

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
PROGRAMA DOCENTE DE LA CARRERA DE
INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA



Efecto de los complejos de nanopartículas de quitosán-molibdeno en el cultivo del
maíz

Por:

LEONARDO AZRIEL CAMPOS GOYCOECHEA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
PROGRAMA DOCENTE DE LA CARRERA DE
INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Efecto de los complejos de nanopartículas de quitosán-molibdeno en el cultivo del
maíz

Por:

LEONARDO AZRIEL CAMPOS GOYCOECHEA

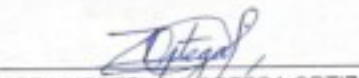
TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

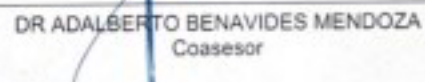
INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

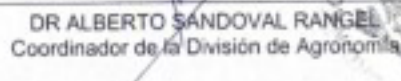
Aprobada por el Comité Asesor:



DR. MARCELINO CABRERA DE LA FUENTE
Asesor Principal

DRA HORTENSIA ORTEGA ORTIZ
Asesor Principal Externo

DRA ROCIO MARICELA PERALTA MANJARREZ
Coasesor

DR ADALBERTO BENAVIDES MENDOZA
Coasesor

DR ALBERTO SANDOVAL RANGEL
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México
Marzo 2026

DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

Saltillo, Coahuila, a 25 marzo del 2026.

El autor que es responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citar; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior nos responsabilizamos de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaramos que este trabajo es original.

Autor principal

Leonardo Campos

Leonardo Azriel Campos Goycoechea

Asesor principal

Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente

Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente

AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, por brindarme una formación académica y humana que hoy me permiten avanzar con convicción en mi desarrollo como profesionista.

Al **Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA)**, por su apoyo a través del proyecto interno No. 6772.

A la **Dra. Hortensia Ortega Ortiz**, por su apoyo en todo momento con el proyecto y su dedicación durante el desarrollo de la tesis, gracias por su tiempo y paciencia.

Al **Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente**, por sus enseñanzas en su clase por sus conocimientos y valiosas recomendaciones fueron fundamentales para la tesis y darle las gracias por permítame trabajar con usted y por darme el espacio para seguir aprendiendo.

Al **Dr. Adalberto Benavides**, por sus enseñanzas en la clase de bioestimulante ya que fue de gran apoyo para la comprensión y realización de la tesis.

A la **MC. Fabiola Yaneth Castellanos Padilla** por su valioso apoyo y enseñanza en la síntesis de las nanopartículas de quitosán y quitosán-molibdeno durante mi estancia en el CIQA.

Al **Dr. Eduardo Alfonso Treviño López** por su apoyo en el establecimiento y seguimiento del proyecto en campo; así como sus enseñanzas en el análisis de datos.

Al **LCQ Jesús Alejandro Espinosa Muñoz** del laboratorio de caracterización de Materiales del CIQA, por su asistencia técnica en la determinación de minerales mediante espectroscopía ICP.

A **todos mis profesores**, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todos mis profesores, quienes a lo largo de mi formación académica han compartido sus conocimientos, experiencias y valores. Su dedicación, paciencia y compromiso han sido fundamentales en mi desarrollo profesional y personal.

DEDICATORIA

A mis padres: por su apoyo, amor y sacrificio en cada momento de mi vida, a ustedes que me han alentado a seguir y luchar por mis objetivos, sin dejarme olvidar de dónde vengo. Gracias a ustedes es que he logrado llegar aquí y convertirme en la persona que soy ahora, este logro es por y para ustedes.

A mi papá Ángel Campos que gracias a su apoyo y su esfuerzo que nunca me faltó nada en la universidad y que siempre me apoyo en mis decisiones y ser un ejemplo a seguir en mi vida para así poder superarlo y enseñarme que las cosas se ganan con esfuerzo.

A mi madre Karina Marlen que siempre me apoyo en toda la carrera y seguir apoyándome y por siempre ser una buena madre y seguir apoyándome en las cosas buenas y malas y enseñarme que nunca debemos rendirnos, aunque las cosas se vean malas.

A mis hermanos Kaebi y Fernanda que siempre han estado para mí y ser unas buenas personas, gracias por su apoyo constante, por su compañía y por motivarme a seguir adelante

A Allison Cuevas que siempre confió en mí y le agradezco y darle las gracias por su amor, paciencia y apoyo incondicional durante este proceso. Gracias por escucharme, motivarme y recordarme siempre que podía lograrlo.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS

DEDICATORIA

CONTENIDO

I

ÍNDICE DE TABLAS

III

ÍNDICE DE FIGURAS

III

RESUMEN

IV

ABSTRACT

V

I. ¡Error! Marcador no definido.

1.1. O¡Error! Marcador no definido.

1.2. Objetivos Específicos 2

1.3. Hipotesis 2

II. ¡Error! Marcador no definido.

2.1 Antecedentes del cultivo de maíz 4

2.2 Descripción Botánica 5

2.3 Producción mundial y nacional del maíz 6

2.4 El quitosán como bioestimulante de cultivos 7

2.5 Función del molibdeno en las plantas 8

2.6 La nanotecnología en la agricultura 9

2.7 Nanopartículas de quitosán-molibdeno (NPsCS-Mo) 10

2.8 Dosis y etapas de aplicación de las NPsCS y de NPsCS-Mo 11

III. ¡Error! Marcador no definido.

3.1 Síntesis de nanopartículas de quitosán-molibdeno 13

3.2 Ubicación y climatología del lugar del experimento 13

3.4 Manejo agronómico del cultivo 14

3.5 Manejo fitosanitario 15

3.6 Tratamientos evaluados 15

3.7 Variables morfológicas determinadas 16

3.8 Evaluación de variables bioquímicas 18

3.9 Diseño experimental 21

3.10 Análisis estadístico de datos 21

IV. ¡Error! Marcador no definido.

4.1. Análisis morfológicos	22
4.2. Análisis Bioquímicos	31
4.3. Rendimiento	35

V. ¡Error! Marcador no definido.

VI. ¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tratamientos	16
Tabla 2. Fechas de la aplicación de tratamientos y volumen de gasto	16
Tabla 3. Variables morfológicas de plántulas de maíz tratadas NPsCS Y NPsCS-Mo a los 50 días después de la siembra (DDS)	22

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efecto de la aplicación foliar de las nanopartículas de quitosán con molibdeno en maíz en la variable diámetro de tallo	23
Figura 2. Efecto de la aplicación foliar de las nanopartículas de quitosán con molibdeno en plantas de maíz en la variable altura de la planta	24
Figura 3. Efecto de la aplicación foliar de las nanopartículas de quitosán con molibdeno en plantas de maíz en la variable número de hojas.....	25
Figura 4. Efecto de la aplicación foliar de las nanopartículas de quitosán con molibdeno en plantas de maíz en la variable de área foliar	26
Figura 5. Efecto de la aplicación foliar de las nanopartículas de quitosán con molibdeno en plantas de maíz en la variable peso fresco del fruto (elote)	27
Figura 6. Efecto de la aplicación foliar de las nanopartículas de quitosán con molibdeno en plantas de maíz en la variable peso fresco del tallo	28
Figura 7. Efecto de la aplicación foliar de las nanopartículas de quitosán con molibdeno en plantas de maíz en la variable peso seco del tallo	29
Figura 8. Efecto de la aplicación foliar de las nanopartículas de quitosán con molibdeno en plantas de maíz en la variable peso fresco de hojas	30
Figura 9. Peso seco de hojas en plantas de maíz tratadas con nanopartículas de quitosán con molibdeno	31
Figura 10. Efecto de la aplicación foliar de las nanopartículas de quitosán con molibdeno en plantas de maíz en la variable de vitamina C en el grano	32

Figura 11. Efecto de la aplicación foliar de las nanopartículas de quitosán con molibdeno en plantas de maíz en la variable de proteínas en el grano del elote....33

Figura 12. Efecto de la aplicación foliar de las nanopartículas de quitosán con molibdeno en maíz en la variable de unidades SPAD 34

Figura 13. Contenido de sólidos solubles en plantas de maíz tratadas con nanopartículas de quitosán -molibdeno por vía foliar. 35

Figura 14. Rendimiento de maíz (t/ha) por la aplicación foliar de las nanopartículas de quitosán con molibdeno 36

RESUMEN

En este estudio se evaluó el efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de quitosán con molibdeno (NPsCS-Mo) sobre las variables morfológicas y bioquímicas del cultivo de maíz (*Zea mays*). Los tratamientos evaluados constaron de un testigo absoluto (agua), un control de nanopartículas de quitosán (NPsCS) y nanopartículas de quitosán con molibdeno con diferentes concentraciones 1, 3, 6 ppm de molibdeno.

Los resultados obtenidos de las aplicaciones de NPsCS-Mo1 mejoraron significativamente el área foliar y el contenido de clorofila, en comparación con el testigo, también se observó que la aplicación de las NPsCS aumentaron la cantidad de proteínas en el grano del elote.

El rendimiento no se afecta por la aplicación de las NPsCS y los complejos de NPsCS-Mo, sólo disminuye cuando la cantidad de Mo es más alta (NPsCS-Mo6).

ABSTRACT

This study evaluated the effect of foliar application of chitosan nanoparticles with molybdenum (CSNPs-Mo) on the morphological and biochemical variables of maize (*Zea mays*). The treatments evaluated consisted of an absolute control (water), a control of chitosan nanoparticles (CSNPs), and chitosan nanoparticles with molybdenum at different concentrations: 1, 3, and 6 ppm of molybdenum.

The results obtained from the CSNPs-Mo1 applications significantly improved leaf area and chlorophyll content compared to the control. It was also observed that the application of CSNPs increased the amount of protein compared to the control.

Yield was not affected by the application of CSNPs and the CSNPs-Mo complexes; it only decreased when the amount of Mo was higher (CSNPs-Mo6).

I. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays L.*) es considerado el cultivo agrícola más relevante en México, ya que constituye la principal fuente de alimento tanto para la población como para el ganado, además de ser materia prima para diversos productos industriales. Su siembra se realiza en la mayoría de las entidades del país y bajo una gran diversidad de condiciones climáticas (SIAP, 2019).

La nanotecnología se ha convertido en una herramienta innovadora en el sector agrícola, ya que ha hecho posible elaborar nuevas tácticas enfocadas en maximizar el crecimiento y desarrollo de las plantas, las nanopartículas tienen un gran potencial para mejorar la calidad de las frutas y verduras, aumentar la vida de anaquel después del corte y potenciar la productividad en el sector agrícola. (Liria-Saldivar *et al.*,2018)

El quitosán es un biopolímero natural que se obtiene a partir de la quitina que es el principal componente de los exoesqueletos de los artrópodos, para su realización tiene un bajo costo de producción y contiene varias propiedades biológicas favorables como biocompatibilidad y baja alergenicidad. El quitosán es susceptible a la degradación y presenta baja toxicidad para los seres humanos, estas características antes mencionadas hacen que el quitosán sea muy útil para las industrias como la industria alimentaria, cosmética, medicina y farmacología. Malerba, M., & Cerana, R. (2016)

El uso de nanopartículas de quitosán se ha convertido en una alternativa para la agricultura moderna como un inductor de la biosíntesis de metabolitos secundarios (Ramirez-Rodriguez *et al.*,2023), las nanopartículas de quitosán tienen doble función que es como bioestimulante natural y agentes fitoprotectores.

Los bioestimulantes son compuestos o microorganismos que se aplican a las plantas con el propósito de mejorar su desarrollo, sin importar su aporte directo de

nutrientes. Su función principal es favorecer una mayor eficiencia en la absorción y uso de nutrientes, además de aumentar la capacidad de las plantas para tolerar condiciones de estrés tanto abiótico como biótico (Benavides, M. s.f.).

El molibdeno es un micronutriente esencial y un elemento químico traza (número atómico 42) que, aunque se requiere en cantidades muy pequeñas, cumple un papel fundamental en el metabolismo y crecimiento de plantas, animales y seres humanos. (EcuRed, s.f.).

En el presente proyecto de tesis se pretende estudiar el efecto de las nanopartículas de quitosán con el micronutriente molibdeno sobre la calidad del elote y la producción en el cultivo de maíz.

OBJETIVO GENERAL

Determinar el comportamiento productivo del maíz mediante la aplicación de nanopartículas de quitosán con molibdeno (NPsCS-Mo) a diferentes dosis de molibdeno.

Objetivos específicos

- Estudiar el efecto de la aplicación de nanopartículas de quitosán-molibdeno en las variables morfológicas y bioquímicas del maíz.
- Determinar el rendimiento en el cultivo de maíz tratado con nanopartículas de quitosán con molibdeno.

