.1007/S10698-015-9235-Y
- Senchenko, M., Stepanova, M., Pozdnyakova, V., y Olenchuk, E. (2021). Migration Of Microelements And Heavy Metals In The System «Soil - Plant - Plant-Based Products». *Journal Of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 10(6), 1-6. Doi: 10.15414/Jmbfs.3169
- Serrato Mireles, I. E. (2018). Nanopartículas de carbono en la fitorremediación de suelo contaminado con cobre, por Brassica juncea.
- Shahana, R. Y., y Ganapathy, D. (2020). Applications Of Nanotechnology In Dentistry. *Drug Invention Today*, 14(5), 681-686.
- Shang, Q., Feng, S., y Zheng, H. (2006). Preparation of abamectin-nanocapsules suspension concentrate. *PESTICIDES-SHENYANG-*, 45(12), 831.
- Sharma, J. (2019). Nanoremediation. *International Journal Of Life Sciences and Technology*, 12(1), 1-6. Doi: 10.5281/Zenodo.3365626

- Shiva, V. (2016). *The violence of the green revolution: Third world agriculture, ecology, and politics*. EEUU: University Press of Kentucky.
- Shukla, A. K., Behera, S. K., Singh, V. K., Prakash, C., Sachan, A. K., Dhaliwal, S. S., . . . Trivedi, V. (2020). Pre-Monsoon Spatial Distribution Of Available Micronutrients And Sulphur In Surface Soils And Their Management Zones In Indian Indo-Gangetic Plain. *Plos ONE*, 15(6), 1-23. Doi: 10.1371/Journal.Pone.0234053
- Sibri Albarracín, V. N. (2022). *Aplicaciones de la nanotecnología para el envasado de alimentos* (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología. Carrera de Ingeniería en Alimentos).
- Silva, B. J. B., Sousa, L. V., Sarmento, L. R. A., Melo, A. C. S., Silva, D. S., Quintela, P. H. L., . . . Silva, A. O. S. (2022). Effect Of Coke Deposition Over Microporous And Hierarchical Zsm-23 Zeolite. *Journal Of Thermal Analysis and Calorimetry*, 147(4), 3161-3170. Doi: 10.1007/S10973-021-10740-3
- Silva, R. M., Abreu, A. A., Salvador, A. F., Alves, M. M., Neves, I. C., y Pereira, M. A. (2021). Zeolite Addition To Improve Biohydrogen Production From Dark Fermentation Of C5/C6-Sugars And Sargassum Sp. Biomass. *Scientific Reports*, 11(1), 1-14. Doi: 10.1038/S41598-021-95615-1
- Sindesi, O. A., Lewu, M. N., Ncube, B., Mulidzi, R., y Lewu, F. B. (2021). Mineral Composition Of Potted Cabbage (Brassica Oleracea Var. Capitata L.) Grown In Zeolite Amended Sandy Soil. *Agriculture / Pol'nohospodárstvo*, 67(3), 103-112. Doi: 10.2478/Agri-2021-0010
- Singh, A. K., Lal, M., Singh, S. P., Khan, A. A., Singh, S. P., y Tiwari, A. K. (2015). Scope of nanotechnology in future agriculture-an overview. *Agrica*, 3(1and2), 1-13.
- Soca, M., y Lorente, E. (2015). efecto de las zeolitas naturales y activadas en la producción de tomate. *criobanco: su importancia para la conservación a largo plazo en los bancos de germoplasma. cryobank: their importance for preservation to long time in th e germplasm bank.*, 39(1).
- Startsev, A. N. (2019). Diatomic Sulfur: A Mysterious Molecule. *Journal Of Sulfur Chemistry*, 40(4), 435-450. Doi: 10.1080/17415993.2019.1588273
- Stefan, D. S., Bosomoiu, M., Dancila, A. M., y Stefan, M. (2022). Review Of Soil Quality Improvement Using Biopolymers From Leather Waste. *Polymers* (20734360), 14(9), 1928-1928. Doi: 10.3390/Polym14091928
- Sun, C. S. (2014). Encapsulation and controlled release of hydrophilic pesticide in shell cross-linked nanocapsules containing aqueous core. *International Journal of Pharmaceutics*.
- Szterner, P., y Biernat, M. (2022). The Synthesis Of Hydroxyapatite By Hydrothermal Process With Calcium Lactate Pentahydrate: The Effect Of Reagent Concentrations, Ph, Temperature, And Pressure. *Bioinorganic Chemistry and Applications*, 1-13. Doi: 10.1155/2022/3481677
- Thangavelu, L., Adil, A. H., Arshad, S., Devaraj, E., Mallineni, S. K., Sajja, R., . . . Karobari, M. I. (2021). Antimicrobial Properties Of Silver Nitrate Nanoparticle And Its Application In Endodontics And Dentistry: A Review Of Literature. *Journal Of Nanomaterials*, 1-12. Doi: 10.1155/2021/9132714