HIPÓTESIS

El comportamiento productivo del maíz mejorará en calidad y su rendimiento en función de la aplicación de las nanopartículas de quitosán-molibdeno (NPsCS) con diferentes dosis de molibdeno.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Antecedentes del Cultivo

Aunque existen muchas investigaciones sobre el origen del maíz, aún no hay total consenso sobre cómo surgió. Se sabe que fue una de las primeras plantas domesticadas en América hace entre 7,000 y 10,000 años. Las evidencias más antiguas provienen de cuevas en México, donde se encontraron mazorcas de más de 5,000 años (Paliwal L. R. 2001).

La mazorca del maíz es una estructura peculiar dentro de los cereales, motivo por el cual desentrañar su origen ha representado un desafío científico importante. Con el tiempo se han propuesto varias hipótesis para explicar su procedencia, entre ellas: la teoría que señala al teocintle como su antecesor, la teoría tripartita, la propuesta *Tripsacum-diploperennis*, así como los modelos multicéntrico y unicéntrico. De todas estas teorías, sólo tres han tenido mayor discusión, y en la actualidad la más respaldada es la que identifica al teocintle como el origen del maíz (Kato *et al.*, 2009).

En México, el maíz ocupa un lugar esencial, no sólo por ser el cultivo predominante, sino también porque constituye la base de la dieta nacional. Tan sólo el consumo anual de tortilla por habitante es de 86 kg, de acuerdo con la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares Gómez Pérez, V. (2019).. Debido a ello, gran parte del territorio agrícola se destina a este cultivo. En 2017, se registraron 21,590,574.60 hectáreas sembradas con 314 cultivos distintos, y más de un tercio de esta superficie (8,148,008.60 hectáreas) correspondió al maíz en sus diversas modalidades (forrajero, grano, palomero y semilla). A pesar de que la cosecha alcanzó 27,762,480.90 toneladas, persiste un déficit cercano a 10 millones de toneladas para cubrir la demanda nacional (SIAP, 2019).

2.2 Descripción Botánica

El maíz es una planta herbácea de la familia de las monocotiledóneas, también es una planta anual con un desarrollo rápido y de porte robusto, siendo uno de los alimentos de consumo básico en varias poblaciones. Becerra Moreno, J. L. (2023).

Se clasifica en:

Reino: Plantae División:

Magnoliophyta Clase: Liliopsida

Subclase: Commelinidae

Orden: Poales

Familia: Poáceas/Gramíneas

Género: Zea

Especie: mays

Nombre Científico: *Zea mays*

Raíces. Las raíces de la planta del maíz son fasciculadas y robustas, la función principal de las raíces es aportar los nutrientes y un anclaje perfecto a la planta, las raíces de la planta a veces forman nudos visibles justo sobre la superficie del suelo, especialmente en las raíces secundarias.

Tallos. El tallo del maíz sostiene las hojas, flores y frutos, y también se encarga de transportar agua y sales minerales desde la raíz hacia el resto de la planta. Está formado por una capa de haces vasculares, una epidermis protectora y una médula blanca y esponjosa.

Es un tallo simple, recto y sin ramas, que puede alcanzar hasta 4 metros de altura y cuyo aspecto recuerda al de una caña.

Hojas. Las hojas del maíz son largas, grandes y en forma de lanza. Crecen de manera alterna a lo largo del tallo, lo abrazan y tienen vellosidades en la parte superior. Sus puntas son muy afiladas y pueden llegar a ser cortantes.

Inflorescencia. La planta de maíz es de inflorescencia monoica posee flores masculinas y femeninas separados dentro de la misma planta. La flor masculina presenta una forma paniculada y se encuentra en la parte superior de la planta, con una cantidad elevada de granos de polen de 20 a 25 millones de granos. La flor femenina se encuentra en la parte media de la planta, cuenta con menos cantidad de granos de polen, alrededor de 800 a 1000 granos de polen. David Martinez, T. (2024).

Mazorca. La mazorca es compacta y está protegida por varias hojas modificadas que, en la mayoría de los casos, la cubren por completo.

2.3 Producción mundial y nacional del maíz

El maíz es uno de los cereales más consumidos mundialmente ya que es fundamental en el desarrollo agroindustrial a nivel global, el maíz es originario de mesoamérica, en la actualidad se cultiva en todos los continentes gracias a su adaptabilidad y resistencia a diferentes condiciones climáticas; así como a su extenso uso para la alimentación humana. (Departamento de Agricultura y Ganadería. (s. f.).

En el periodo comercial del año 2023 al 2024 el 75 % de la producción mundial de maíz fue principalmente en cinco países según la USDA: Estados Unidos, China, Brasil, Unión europea y Argentina. El que obtuvo el primer lugar en producción de maíz fue Estados Unidos con el 31.7 % con 389.7 millones de toneladas, el segundo lugar lo obtuvo China con 23.5 % con 289 millones de toneladas, tercer lugar lo obtuvo Brasil con 9.9 % con 132 millones de toneladas, cuarto lugar se encuentra la unión europea con 5% y en quinto lugar se encuentra Argentina con 4.3%. México obtuvo el séptimo lugar a nivel mundial en producción aportando el 1.9%. El maíz sigue siendo un cultivo estratégico para el comercio internacional gracias a la importancia económica y social. (FIRA, 2024)

La producción de maíz en México es de interés único económicamente, como cultural y en la vida cotidiana. Desde la antigüedad, el maíz ha sido la base alimentaria (de la alimentación) de millones de personas siendo, en la actualidad, un grano fundamental en la dieta mexicana, su cultivo varía en regiones y formas de producción las cuales abarcan desde parcelas familiares reducidas hasta sistemas agrícolas tecnificados (Departamento de Agricultura y Ganadería. s. f.).

El maíz se cultiva en todos los estados de México, durante el ciclo agrícola 2023 la producción nacional se agruparon en cinco estados de la república mexicana, el primer lugar lo obtuvo Sinaloa con 24.2 %; lo que representa una producción de 6.7 millones de toneladas con un rendimiento promedio de 12.32 toneladas por hectárea, el 98 % de la producción de maíz se cosechó en el ciclo otoño-invierno, el segundo lugar lo obtuvo Jalisco con 12.7%, tercer lugar lo obtuvo Michoacán 6.9

%, cuarto lugar el Estado de México con el 6.6 % y Guanajuato obtuvo el quinto lugar con 6.4 % (FIRA, 2024).

2.4 El quitosán como bioestimulante de cultivos

El quitosán es un biopolímero natural producido a partir de la quitina, es el segundo biopolímero más abundante en el planeta después de la celulosa. Para la obtención de la quitina existen varias fuentes de extracción, la quitina se puede extraer del exoesqueleto de los crustáceos, moluscos, insectos y algas, que provienen del reino animal, también podemos encontrarlo en el reino *fungi* que es la segunda población más grande donde podemos encontrar la quitina. Arroyo Galván, A. (2025).

La proporción de quitina extraída dependerá del organismo, en el exoesqueleto de los crustáceos podemos encontrar alrededor del 20 % al 30 % y en las paredes celulares de los hongos podemos encontrar del 2 % al 44 % de quitina. Arroyo Galván, A. (2025).

El quitosán puede ser obtenido por diferentes métodos, el método principal es el tratamiento químico que se realiza con desproteínización del organismo deseado, después sigue la desmineralización, decoloración y por último desacetilación de los exoesqueletos de los organismos deseados. Además de los beneficios del quitosán como bioestimulante es su bajo costo de producción contiene propiedades como biodegradabilidad, biocompatibilidad y no alergenicidad. Malerba, M., & Cerana, R. (2016)

El quitosán es un biopolímero natural, inocuo, biodegradable que ayuda a la planta a la fotosíntesis, al cierre estomático y mejora la actividad de las enzimas antioxidantes, también ayuda a la estimulación de síntesis de azúcares, ácidos orgánicos y otros metabolitos. (Reyes, 2020)

Los bioestimulantes son sustancias o microorganismos aplicados a las plantas, independientemente de su contenido de nutrientes, con el objetivo de aumentar la eficiencia de la nutrición y la tolerancia al estrés abiótico y biótico (Benavides, M. s.f.). , hoy en día los bioestimulantes desde un punto de vista funcional se clasifican en: ácidos húmicos y fúlvicos, hidrolizados de proteínas con péptidos, aminoácidos y otros compuestos con nitrógeno, extractos de algas y extractos de plantas, biopolímeros como el quitosán y oligómeros de celulosa, elementos benéficos y sus sales (Si, Se, Co, Na), hongos benéficos (micorrizas) y bacterias benéficas. Con el uso de bioestimulantes se espera que se disminuya el uso excesivo de pesticidas y aumente la eficiencia en el uso de fertilizantes. (Benavides, M. s.f.)

En investigaciones anteriores se encontró que el quitosán aumenta la respuesta de defensa al estrés abiótico (causado por factores ambientales) y biótico (causado por seres vivos) esto se debe que a la aplicación de quitosán se vio un aumento oxidativo con acumulación de peróxido de hidrógeno y esto puede encaminar a la provocación de enzimas de defensa de la planta y la integración de metabolitos secundarios, las especies que fueron investigadas fueron las siguientes: papaya, uva, girasol, tomate, orégano griego, uva, níspero, lechuga etc.. Malerba, M., & Cerana, R. (2016)

2.5 Función del molibdeno en las plantas

El molibdeno es un elemento esencial para el desarrollo de las plantas, es un elemento químico con número atómico 42, es un metal esencial desde el punto de vista biológico. . EcuRed.(s.f.).

La mayor parte del molibdeno presente en el suelo no es aprovechable por las plantas, se encuentra en la estructura de minerales primarios y secundarios o fijado como molibdato en las arcillas, el molibdeno se encuentra en la materia orgánica del suelo. (Alcántar-González *et al.*, 2016)

Existen algunos factores que regulan el aprovechamiento del molibdeno, el molibdeno se hace mayor al elevarse el pH, el contenido de fosfato aumenta la disponibilidad de Mo, el contenido de metales pesados como Cu, Zn, Mn, Ni en el suelo reducen la disponibilidad de molibdeno en el suelo, por otra parte, el tipo de cultivo puede mejorar o desfavorecer al Mo un ejemplo claro es el género *Brassica* (col, brócoli, coliflor, etc.) son sensibles a deficiencia de Mo. (Alcántar-González *et al.*, 2016)

El Mo tiene una función importante en el intercambio de nitrógeno en las plantas y microorganismos, el Mo ayuda a la fijación de nitrógeno por las bacterias nodulares (*Rhizobium*, *azotobacter*) fijadoras de nitrógeno, así mismo participa en el proceso de reducción de los nitratos en las células vegetales, la deficiencia de Mo retiene la formación de clorofila y disminuye la cantidad de ácido ascórbico. EcuRed.(s.f.).

2.6 La nanotecnología en la agricultura

Los orígenes de la nanotecnología se remontan en el año 1959 con el físico Richard Feynman el físico propuso una idea en una conferencia, su idea hablaba sobre manipular la materia del átomo por átomo, pero fue hasta 1974 donde se registró las primeras patentes relacionadas con dispositivos moleculares.

En 1986 el ingeniero Eric Drexler divulgó el concepto de nanotecnología en su libro “Los motores de la creación”. (Liria-Saldivar *et al.*, 2018)

En 1991 el Japonés Sumio Iijima anunció la existencia de nanopartículas, que después fueron llamadas nanotubos de carbono (Kodakovskaya *et al.*, 2013), estos nanotubos de carbono son usados actualmente en experimentos para el sector agrícola para la mejora de los cultivos, posteriormente en 2003 el departamento de agricultura de Estados Unidos (USDA) se habló de la aplicación de nanotecnología en la agricultura en la industria alimentaria. (Weiss *et al.*, 2006)

Las nanopartículas son materiales no ligados, naturales o artificiales, pegados con estructuras agregadas y aglomerados que poseen varias dimensiones externas de 1 y 100 nm. Diferentes investigaciones han demostrado que las nanopartículas

mejoran las funciones fisiológicas de las plantas. Las nanopartículas se desempeñan en la planta como transportadores de fertilizantes lo que permite la liberación de nutrientes gracias a sus pequeñas partículas. (Rubab, U. *et al.*,2025)

Algunos proyectos e investigación que las nanopartículas de cierto minerales son muy efectivas en la agricultura como las siguientes, las nanopartículas de fosfato de calcio con urea, aumenta la eficiencia nutricional de las plantas ayudando así a el productor y tener prácticas agrícolas sostenibles protegiendo la escorrentía, el empleo de nanopartículas de cobre , plata ayudan a tener una mejor germinación de las semillas y mejorando la tasa de crecimiento de los cultivos y aumentando la actividad fotosintética y algunos cultivos. (Rubab, U. *et al.*,2025)

En el injerto el uso de nanopartículas ayuda a tener una mejor capacidad de absorción de nutrientes, también nos ayuda a la unión del injerto estimulando la formación del callo y eliminación del estrés oxidativo provocando que la herida del injerto cierre más pronto, las nanopartículas de selenio y silicio promueve la salud de las plantas y aumentando el tamaño de las hojas en condiciones sequía. . (Rubab, U. *et al.*,2025)

2.7 Nanopartículas de Quitosán-Mo

Hoy en día la agricultura se ha centrado en la producción de alimentos de alta calidad y al mismo tiempo aumentar la producción de los cultivos al mismo tiempo cuidando su calidad aquí es donde entran las nuevas tecnologías, una de las nuevas tecnologías que han encontrado son los bioestimulantes y la nanotecnología. (Ingle, 2022)

En la revista científica Heliyon encontramos un artículo “nanopartículas de quitosán como promotor de crecimiento versátil en la agricultura moderna” que habla de una investigación sobre las nanopartículas de quitosán bajo estrés hídrico en plántulas de trigo, la investigación se realizó agregando 90 ppm de nanopartículas de quitosán en la etapa de plántula, las nanopartículas de quitosán se aplicaron de manera foliar,

la aplicación solo se realizó una vez, ya que concluyó el ciclo del trigo se realizaron varias mediciones para determinar si las nanopartículas hicieron efecto en la plántula de trigo, los resultados obtenidos fueron los siguientes, las plántulas aplicadas con nanopartículas de quitosán obtuvieron mayor área foliar, un aumento en el rendimiento comparado con el control y hubo mayor contenido relativo de agua. (Ingle, 2022)

Por otra parte, Ingle encontró que la aplicación foliar de nanopartículas de quitosán con una dosis de 90 ppm se puede disminuir el efecto desfavorable de la sequía en plántulas de trigo.

2.8 Dosis y etapas de aplicación de las NPsCS y NPsCS-Mo

En investigaciones enfocadas con nanopartículas de quitosán de óxido de zinc en melón utilizaron una dosis de 50 hasta 250 mg L⁻¹ siendo 200 mg L⁻¹ la dosis óptima para incrementar el rendimiento por otra parte la dosis intermedia de 50 a 100 mg L⁻¹ ayudaron a la acumulación de compuestos bioactivos. (Rivera-Gutiérrez *et al.*, 2021)

En estudios con aplicaciones de NPs de quitosano en cultivos hortícolas lechuga y tomate se analizó que la dosis de 0.2 a 0.8 mg L⁻¹ fueron las más efectivas para mejorar la concentración de compuestos bioactivos, firmeza, y rendimiento mientras las dosis altas de NPs de quitosano promovieron la síntesis de compuestos antioxidantes. (Ramírez-Rodríguez *et al.*, 2024)

En otro estudio de nanopartículas de quitosano con dosis de 0.1, 0.2, 0.4 y 0.8 mg aplicadas en la etapa de germinación por imbibición, los resultados obtenidos mostraron que las dosis de 0.4 mg incrementaron el peso fresco del brote hasta un 81% mientras que las dosis de 0.2 mg presentaron los mejores resultados en vigor de las semillas y contenido de pigmentos fotosintéticos. (Ramírez-Rodríguez *et al.*, 2023)

La aplicación foliar es una de las más utilizadas gracias a su rápida absorción estomática y cuticular, ya que facilita a la planta a la translocación de nutrientes hacia los órganos de interés como lo son las hojas, frutos o flores esto dependerá de lo que busquemos en nuestro cultivo. (Riseh *et al.*, 2024)

Otra vía de aplicación es la fertirrigación con nanopartículas donde podemos agregar las nanopartículas a una solución, lo que permite una liberación gradual en la raíz mejorando la disponibilidad del mineral utilizado en suelo con baja capacidad de intercambio catiónico. (Caro-León, *et al.*, 2019)

Por otro lado, los sistemas hidropónicos son otras vías de aplicación de recomendadas, la solución nutritiva directa ha demostrado incrementar la asimilación de micronutrientes y la actividad enzimática relacionada con la síntesis de compuestos bioactivos (Ramírez-Rodríguez *et al.*, 2023).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Síntesis de nanopartículas de quitosán y de los complejos de NPsCS-Mo

Las NPsCS se sintetizaron mediante el método de gelación iónica, utilizando quitosán (CS) marca Golden Shell con peso molecular viscosimétrico de 420,000 g/mol y tripolifosfato de sodio (TPP) marca Aldrich, se utilizó 1 L de una solución de quitosán al 0,5 % (p/v) en ácido acético al 1 % (v/v), la cual se agitó en una parrilla magnética a 300 rpm. Posteriormente, se añadieron 150 mL de TPP al 1 % (p/v) mediante goteo controlado. Una vez finalizada la adición, se mantuvo en agitación durante 1 h para favorecer el entrecruzamiento entre el CS y el TPP, la mezcla se centrifugó y lavó. Por último, el precipitado se liofilizó y se pesó. Las NPsCS-Mo se obtuvieron siguiendo el mismo procedimiento que para las NPsCS, agregando mediante goteo molibdato de sodio después del entrecruzamiento entre el CS y el TPP, incorporando diferentes cantidades del molibdato de sodio ($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) marca Fermont al 0.01 M para obtener los complejos de NPsCS-Mo1, NPsCS-Mo3 ppm y NPsCS-Mo6. Después de agregar la sal, la mezcla se dejó en agitación por 2 h a 300 rpm y se mantuvo en reposo durante 24 h. Posteriormente, la mezcla se centrifugó y se lavó con agua desionizada para retirar el material residual, luego se congeló y liofilizó para obtener los complejos sólidos.

3.2 Ubicación y climatología del lugar del experimento

El experimento se realizó en el campo experimental del CIQA (Centro de Investigación de Química Aplicada) ubicado en el Boulevard Enrique Reyna Hermosillo No. 140, Colonia San José de los Cerritos, C.P. 25294, Saltillo, Coahuila, México, Latitud: 25° 39' 16" Norte Longitud: 101° 06' 46" Oeste.

El clima de saltillo se caracteriza por veranos largos y calurosos, el mes más cálido del año es junio y el mes más frío es enero. La temperatura media anual es de 18°C

a casi 22°C la media mensual más alta llega a rebasar los 30°C y la mínima es menor a 12°C.

3.3 Material vegetal utilizado

El material vegetal utilizado es semilla de maíz blanco elotero de la marca Asgrow No. 7573 con las siguientes características: altura de mazorca 110 a 140, altura de planta 210 a 280 cm, ciclo intermedio, días de cosecha de 170 a 180 días y días de floración 65 a 70 días.

3.4 Manejo agronómico del cultivo

Siembra. Antes de la siembra se realizaron ocho surcos de 30 metros de largo y un ancho de 60 cm con acolchado plástico de color blanco, con dos cintas de riego con un gasto de 3 L/h por m² después se realizó la siembra directa de la semilla de maíz el 25 de abril del 2025 con un total de 3200 semillas repartidas en los 8 surcos para una densidad de siembra de 20 plantas por metro.

Riegos. Se inició con un riego de seis horas para asegurar la germinación de las semillas. Los riegos se realizaron cuando los tensiómetros marcaban 20 centibares, lo que indica que el suelo estuvo a capacidad de campo (condiciones óptimas de humedad). El primer riego se realizó después de la siembra el 26 de abril del 2025; durante todo el ciclo del cultivo se realizaron 39 riegos en total que correspondió a 104 horas de riego. La lámina de riego fue variable aplicada dependía de la etapa fenológica del cultivo y el clima.

Deshierbe. El deshierbe o limpieza de malezas se realizó cuando el cultivo lo requirió, ya que si dejamos las malezas los fertilizantes no harán un efecto completo en la planta pues las malezas absorben los fertilizantes, estos deshierbes se realizaron a mano para así evitar la aplicación de herbicidas.

Fertilizaciones. Las fertilizaciones se realizaron por medio de un fertirriego, donde el fertirriego inyecta el fertilizante con agua hacia la cintilla; los elementos principales que se utilizaron fueron macronutrientes: N, P, K, Ca, S y Mg, y como fertilizantes utilizamos nitrato de calcio, MKP y como elementos menores como grofol. Las dosis

de fertilizantes que se inyectaron a las plantas dependía de la etapa fenológica del cultivo.

Cosecha del maíz. La cosecha del maíz se realizó a mano el 25 y 26 de agosto del 2025, quitando cada fruto de la planta y separarlos según el tratamiento que se aplicó, después que se cosechó el maíz se metió a un horno para que su secado fuera más rápido.

Desgrane del maíz. Se realizó manualmente frotando un maíz con otro después de que la mazorca se secase, el desgrane se realizó para poder calcular el rendimiento de la cosecha del maíz, pesando la mazorca, el olote y los granos de maíz y contando las carreras del maíz para así determinar el rendimiento por hectárea.

Limpieza del campo experimental. Se realizó después de que todo el maíz se haya secado, primero cortamos toda la planta de maíz para posteriormente picarla e incorporarla al suelo, después se quitó el acolchado y la cintilla de los surcos y por último se pasó la rastra con el tractor para incorporar todo el material vegetal del maíz.

3.5 Manejo fitosanitario

Aplicación de insecticidas. El cultivo se vio afectado por la plaga del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) por lo cual hicimos aplicaciones de insecticida belt de la casa comercial de Bayer, el ingrediente activo de este insecticida es flubendiamide. La aplicación de belt se realizó en el día en una mochila de aspersión de 20 litros, las dosis que se aplicó fue la recomendada en la etiqueta del producto.

3.6 Tratamientos evaluados

Los tratamientos que se le aplicaron a las plantas de maíz se muestran en la siguiente Tabla:

Tabla 1. Tratamientos con nanopartículas de quitosán (NPsCS) y nanopartículas de quitosán con molibdeno (NPsCS-Mo).

Tratamientos	Descripción
T0	Agua
TC (control)	NPSCS
T1	NPSCS-Mo1
T2	NPSCS-Mo3
T3	NPSCS-Mo6

NPSCS.-nanopartículas de quitosán; NPSCs-Mo1.-nanopartículas de quitosán con 1 ppm de molibdeno; NPSCs-Mo3.-nanopartículas de quitosán con 3 ppm de molibdeno y NPSCs-Mo6.-nanopartículas de quitosán con 6 ppm de molibdeno.

Tabla 2. Fechas de la aplicación de los tratamientos y volumen gastado.

Aplicación	Fecha	Cantidad (mL/planta)
1°	12 de mayo del 2025	5
2°	20 de mayo del 2025	13
3°	4 de junio del 2025	18
4°	18 de junio del 2025	20
5°	2 de julio del 2025	23

La aplicación de los tratamientos se realizó con una bomba de aspersión de 2 litros en un intervalo de 8 a 15 días por cada tratamiento, las aplicaciones fueron de manera manual buscando como objetivo que la planta su cubriera totalmente con los productos aplicando desde el tallo hasta la hoja bandera, las aplicaciones siempre fueron durante el día, ya que es cuando las plantas tienen abiertos sus estomas, la primera aplicación se realizó el 12 de mayo 2025 y la última aplicación finalizó el 2 de julio del 2025.

3.7 Variables morfológicas determinadas

Diámetro del tallo. Para medir la variable diámetro del tallo se utilizó un vernier de la marca neikon dando las mediciones en milímetros, la medición iniciaba a 2 centímetros de la base del tallo, midiendo el diámetro polar y el diámetro ecuatorial.

Unidades SPAD (clorofila). El equipo utilizado para medir las unidades SPAD fue un medidor de clorofila modelo SPAD-502 (Minolta). Este instrumento portátil permite obtener de manera rápida y no destructiva el contenido de clorofila en las hojas de las plantas; basta con colocarlo sobre la hoja para que registre el valor correspondiente.

Altura de la planta. Esta variable se midió con una cinta métrica de 10 metros de largo de la marca Truper, la medición se realizó desde la base del tallo hasta la hoja bandera o la punta apical, la cual fue evaluada en centímetros.

Número de hojas. El conteo de las hojas se realizó manualmente contando todas las hojas que se encontraban en la base del tallo hasta la punta apical.

Área foliar. Para la medición del área foliar se utilizó un medidor de área foliar marca LICOR, modelo LI-3100 que escanea las hojas y calcula la superficie mediante láseres.