- Thapa, S., Bhandari, A., Ghimire, R., Xue, Q., Kidwaro, F., Ghatrehsamani, S., . . . Goodwin, M. (2021). Managing Micronutrients For Improving Soil Fertility, Health, And Soybean Yield. *Sustainability* (2071-1050), 13(21), 11766. Doi: 10.3390/Su132111766
- Thomé, A., De Souza, T. O., Thomé, G. C. H., y Reginatto, C. (2020). Phytotoxic Effect On Corn And Soybean Due Addition Of Nanoiron To The Soil. *Water, Air and Soil Pollution*, 231(1), 1-10. Doi: 10.1007/S11270-019-4384-6
- Toader, G., Chiurciu, V., Filip, V., Chițonu, P., Maierian, N., Burnichi, Filie, L. (2020). Bacterial Biopreparations - A "Green Revolution" For Agriculture. *Research Journal Of Agricultural Science*, 52(3), 198-205.
- Ubaid, K. A., Zhang, X., Sharma, V. K., y Li, L. (2020). Fate And Risk Of Metal Sulfide Nanoparticles In The Environment. *Environmental Chemistry Letters*, 18(1), 97-111. Doi: 10.1007/S10311-019-00920-X
- Unnikrishnan, G., y Vijayaraghavan, R. (2019). Utilization Of Liquid Fertilizers For Agro-Industrial Waste Management And Reducing Challenges Through Nano-Encapsulation-A Review. *Indian Journal Of Agricultural Research*, 53(6), 641-645. Doi: 10.18805/Ijare.R-1898
- Urrejola, M. C., Soto, L. V., Zumarán, C. C., Peñaloza, J. P., Álvarez, B., Fuentevilla, I., y Haidar, Z. S. (2018). Sistemas de nanopartículas poliméricas II: estructura, métodos de elaboración, características, propiedades, biofuncionalización y tecnologías de auto-ensamblaje capa por capa (layer-by-layer self-assembly). *International Journal of Morphology*, 36(4), 1463-1471.
- Verdenelli, R. A., Chavarría, D., Dominchin, M. F., Rovea, A., Vargas-Gil, S., y Meriles, J. M. (2018). Influence of 12-years of nps fertilization on soil quality, microbial community profile and activity under conservation agricultural management. *Influencia de 12 años de fertilización nps sobre la calidad del suelo, perfil y actividad de las comunidades microbianas bajo un sistema agrícola conservacionista.*, 36(1), 99-109.
- Vinothini, R., y Baskar, M. (2019). Effect of amendments, zinc solubilizing bacteria and zinc sulphate on physicochemical properties and zinc availability in sodic soil. *Madras Agricultural Journal*, 106(10/12), 652-656.
- Vorobkalo, V. A., Knyazeva, E. E., y Ivanova, I. I. (2021). Mel Zeolites: Synthesis, Properties, And Catalytic Applications. *Petroleum Chemistry*, 61(3), 299-324. Doi: 10.1134/S0965544121030099.
- Vunduk J., Klaus A., Kozarski M., Đorđević R., Jovanović L. y Nikšić M. (2014). Zeolites as possible biofortifiers in maitake cultivation. *Archives of Biological Sciences* 66: 123-129.
- Wang, L. y X. Liu 2019. "Sustained release technology and its application in environmental remediation: A review." *International journal of environmental research and public health* 16: 2153.
- Weather Spark. (2023). El clima y el tiempo promedio en todo el año en Torreón México. Consulta: 23 Abril 2023. Disponible en: <https://es.weatherspark.com/y/3986/Clima-promedio-en-Torre%C3%B3n-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o>

- Xiaoja, H., D. Hua Y H. Huey-Min 2019. "The Current Application Of Nanotechnology In Food And Agriculture." *Journal Of Food and Drug Analysis* 27: 1-21.
- Xu, L., Xing, X., Zhu, Z., Cui, H., Peng, J., Li, D., . . . Zhou, J. (2021). Effects Of Different Particle Sizes Of Hydroxyapatite On The Distribution And Migration Of Trace Elements (Copper And Cadmium) In A Smelter-Impacted Soil. *Bioinorganic Chemistry and Applications*, 1-10. Doi: 10.1155/2021/2412646
- Yadav, S. K., Dudwal, B. L., Yadav, V. L., Sarita, Yadav, K. C., y Yadav, J. K. (2021). Effect Of Moisture Conservation Practices And Zinc Fertilization On Nutrient Status And Quality Of Pearlmillet *Pennisetum Glaucum* (L.) Under Rainfed Condition. *Indian Journal Of Agricultural Research*, 55(5), 629-633. Doi: 10.18805/ljare.A-5499
- Younis, M., Muhammad, A., Alam, S., y Jalal, A. (2020). Sulphur Doses And Application Times On Yield And Oil Quality Of Canola Grown In Calcareous Soil. *Dosis De Azufre Y Tiempos De Aplicación En El Rendimiento Y La Calidad Del Aceite De Canola Cultivada En Suelo Calcáreo.*, 71(1), 1-8. Doi: 10.3989/Gya.1176182
- Yuvaraj, M., y Subramanian, K. S. (2021). Carbon Sphere-Zinc Sulphate Nanohybrids For Smart Delivery Of Zinc In Rice (*Oryza Sativa* L). *Scientific Reports*, 11(1), 1-13. Doi: 10.1038/S41598-021-89092-9
- Zamora, A., Ramos, J., y Arias, M. (2012). Efecto de la contaminación por hidrocarburos sobre algunas propiedades químicas y microbiológicas de un suelo de sabana. *Bioagro*, 24(1), 5-12.
- Zanella, R. (2012). Metodologías para la síntesis de nanopartículas: controlando forma y tamaño. *Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología*, 5(1), 69-81.
- Zhang, y., J. Li, M. Soleimani, F. Giacomini, H. Friedrich, R. Truckenmüller y P. Habibovic 2021. "Biodegradable Elastic Sponge from Nanofibrous Biphasic Calcium Phosphate Ceramic as an Advanced Material for Regenerative Medicine." *Advance Funcional Materials* 31.