Sólidos solubles del elote. Se desgranó el elote fresco con un cuchillo desinfectado; posteriormente se pasó a un exprimidor para sacar el jugo de los granos al que se le hizo la lectura en un refractómetro.

Número de frutos. Se realizó de manera manual contando los frutos en cada tratamiento, al momento de la cosecha, para posteriormente analizarlos estadísticamente.

Peso fresco del elote. Para el peso del elote, primero se realizó el corte del maíz para posteriormente quitar las hojas del maíz, el peso del fruto se realizó en una báscula digital y se etiqueta para su posterior uso en el experimento.

Peso de la mazorca. El peso seco se realizó cortando la mazorca de la planta para posteriormente etiquetarlos y pasarlos al horno, ya que el fruto estuvo seco se movió a una báscula digital, luego se pasaron los datos a una tabla.

Peso fresco del tallo. Para obtener el peso fresco del tallo, primero se cortó la planta completa desde la base y enseguida se cortó el tallo en pedazos medianos para después depositarlos en una bolsa etiquetada y pesar las muestras.

Peso seco del tallo. Para obtener el peso seco del tallo, este se cortó en pedazos medianos para después depositarlos en una bolsa etiquetada y luego se colocó en el horno a 70 °C durante x horas o días, hasta que la muestra quedará bien seca para pesarla.

Peso fresco de la hoja. Para esta variable, se quitaron todas las hojas de la planta, enseguida se colocaron en una bolsa etiquetada y se pesaron en una báscula digital.

Peso seco de la hoja. Para esta variable, se quitaron todas las hojas de la planta, enseguida se colocaron en una bolsa etiquetada, después se colocó en el horno ya que la muestra se secó y se pesó en una báscula digital.

Análisis de minerales. Se pesaron 0.5 g de materia seca y luego se calcinaron en mufla a 500 °C por durante 4 horas, posteriormente se llevó a cabo la digestión ácida de las cenizas, se filtró y aforó cada solución hasta 50 mL con agua desionizada para la determinación de los microelementos (Zn, Mo) y para los macroelementos (Ca,) se toman 5 mL de la solución concentrada y se aforan a 50 mL. Finalmente se evalúan en el espectrofotómetro de inducción por plasma (ICP-OES).

3.8 Evaluación de variables bioquímicas

Lignina. Para la determinación de lignina en hojas, tallos y grano se empleó el método TAPPI 222. Este procedimiento permite cuantificar la lignina insoluble. Consistió en pesar 0.250 g de muestra y añadir 4 mL de ácido sulfúrico al 72 % junto

con 96 mL de agua destilada. La mezcla se mantuvo en agitación durante 2 horas, seguida de 4 horas de ebullición, conservando un volumen constante de 100 mL mediante la adición de agua caliente. Al finalizar el tiempo de reacción, la muestra se filtró y el sólido obtenido se lavó con agua destilada caliente hasta pH neutro. Posteriormente, se secó en un horno a 40 °C para realizar su determinación gravimétrica.

La lignina soluble se determinó mediante el método propuesto por Ehrman, midiendo la absorbancia a 205 nm del hidrolizado filtrado el cual proviene del proceso de lignina insoluble. Como blanco se utilizó la solución de H₂ SO₄ al 3% (v/v) empleada en la determinación previa.

El cálculo se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{LAS (\% sobre fibra seca)} = (A \cdot V) / (a \cdot m)$$

Donde: A.-absorbancia a 205 nm, V.-volumen, a.-¿? y m.-peso de muestra en gramos.

3.8.1 Vitamina C

Para el análisis, se pesaron 10 gramos de muestra del fruto y se colocaron en un mortero de porcelana, donde se agregaron 10 mL de HCl 0.088 N. La mezcla se maceró cuidadosamente hasta lograr la completa trituration de la muestra. Posteriormente, se añadieron 50 mL de agua destilada y se continuó mezclando para facilitar la extracción. La preparación se filtró y el filtrado se transfirió a un matraz aforado de 100 mL. Luego, se midió el volumen total obtenido utilizando una probeta. De este volumen, se tomó una alícuota de 10 mL y se colocó en un matraz limpio. Finalmente, esta alícuota se tituló con el reactivo de Thielman, registrando el volumen del titulante empleado.

Hacer el cálculo de la vitamina C con la siguiente fórmula

$$\text{vit. c} = \frac{\text{ml gastados} \times 0.088 \times \text{vol. total} \times 100}{\text{peso muestra} \times 10 \text{ ml}}$$

El resultado se reporta como: mg de vitamina C /100 g de fruto.

3.8.2 Proteínas

El procedimiento permite cuantificar entre 1 y 10 μg de proteínas en un volumen total de reacción de 300 μL utilizando una placa de multipozos. Para iniciar el análisis, se toma una alícuota de los extractos previamente preparados. Luego, se preparan los tubos correspondientes a la mezcla de reacción, los blancos y la curva de calibración. En cada tubo se colocan 150 μL de agua para el blanco, o bien 150 μL de la solución patrón o del extracto vegetal, junto con 150 μL de la mezcla reactiva conteniendo azul de Coomassie. Una vez preparados los tubos, se incuban durante cinco minutos a 25 °C. Transcurrido este tiempo, se mide la absorbancia a 595 nm en un lector de ELISA. Si alguna muestra presenta una concentración superior al valor máximo de la curva de calibración, es necesario realizar una dilución adecuada y repetir la medición utilizando 150 μL de dicha dilución. A partir de la curva de estándares se obtiene la función lineal que relaciona la absorbancia a 595 nm con la concentración de proteína, lo que permite determinar el contenido proteico de las muestras en función del peso fresco o seco, o bien normalizar otros análisis respecto al contenido de proteínas.

Para preparar la curva de calibración, se utiliza una solución de albúmina de suero bovino (BSA) a una concentración inicial de 0.1 mg/mL en agua, que se diluye para obtener las distintas concentraciones necesarias. Asimismo, para la cuantificación en microplaca se emplea una solución de albúmina de suero bovino de 1 mg/mL como solución stock. A partir de este stock se toman los volúmenes indicados para preparar los distintos puntos de la curva estándar en tubos de 0.6 mL, multiplicando cada volumen por 3.5 para ajustar la preparación. Cada tubo se mezcla en un vórtex durante diez segundos.

Posteriormente, se colocan 250 μL del reactivo de Bradford en cada pocillo de la microplaca, por triplicado para cada punto de la curva. Se añaden 5 μL de la solución correspondiente a cada estándar, mientras que para el blanco se agregan 5 μL del regulador de fosfatos 100 mM. La microplaca se deja incubar durante quince minutos a temperatura ambiente y protegida de la luz, periodo en el cual la reacción

permanece estable. Finalmente, la lectura se realiza en un lector de placas a una longitud de onda de 595 nm, obteniéndose así los datos necesarios para la construcción de la curva estándar y la determinación de las concentraciones de proteína en las muestras analizadas.

3.9 Diseño experimental

Se usó un diseño experimental de bloques al azar con cinco tratamientos, en el campo experimental se hicieron 8 surcos, en esos 8 surcos los tratamientos se colocaron al azar, con 4 repeticiones. Después de que cada planta estuviera marcada con su tratamiento se realizaron las aplicaciones.

3.10 Análisis estadístico de datos

Para el análisis estadístico se utilizaron dos programas que fueron excel y infostat 2017 donde en excel realizamos la toma de datos como lo es diámetro de tallo, altura de la planta, etc, por otro lado en el programa del infostat se realizaba los métodos estadísticos que se usó la prueba de LSD que es la que mejor nos convenía, ya que obtuvimos los datos estadísticos posteriormente utilizamos excel para graficar.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis morfológicos

En la Tabla 3 se puede observar que el área foliar disminuye al aplicar las nanopartículas de quitosán-molibdeno (NPsCS-Mo), lo cual no afecta en la asimilación de los fotosintatos, pues los resultados en Unidades SPAD, nos indican que el tratamiento control (Tc) con las nanopartículas de quitosán (NPsCS) y las NPsCS-Mo aumentan respecto al testigo, lo que los hace más eficientes al uso de la radiación solar por las plantas.

Aunque el peso fresco de las hojas fue menor con el tratamiento control (NPsCS) el peso seco fue más alto, por lo que hay una mayor acumulación de biomasa debido a una fotosíntesis más activa con este tratamiento, lo cual puede ser benéfico para su uso como forraje verde.

Los tratamientos con NPsCS-Mo presentaron un diámetro de tallo menor al tratamiento testigo y al control con NPsCS, aunque lo anterior no indica que sea una desventaja o que afecte el transporte de los nutrientes a la planta.

Tabla 3. Variables morfológicas de plántulas de maíz tratadas con NPsCS y NPsCS-Mo a los 50 días después de la siembra (DDS).

tratamiento	Unidad des SPAD	Numero de hojas	Área foliar	peso fresco de las hojas	Peso seco de las hojas	Altura del tallo	Diámetro del tallo	Peso fresco del tallo	Peso seco del tallo
T0 (agua)	58.04 B	12.38 B	6810 AB	232.91 A	54.14 AB	6810 AB	34.96 AB	537.27 A	59.13 AB
NPsCS	60.54 A	13.5 A	7618 A	174.44 B	59.15 A	7618 A	35.58 BC	631.53 A	72.65 A
NPsCS-Mo1	64.99 A	12.81 AB	5914 BC	198.97 AB	47.56 B	5914 BC	33.38 BC	384.21 B	53.3 B
NPsCS-Mo3	65.63 A	12.88 AB	5418 C	204.23 AB	48.79 B	5418 C	32.77 C	350.18 B	45.99 BC
NPsCS-Mo6	58.87 A	13.00 AB	5946 BC	208.01 AB	48.71 B	5946 BC	33.68 ABC	356.64 B	33.48 C

El análisis estadístico se realizó mediante ANOVA seguido de la prueba de Fisher con un nivel de significación de $p < 0,01$.

A los 155 DDS se cosechó y se realizaron los análisis de las variables morfológicas, que se presentan en seguida.

En la **Figura 1** se presenta el diámetro de tallo de las plantas de maíz donde no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos con las NPsCS y las NPsCS-Mo, con respecto el control, lo que indica que la aplicación de los tratamientos no tuvo efecto sobre esta característica. Estos resultados coinciden con lo reportado en estudios previos, donde el diámetro de tallo donde no presentó variaciones significativas como respuesta a los tratamientos aplicados. En este sentido, Rivera-Jaramillo y colaboradores (2021) documentaron una respuesta semejante en tomate al emplear una formulación basada en quitosano, sin observar efectos estadísticamente significativos en esta variable. De igual forma, Picazevicz y colaboradores (2017) indicaron que la aplicación de molibdeno en maíz no modificó el diámetro basal del tallo.

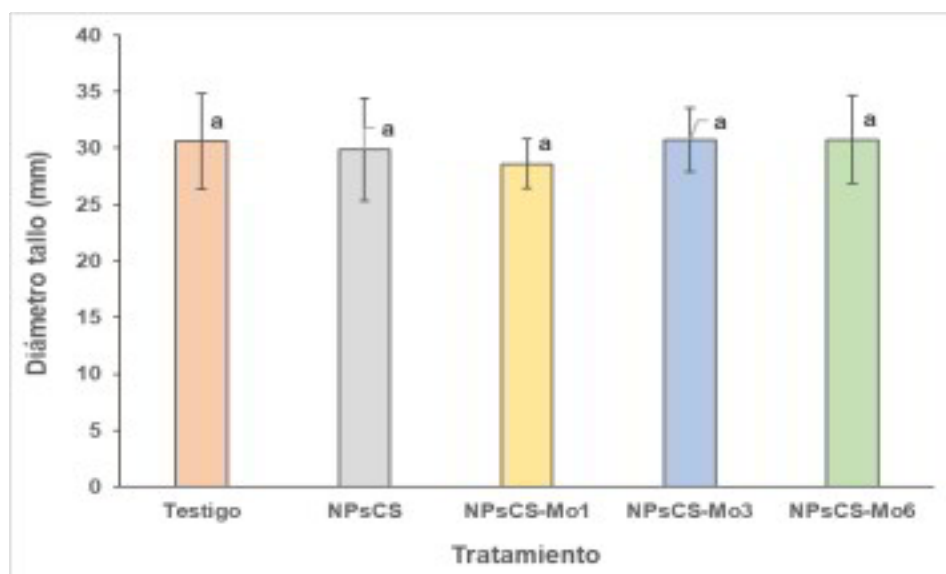


Figura 1. Efecto de la aplicación foliar de las nanopartículas de quitosán con molibdeno en maíz en la variable diámetro de tallo.

En la **Figura 2** se presenta la variable altura de planta donde se observaron diferencias significativas entre los tratamientos, las NPsCS provocaron una disminución de 10.13 % con respecto al control, lo que indica un efecto negativo sobre esta variable de crecimiento. Este resultado concuerda con antecedentes que señalan que las nanopartículas de quitosán no necesariamente estimulan el crecimiento vegetal en todos los casos, debido a que su respuesta está condicionada por la dosis aplicada. En este sentido, Asgari-Targhi y colaboradores en 2018 aplicaron NPsCS en dosis de 5, 10 y 20 mg L⁻¹ en *Capsicum annuum*, y reportaron que concentraciones altas de nanoquitosán inhibieron el crecimiento y el desarrollo de las plantas, lo que sugiere que, bajo determinadas condiciones, las NPsCS pueden generar efectos fitotóxicos y afectar negativamente variables de crecimiento como la altura de planta.

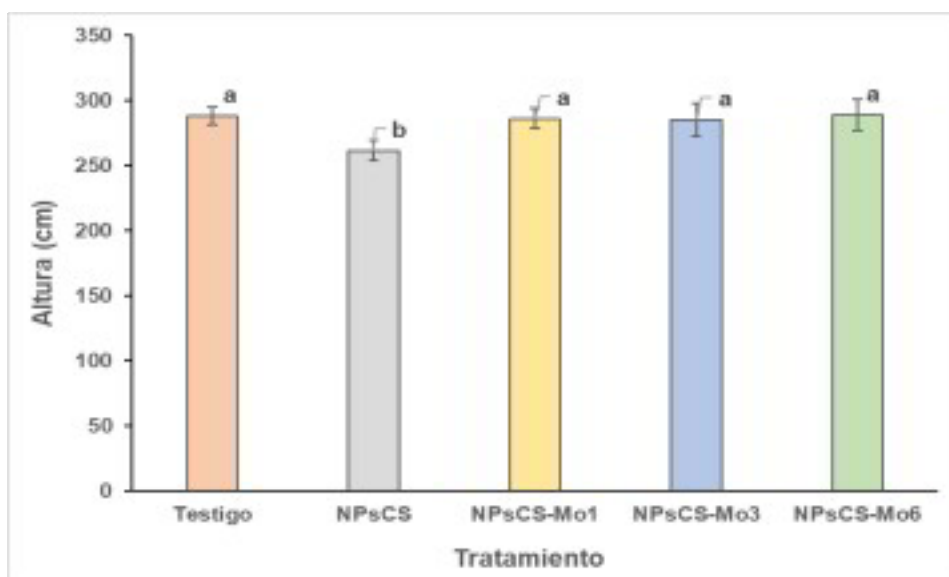


Figura 2. Efecto de la aplicación foliar de las nanopartículas de quitosán con molibdeno en plantas de maíz en la variable altura de la planta.

Al evaluar el número de hojas (**Figura 3**) se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos. Las aplicaciones de NPsCS, NPsCS-Mo3 y NPsCS-Mo6 redujeron esta variable en 11.19 %, 9.44 % y 8.62 %, respectivamente, en

comparación con el control, lo que sugiere un efecto desfavorable de estos tratamientos sobre la emisión foliar en plantas de maíz.

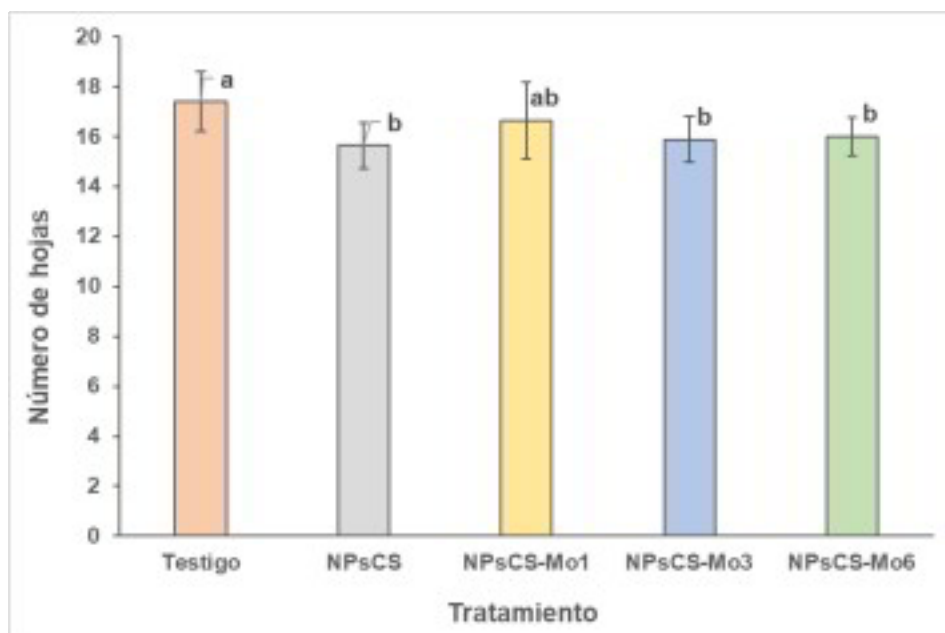


Figura 3. Efecto de la aplicación foliar de las nanopartículas de quitosán con molibdeno en plantas de maíz en la variable número de hojas.

De igual manera en la (**Figura 4**), se observaron diferencias significativas entre tratamientos en el área foliar. Las aplicaciones de NPsCS y NPsCS-Mo (Mo1, Mo2 y Mo3) ocasionaron disminuciones de 26.66 %, 13.33 %, 20.98 % y 47.68 %, respectivamente, con respecto al control, lo que pone de manifiesto un efecto negativo sobre el desarrollo foliar. Este comportamiento es consistente con antecedentes que señalan que las nanopartículas de quitosano pueden inhibir el crecimiento vegetativo cuando se aplican en concentraciones elevadas. En este sentido, Mancilla-Álvarez y colaboradores (2025) y Delgado-Rivera y colaboradores (2026) documentaron reducciones en el número de hojas por brote a dosis altas de NPsCS de 100 a 200 mg, lo que confirma que la respuesta a estas nanopartículas depende de la concentración utilizada y que, bajo ciertas condiciones, pueden afectar negativamente la formación de estructuras foliares por ende el índice foliar.

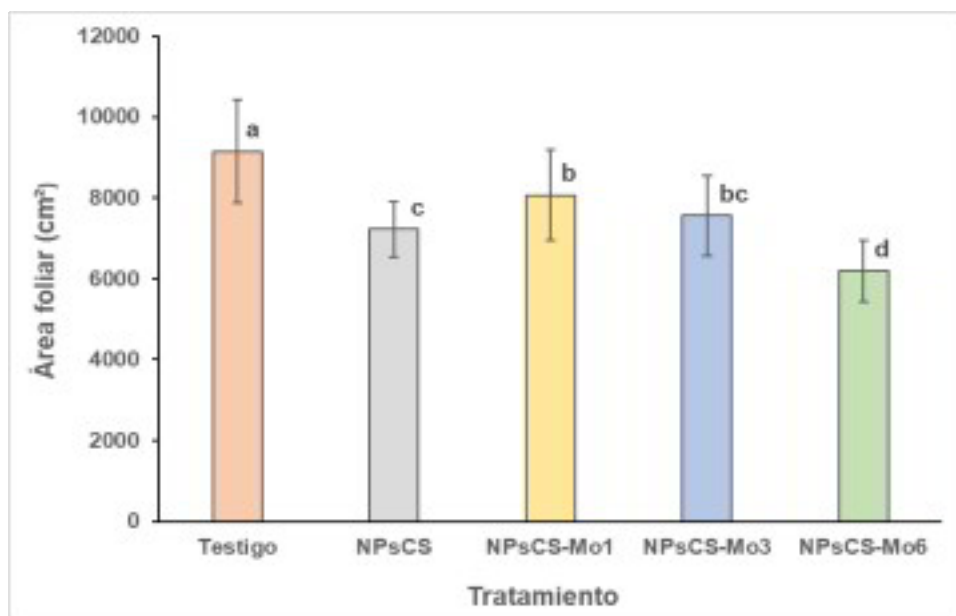


Figura 4. Efecto de la aplicación foliar de las nanopartículas de quitosán con molibdeno en plantas de maíz en la variable de área foliar.

En la **Figura 5** se muestra la variable peso del fruto donde no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos con quitosano y quitosano con molibdeno en comparación con el control, lo que indica que estas aplicaciones no tuvieron efecto sobre esta variable.

La ausencia de diferencias significativas en el peso del fruto sugiere que las aplicaciones de quitosano y quitosano con molibdeno no modificaron esta variable bajo las condiciones del presente estudio. Este comportamiento coincide con lo reportado por Hernández y colaboradores (2022), quienes no observaron cambios significativos en el peso medio del fruto de tomate con la aplicación de quitosano a baja dosis. De igual manera, Sabatino y colaboradores (2019) señalaron que el suministro de molibdeno no afectó significativamente el peso promedio del fruto. Lo que confirma que esta variable puede no responder a dichos tratamientos en

determinadas condiciones. No obstante, también se han documentado resultados contrastantes en otros cultivos, donde la aplicación de quitosano y molibdeno ha favorecido el peso del fruto cuando se utilizan dosis adecuadas. En este sentido, Durmuş y Özdamar Ünlü (2024) reportaron incrementos en el peso del fruto en pimiento con aplicación de quitosano. Mientras que Li y colaboradores (2024) observaron un aumento en el peso individual del fruto en melón con aplicación foliar de molibdeno. En conjunto, estos antecedentes sugieren que la respuesta del peso del fruto depende del cultivo, la dosis aplicada y las condiciones de manejo.

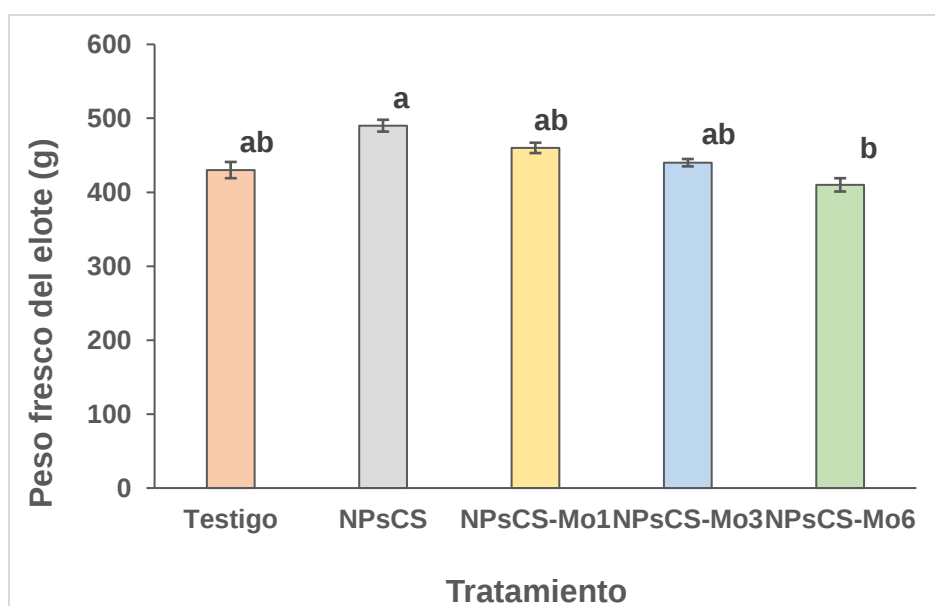


Figura 5. Efecto de la aplicación foliar de las nanopartículas de quitosán con molibdeno en plantas de maíz en la variable peso del elote.

En las variables peso fresco (**Figura 6**) y peso seco del tallo (**figura 7**) se observaron diferencias significativas entre tratamientos, destacando que NPsCS-Mo6 redujo ambas variables en 34.5 % y 33.61 %, respectivamente, en comparación con el control, lo que evidencia un efecto negativo sobre la acumulación de biomasa fresca y seca en el tallo. Los resultados obtenidos en peso fresco y peso seco del tallo sugieren que la formulación NPsCS-Mo6 ejerció un efecto negativo sobre la acumulación de biomasa en esta estructura. Este comportamiento coincide con lo

reportado por Shi *et al.* (2018), quienes observaron que el exceso de molibdeno provocó fitotoxicidad en maíz, reduciendo la biomasa vegetal. Asimismo, Saharan y colaboradores (2016) documentaron que las nanopartículas basadas en quitosano pueden generar respuestas dependientes de la concentración, ya que dosis moderadas favorecieron el crecimiento de plántulas de maíz, mientras que una dosis más alta produjo efectos inhibitorios. En conjunto, estos antecedentes respaldan que la disminución de biomasa en el tallo observada con NPsCS-Mo6 podría estar asociada tanto a un efecto de exceso de molibdeno como a una respuesta dosis-dependiente de la formulación nanoparticulada.

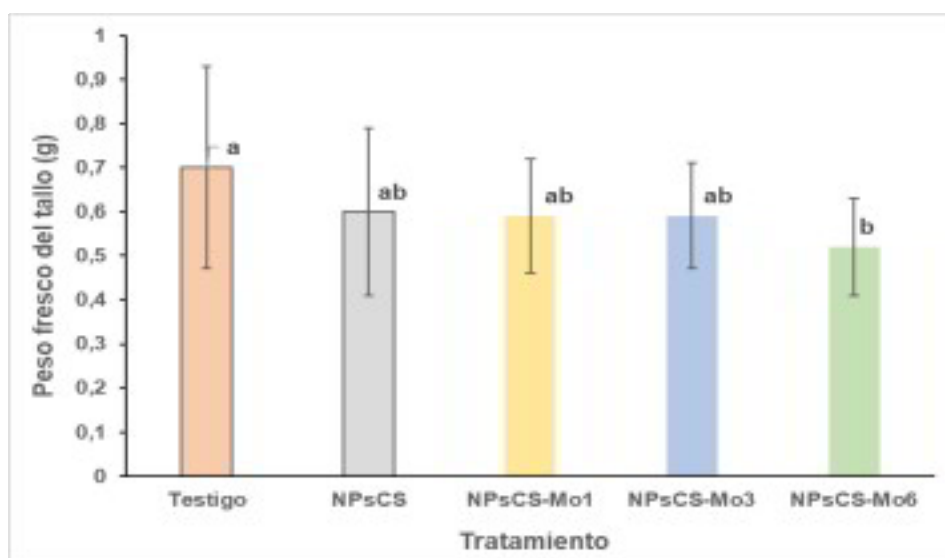


Figura 6. Efecto de la aplicación foliar de las nanopartículas de quitosán con molibdeno en plantas de maíz en la variable peso fresco del tallo.

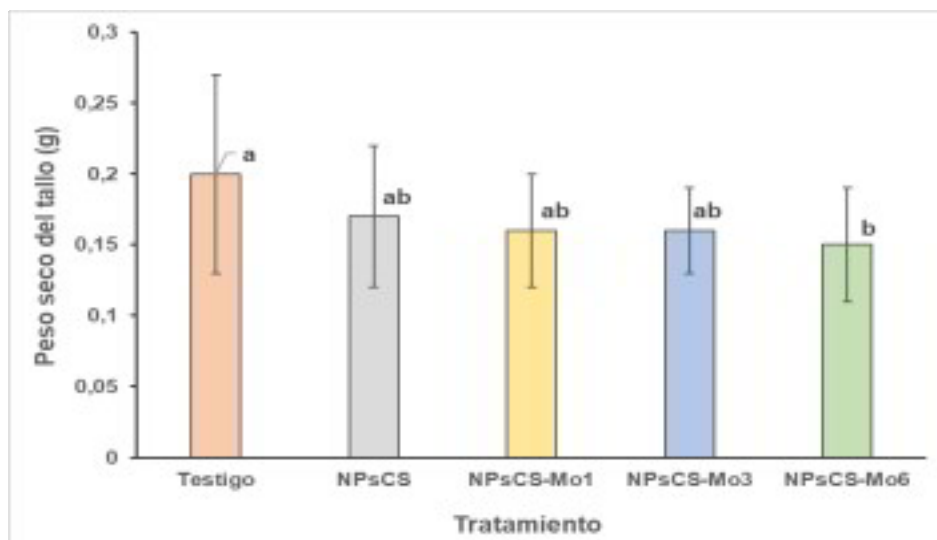


Figura 7. Efecto de la aplicación foliar de las nanopartículas de quitosán con molibdeno en plantas de maíz en la variable peso seco del tallo.

En las variables de biomasa foliar se observaron respuestas contrastantes entre tratamientos. Por un lado, NPsCS-Mo3 y CSNPs-Mo6 redujeron el peso fresco de la hoja en 19.23 % y 34.78 %, respectivamente, en comparación con el control, lo que indica un efecto negativo sobre la acumulación de biomasa fresca (**Figura 8**). Por otro lado, el tratamiento con NPsCS incrementó en 30 % el peso seco de la hoja, lo que sugiere un efecto favorable sobre la acumulación de materia seca foliar.

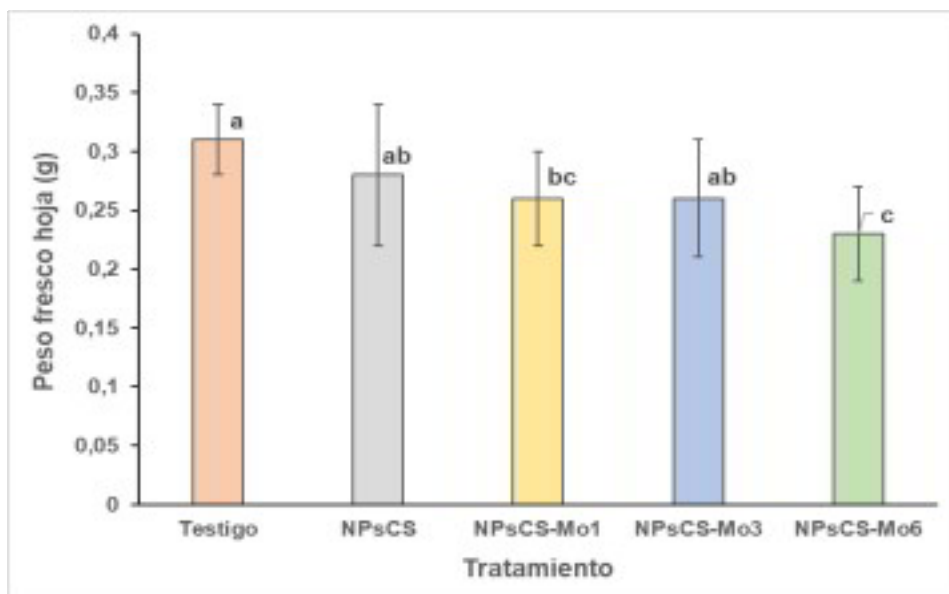


Figura 8. Efecto de la aplicación foliar de las nanopartículas de quitosán con molibdeno en plantas de maíz en la variable peso fresco de hojas.

El incremento en el peso seco de la hoja (**Figura 9**) con NPsCS podría asociarse con un efecto estimulante del nanoquitosano sobre la acumulación de materia seca, ya que se ha reportado que, en concentraciones adecuadas, este material favorece el crecimiento y la biomasa vegetal (Asgari, *et al.* 2018). Sin embargo, la reducción del peso fresco observada con NPsCS-Mo3 y NPsCS-Mo6 indica que la incorporación de molibdeno, particularmente en ciertas dosis, pudo haber limitado la acumulación de biomasa fresca. Lo anterior coincide con antecedentes que señalan que el nanoquitosano puede presentar efectos benéficos o fitotóxicos según la concentración utilizada, y que el molibdeno, cuando se suministra en condiciones no óptimas, puede reducir la biomasa del maíz (Moreira, *et al.* 2025).

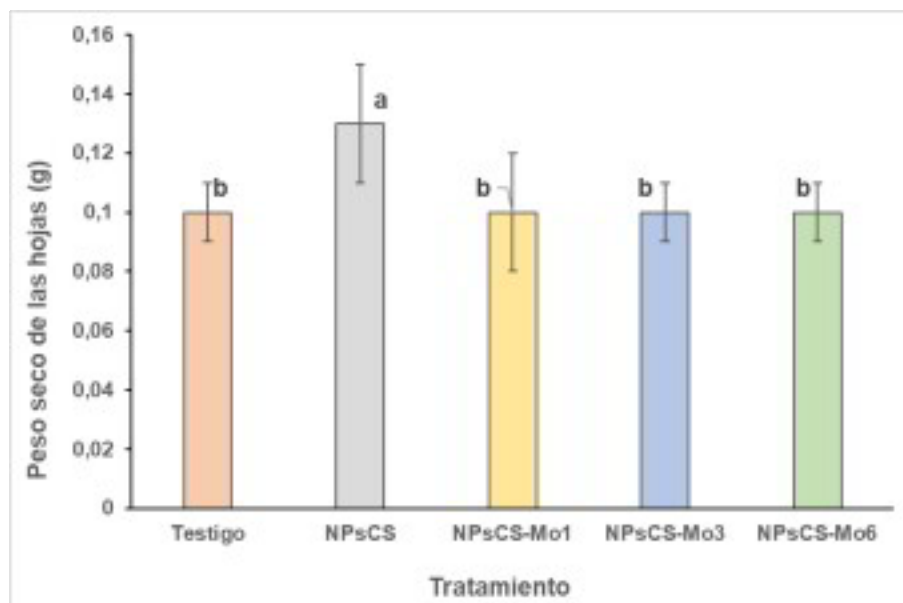


Figura 9. Peso seco de hojas en plantas de maíz tratadas con nanopartículas de quitosán con molibdeno.

4.2 Análisis bioquímicos

En la **Figura 10** de la variable contenido de vitamina C se observaron diferencias significativas entre tratamientos, donde NPsCS-Mo3 y NPsCS-Mo6 redujeron esta variable en 52.06 % y 53.72 %, respectivamente, en comparación con el control, lo que indica un efecto negativo sobre la concentración de ácido ascórbico. Estos resultados son consistentes con antecedentes que indican que tanto el quitosano como el molibdeno pueden disminuir el contenido de vitamina C cuando se aplican en concentraciones elevadas o en determinadas condiciones. Al respecto, Hernández y colaboradores (2022) señalaron que una dosis alta de quitosano redujo significativamente la vitamina C en frutos de tomate, mientras que Reyes-Ramos et al. (2025) reportaron una disminución del ácido ascórbico en frutos de feijoa tras la aplicación de molibdato de amonio. En conjunto, estos antecedentes sugieren que la respuesta de esta variable está influida por la dosis, la formulación empleada y el cultivo evaluado.

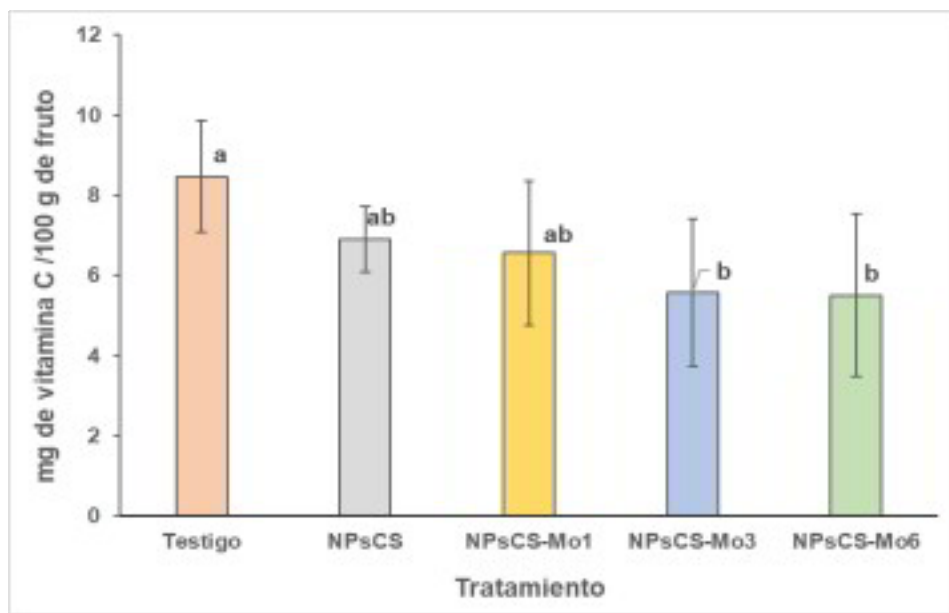


Figura 10. Efecto de la aplicación foliar de las nanopartículas de quitosán con molibdeno en plantas de maíz en la variable de vitamina C en el elote.

En la variable contenido de proteína (**figura 11**) también se observaron diferencias significativas entre tratamientos, donde la aplicación de NPsCS incrementó esta variable en 52.06 % en comparación con el control, lo que sugiere un efecto favorable sobre la acumulación de proteína en los granos de elote. En consonancia con lo reportado por Inam y colaboradores (2024), quienes observaron un incremento en el contenido de proteínas en plantas de maíz tratadas con nanopartículas oxido de zinc cargadas con quitosano. Asimismo, Sary et al. (2025) señalaron que la aplicación de nano-molibdeno aumentó el contenido de proteína en los granos de maíz. Lo que sugiere que estas nanoformulaciones pueden favorecer la acumulación proteica dependiendo de su composición y de las condiciones de cultivo.

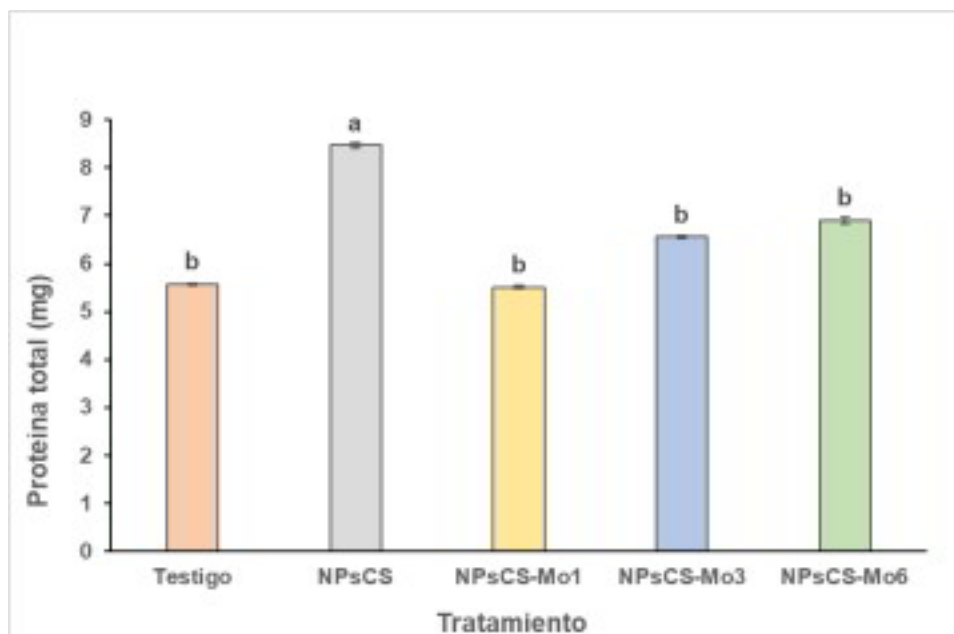


Figura 11. Efecto de la aplicación foliar de las nanopartículas de quitosán con molibdeno en plantas de maíz en la variable de proteínas en el grano del elote.

En las unidades SPAD (Figura 12) se observaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Los tratamientos NPsCS-Mo1 y NPsCS-Mo3 presentaron incrementos de 11.97 % y 13.017 %, respectivamente, con respecto al control. Sin embargo, también se observó que, a medida que aumentó la concentración a NPsCS-Mo3, los valores de SPAD tendieron a disminuir, lo que sugiere que dosis más altas podrían tener un efecto negativo sobre esta variable. El incremento en las unidades SPAD con los tratamientos NPsCS-Mo1 y NPsCS-Mo3, respectivamente, sugiere que estas formulaciones favorecieron el estado fotosintético del cultivo, posiblemente mediante una mayor síntesis o estabilidad de clorofila. Este comportamiento concuerda con reportes en maíz donde las nanopartículas basadas en quitosano y el molibdeno han favorecido el contenido de clorofila y la actividad fotosintética, particularmente cuando se aplican en concentraciones o dosis adecuadas (Brown *et al.*, 2024; Oliveira *et al.*, 2022).

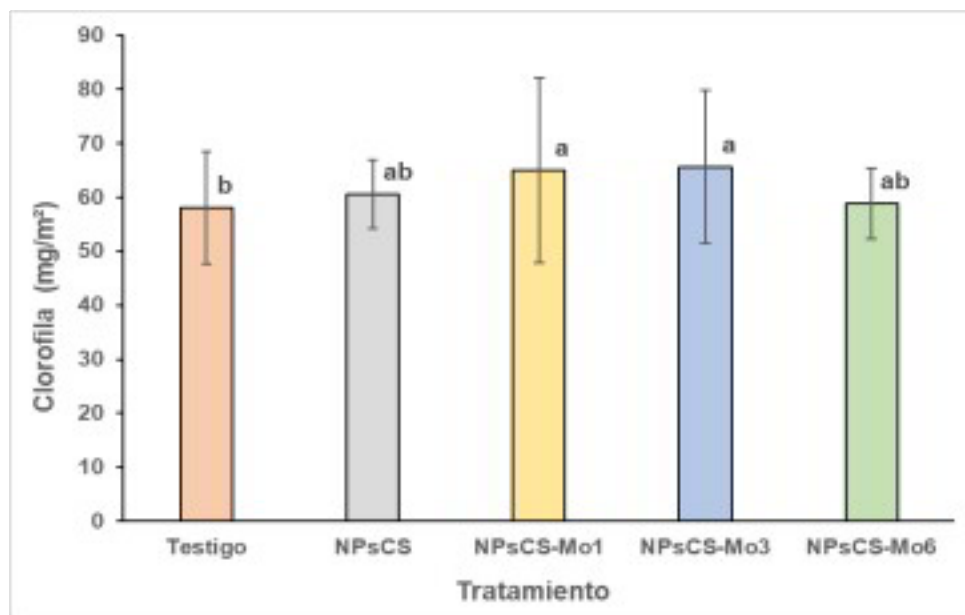


Figura 12. Efecto de la aplicación foliar de las nanopartículas de quitosán con molibdeno en maíz en la variable de Clorofilas en hojas (unidades SPAD).

En la variable sólidos solubles de los granos de elote no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados y el control, lo que indica que las aplicaciones no modificaron el contenido de sólidos solubles. Este resultado es consistente con lo reportado por Hernández y colaboradores (2022), quienes no detectaron variaciones significativas en la concentración de azúcares solubles en frutos de tomate tratados con quitosano, así como con lo señalado por Reyes-Ramos y colaboradores (2025), quienes indicaron que la aplicación de molibdato de amonio no modificó el contenido de sólidos solubles totales en frutos de feijoa. Sin embargo, también se han reportado resultados opuestos, ya que Reyes-Pérez y colaboradores (2025) registraron un incremento en los sólidos solubles totales en tomate tras la aplicación de quitosano, mientras que Li y colaboradores (2024) observaron un aumento de esta variable en melón con aplicación foliar de molibdeno. En conjunto, estos antecedentes sugieren que la respuesta de los sólidos solubles puede variar según el cultivo, la dosis utilizada y las condiciones de manejo.

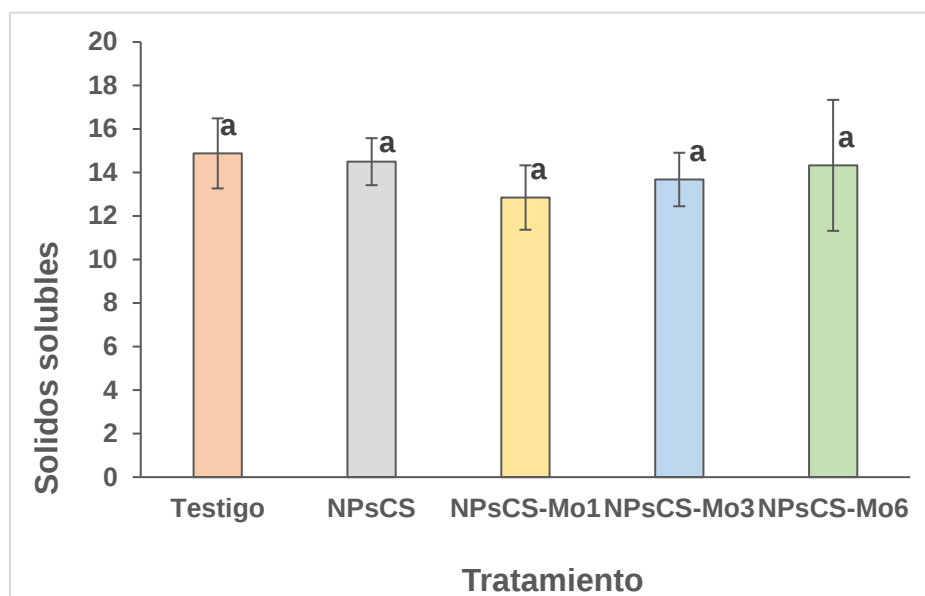


Figura 13. Contenido de sólidos solubles en plantas de maíz tratadas con nanopartículas de quitosán -molibdeno por vía foliar.

4.3 Rendimiento

En la variable rendimiento se observaron diferencias significativas entre tratamientos, donde la aplicación de NPsCS-Mo6 redujo el rendimiento en 18.40 % con respecto al control, lo que indica un efecto negativo sobre esta variable. Estos resultados indican que el efecto sobre el rendimiento estuvo condicionado por la dosis de la formulación aplicada. En este contexto, Ramírez-Rodríguez y colaboradores en el 2023 señalaron que ciertas concentraciones de nanopartículas de quitosano disminuyeron el rendimiento en tomate, lo que demuestra que estas nanoformulaciones no necesariamente favorecen la productividad en todos los casos. De manera similar, Zhang *et al.* (2023) reportaron en maíz que niveles elevados de molibdeno redujeron la biomasa y la tasa fotosintética, lo que sugiere que el exceso de este elemento puede afectar de forma negativa el comportamiento productivo del cultivo.

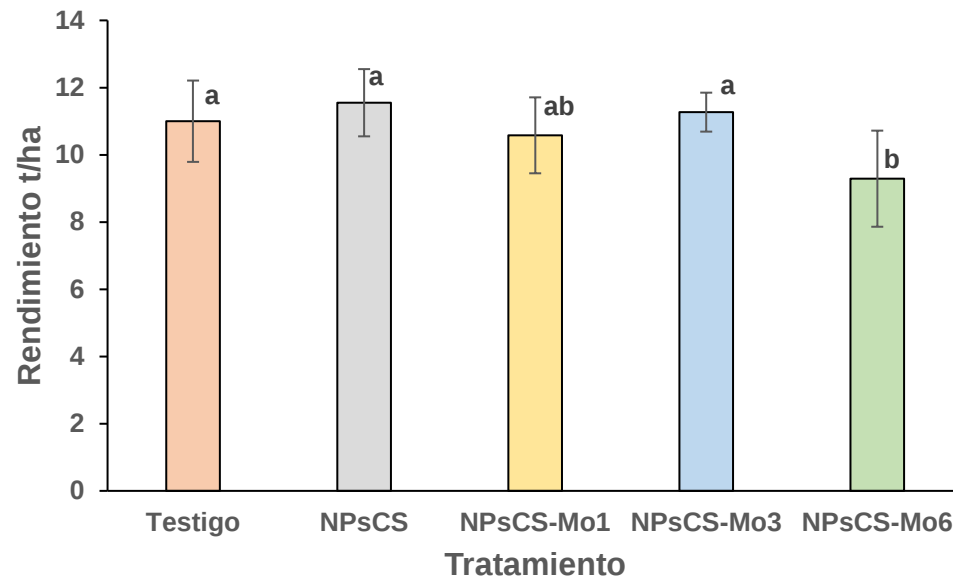


Figura 14. Rendimiento de maíz (t/ha) por la aplicación foliar de las nanopartículas de quitosán con molibdeno.

V. CONCLUSIONES

- Al aplicar solamente las NPsCS (Tc) se observaron mejores resultados en cuanto a las variables morfológicas evaluadas de peso fresco y seco de tallos, número de hojas y área foliar a los 50 días después de la siembra (dds).
- A los 50 dds los tratamientos con NPsCS-Mo1 y NPsCS-Mo3 incrementaron las unidades SPAD, en general se observaron efectos negativos en variables morfológicas y de biomasa con las NPsCS-Mo6, las cuales redujeron el área foliar, el crecimiento del tallo y la acumulación de biomasa (peso seco de hojas).
- Al cosechar (155 dds), el peso seco de la hoja es mayor; así como el contenido de proteínas aumenta al aplicar NPsCS; los tratamientos NPsCS-Mo1 y NPsCS-Mo3 favorecieron las unidades SPAD.
- Las variables morfológicas con todas las dosis aplicadas de NPsCS-Mo no se observaron diferencias significativas respecto al testigo.
- La concentración más alta de molibdeno (NPsCS-Mo6) redujeron el contenido de vitamina C y el rendimiento, mientras que el peso del fruto y los grados Brix no mostraron cambios significativos.
- El rendimiento no se afectó por la aplicación de las NPsCS, NPsCS-Mo1 y NPsCS-Mo3.

VI. LITERATURA CITADA

Alcántar-González, G., Trejo-Téllez, L. I., & Gómez-Merino, F. C. (2016). *Nutrición de cultivos* (2ª ed.). Editorial Biblioteca Básica de Agricultura.

Arroyo Galván, A. (2025). *Quitosano, la alternativa más sustentable para la agricultura*. <https://elementos.buap.mx/directus/storage/uploads/00000011713.pdf>

Asgari-Targhi, G., Iranbakhsh, A., & Ardebili, Z. O. (2018b). Potential benefits and phytotoxicity of bulk and nano-chitosan on the growth, morphogenesis, physiology, and micropropagation of *Capsicum annuum*. *Plant Physiology and Biochemistry*: PPB, 127, 393-402. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.04.013>

Becerra Moreno, J. L. (2023). *Evaluación de veinte híbridos de maíz (Zea mays) en cuatro localidades de Jalisco* [Tesis de licenciatura, Instituto Tecnológico de Tlajomulco, Tecnológico Nacional de México]. Repositorio Institucional TecNM.

Benavides, M. (s.f.). *Bioestimulantes agrícolas: importancia y definición*.

Brown, A., Al-Azawi, T. N. I., Methela, N. J., Rolly, N. K., Khan, M., Faluku, M., Huy, V. N., Lee, D.-S., Mun, B.-G., Hussian, A., & Yun, B.-W. (2024). Chitosan-fulvic acid nanoparticles enhance drought tolerance in maize via antioxidant defense and transcriptional reprogramming. *Physiologia Plantarum*, 176(4), e14455. <https://doi.org/10.1111/ppl.14455>

David Martinez, T. (2024). Componentes de rendimiento en híbridos de maíz (*Zea Mays L.*) recomendados para el estado de Morelos sometidos a alta densidad poblacional. (Tesis de licenciatura). Universidad Autónoma del estado de Morelos. <https://riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/4765/MATDPV06.pdf>

Delgado-Rivera, V. A., Serrano-Fuentes, M. K., Rivera-Villanueva, J. M., Pérez-Sato, J. A., & Bello-Bello, J. J. (2026). Chitosan Nanoparticles as a Biostimulant During In Vitro Multiplication of Vanilla Using Temporary Immersion Bioreactors. *Molecules*, 31(2), 328. <https://doi.org/10.3390/molecules31020328>

Departamento de Agricultura y Ganadería. (s. f.). *El cultivo del maíz*. Universidad de Sonora. <https://agricultura.unison.mx/memorias%20de%20maestros/EL%20CULTIVO%20DEL%20MAIZ.pdf>

Durmuş, N. İ., & Özdamar Ünlü, H. (2024). Use of oxalic acid and chitosan to improve pepper yield and quality. *Cogent Food & Agriculture*, 10(1), 2366381. <https://doi.org/10.1080/23311932.2024.2366381>

EcuRed. (s. f.). *Molibdeno en las plantas*. [https://www.ecured.cu/Molibdeno en las plantas](https://www.ecured.cu/Molibdeno%20en%20las%20plantas)

Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA). (2024). *Panorama agroalimentario: Maíz 2024*.

Gómez Pérez, V. (2019). *Caracterización agromorfológica in situ de poblaciones de maíces nativos en Concordia, Sinaloa, México* (Tesis de maestría). Universidad Autónoma de Sinaloa. <https://cca.uas.edu.mx/images/posgrado/Tesis/COHORTE%202017-2019/114.%20Valeria%20Gomez%20Perez.pdf>

Hernández, V., Botella, M. Á., Hellín, P., Fenoll, J., & Flores, P. (2022a). Dose-Dependent Potential of Chitosan to Increase Yield or Bioactive Compound Content in Tomatoes. *Horticulturae*, 8(12). <https://doi.org/10.3390/horticulturae8121152>

Hernández, V., Botella, M. Á., Hellín, P., Fenoll, J., & Flores, P. (2022b). Dose-Dependent Potential of Chitosan to Increase Yield or Bioactive Compound Content in Tomatoes. *Horticulturae*, 8(12). <https://doi.org/10.3390/horticulturae8121152>

Inam, A., Javad, S., Naseer, I., Alam, P., Almutairi, Z. M., Faizan, M., Zauq, S., & Shah, A. A. (2024). Efficacy of chitosan loaded zinc oxide nanoparticles in alleviating the drastic effects of drought from corn crop. *Plant Stress*, 14, 100617. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100617>

Ingle, P. U., Shende, S. S., Shingote, P. R., Mishra, S. S., Sarda, V., Wasule, D. L., Rajput, V. D., Minkina, T., Rai, M., Sushkova, S., Mandzhieva, S., & Gade, A. (2022). *Chitosan nanoparticles (ChNPs): A versatile growth promoter in modern agricultural production*. *Heliyon*, 8, e11893. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11893>

Kato, T. A., Mapes C., Mera, L. M., Serratos, J. A. y Bye, R. A. 2009. Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 116 pp. México, D.F

Khodakovskaya, M., Kim, B., Kim, J., Alimohammadi, M., Dervishi, E., Mustafa, T., & Cernigla, C. (2013). Nanotubos de carbono como reguladores del crecimiento vegetal: efectos sobre el crecimiento del tomate, el sistema

reproductivo y la comunidad microbiana del suelo. *Small* , 9(1), 115-123.
[[Enlaces](#)]

- Li, M., Wang, H. yan, Najm, A. A. K., Othman, B. A., & Law, D. (2024b). Effects of molybdenum on growth and fruit quality of small fruit melon (*Cucumis melo* L.) cultivated under high-temperature stress. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 23(4), 41-54. <https://doi.org/10.24326/asphc.2024.5345>
- Lira-Saldivar, R. H., Méndez-Argüello, B., Santos-Villarreal, G., & Vera-Reyes, I. (2018). *Potencial de la nanotecnología en la agricultura*. *Acta Universitaria*, 28(2), 9–24. <https://doi.org/10.15174/au.2018.1575>
- Malerba, M., & Cerana, R. (2016). *Chitosan effects on plant systems*. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(7), 996. <https://doi.org/10.3390/ijms17070996>
- Mancilla-Álvarez, E., Serrano-Fuentes, M. K., Fuentes-Torres, M. A., Sánchez-Páez, R., & Bello-Bello, J. J. (2025). Chitosan Nanoparticles: An Alternative for In Vitro Multiplication of Sugarcane (*Saccharum* spp.) in Semi-Automated Bioreactors. *Plants*, 14(11), 1697. <https://doi.org/10.3390/plants14111697>
- Moreira, L. A., Tränkner, M., Mariano, E., & Otto, R. (2025). Molybdenum supply increases ¹⁵N-nitrate uptake by maize. *Frontiers in Plant Science*, 16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1546132>
- Oliveira, S. L., Crusciol, C. A. C., Rodrigues, V. A., Galeriani, T. M., Portugal, J. R., Bossolani, J. W., Moretti, L. G., Calonego, J. C., & Cantarella, H. (2022). Molybdenum Foliar Fertilization Improves Photosynthetic Metabolism and Grain Yields of Field-Grown Soybean and Maize. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.887682>
- Paliwal L. R. 2001 El maíz en los trópicos: Mejoramiento y Producción. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Disponible en: [http:// www.fao.org/3/ X7650S/x7650s04.htm#P00](http://www.fao.org/3/X7650S/x7650s04.htm#P00)
- Picazevicz, A. A. C., Kusdra, J. F., & Moreno, A. de L. (2017). Maize growth in response to *Azospirillum brasilense*, *Rhizobium tropici*, molybdenum and nitrogen. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 21, 623-627. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n9p623-627>
- Ramírez-Rodríguez, S. C., Ortega-Ortiz, H., González-Morales, S., & PreciadoRangel, P. (2023). Chitosan nanoparticles improve yield, enzymatic activity, and bioactive compounds in tomato fruits. *Terra Latinoamericana*, 41. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1686>

- Ramírez-Rodríguez, S., Preciado-Rangel, P., Cabrera-De, M., González-Morales, S., & Ortega-Ortiz, H. (2024). Chitosan Nanoparticles as Biostimulant in Lettuce. *Phyton*, 93(4), 777. <http://dx.doi.org/10.32604/phyton.2024.048096>
- Reyes-Pérez, J. J., Llerena-Ramos, L. T., Jerez-Mompie, E., López-Ortega, O. F., Murillo-Amador, B., & Rueda-Puente, E. O. (2025). Effects of chitosan nanoparticles on growth, development, and nutraceutical quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 53(2), 14429-14429. <https://doi.org/10.15835/nbha53214429>
- Reyes-Ramos, D., Ayala-Arreola, J., Colinas-León, M. T. B., Cruz-Alvarez, O., Ojeda-Barrios, D. L., Martínez-Damián, M. T., Reyes-Ramos, D., Ayala-Arreola, J., Colinas-León, M. T. B., Cruz-Alvarez, O., Ojeda-Barrios, D. L., & Martínez-Damián, M. T. (2025). Effect of ammonium molybdate on the quality of feijoa fruits. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 16(4). <https://doi.org/10.29312/remexca.v16i4.3695>
- Riseh, R. S., Vatankhah, M., Hassanisaadi, M., & Varma, R. S. (2024). A review of chitosan nanoparticles: Nature's gift for transforming agriculture through smart and effective delivery mechanisms. *International Journal of Biological Macromolecules*, 260, 129522. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.129522>
- Rivas-García, T., González-Gómez, L. G., Boicet-Fabré, T., Jiménez-Arteaga, M. C., Falcón-Rodríguez, A. B., & Terrero-Soler, J. C. (2021). *Respuesta agronómica de dos variedades de tomate (Solanum lycopersicum L.) a la aplicación del bioestimulante con quitosano*. *Terra Latinoamericana*, 39, e796. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.796>
- Rivera-Gutiérrez, R. G., Preciado-Rangel, P., Fortis-Hernández, M., BetancourtGalindo, R., Yescas-Coronado, P., & Orozco-Vidal, J. A. (2021). Zinc oxide nanoparticles and their effect on melon yield and quality. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(5), 791-803. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i5.2987>
- Rivera-Jaramillo, Y. A., Cadenas-Pliego, G., Benavides-Mendoza, A., Sandoval-Rangel, A., Cabrera-De la Fuente, M., González-Morales, (2021). PVA-Chitosan-nCu complex improves yield and defense response in tomato. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(6), 970-979. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i6.3012>
- Rubab, U. E., Hussain, S., Ashraf, A., Saeed, M., Raja, N. I., & Mashwani, Z. U. R. (2025). *Revolutionizing agricultural innovation: Game-changing nanotechnology for the future of vegetable and fruit production*. *BioNanoScience*, 15, 562. <https://doi.org/10.1007/s12668-025-02104-0>

- Sabatino, L., D'Anna, F., Iapichino, G., Moncada, A., D'Anna, E., & De Pasquale, C. (2019). Interactive Effects of Genotype and Molybdenum Supply on Yield and Overall Fruit Quality of Tomato. *Frontiers in Plant Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01922>
- Saharan, V., Kumaraswamy, R. V., Choudhary, R. C., Kumari, S., Pal, A., Raliya, R., & Biswas, P. (2016). Cu-Chitosan Nanoparticle Mediated Sustainable Approach To Enhance Seedling Growth in Maize by Mobilizing Reserved Food. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(31), 6148-6155. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b02239>
- Shi, Z., Zhang, X., Wang, F., Christie, P., & Li, X. (2018). Arbuscular mycorrhizal inoculation increases molybdenum accumulation but decreases molybdenum toxicity in maize plants grown in polluted soil. *RSC Advances*, 8(65), 37069–37076. <https://doi.org/10.1039/C8RA07725H>
- SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2019. Disponible en: [https:// www.gob.mx/ siap](https://www.gob.mx/siap)
- Universidad de Sonora. (s. f.). *El cultivo del maíz*. Departamento de Agricultura y Ganadería, Universidad de Sonora. <https://agricultura.unison.mx/memorias%20de%20maestros/EL%20CULTIVO%20DEL%20MAIZ.pdf>
- Weiss, B., Schaefer, U., Zapp, J., Lamprecht, A., Stallmach, A., & Lehr, C. (2006). Nanopartículas hechas de poli(L-lactida-co-glicólido) marcado con fluorescencia: preparación, estabilidad y biocompatibilidad. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 6(9-10), 3048-3056. [[Enlaces](#)]
- Zhang, M., Shi, Z., Lu, S., & Wang, F. (2023). AMF Inoculation Alleviates Molybdenum Toxicity to Maize by Protecting Leaf Performance. *Journal of Fungi*, 9(4), 479. <https://doi.org/10.3390/jof9040479>