

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Aplicación De Nanopartículas De Óxido De Zinc En Chile Pimiento Para Inducir
Resistencia A Salinidad

Por:

DIEGO ERNESTO CORTEZ PÉREZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:
INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRÓNOMIA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Aplicación De Nanopartículas De Óxido De Zinc En Chile Pimiento Para Inducir
Resistencia A Salinidad

Por:

DIEGO ERNESTO CORTEZ PÉREZ

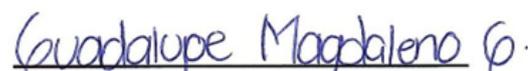
TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

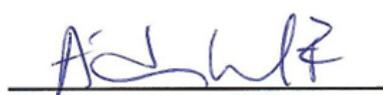
INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. Alonso Méndez López
Asesor Principal


M.C. Guadalupe Magdaleno García
Asesor Principal Externo


Dr. Antonio Juárez Maldonado
Coasesor


Dra. Aida Isabel Leal Robles
Coasesor


Dr. Jerónimo Landeros Flores
Coordinador Interino de División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México.

◀ Junio, 2023

Declaración de no plagio

El autor quien es responsable directo, jura bajo protesta de decir la verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrectas 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 (autor o plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propio; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, bibliografías, mapas o cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante


Diego Ernesto Cortez Pérez

Firma y nombre

Asesor


Dr. Alonso Méndez López

Firma y nombre

AGRADECIMIENTOS

A Dios, gracias por acompañarme y guiarme todos los días, gracias por haberme permitido vivir y lograr mis metas.

Al **Dr. Alonso Méndez López** por la oportunidad y el apoyo que me otorgo en el transcurso de este proyecto.

A la **M.C. Guadalupe Magdaleno García** gracias por otorgarme tu apoyo sin el cual este proyecto no hubiera tenido éxito.

A mis **hermanos Abigail Cortez Pérez, Elizabeth Cortez Pérez, Fabiola Cortez Pérez y Guillermo Cortez Pérez** gracias por siempre creer en mí, en momentos difíciles ustedes estuvieron apoyándome y alentándome a continuar.

A mi abuela **Ma. Luz Alvarado** gracias por darme tu inmenso cariño desde niño tú siempre me has apoyado y es por eso que te voy a querer hasta mi último día.

A mis amigos **Adrián Méndez, Fernando López, Julio Reyes**, gracias por siempre alentarme a concluir mis estudios profesionales y aunque pasamos momentos malos y buenos siempre nuestra amistad ha salido adelante.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por haberme permitido crecer y prepararme como un profesional en la Agronomía.

A todos los profesores del departamento de Horticultura que enriquecieron mi conocimiento con su sabiduría.

DEDICATORIAS

A mis padres **Otilio Cortez Alvarado** y **Candelaria Pérez Solís** ustedes con su esfuerzo y sacrificio han formado a la persona que soy el día de hoy, me han dado los mejores consejos de la vida y me hicieron creer en mí por primera vez. Ustedes son las personas más importantes en mi vida gracias por todo, “los amo mucho”.

A mi esposa y amiga **María Andrea Olguín Guerra** este logro es de los dos, tú siempre te has preocupado por mí y me has llenado de tu cariño. Solo quiero darte las gracias por confiar en mí y por todo el apoyo que tú me has brindado.

Te amo con todo mi corazón y doy gracias a Dios por haberme permitido formar parte de tu vida.

A mi abuelo **Otilio Cortez Vaca** usted ha sido una de las personas más apreciadas en mi vida, para mí será por siempre un ejemplo a seguir, usted me enseñó el significado del trabajo duro gracias por ser esa Figura que de niño me inspiró a querer sobresalir con mi trabajo.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	iv
DEDICATORIAS	v
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	x
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo general	3
1.2. Objetivo específico	3
1.3. Hipótesis	3
II. REVISION DE LITERATURA	4
2.1. Nanotecnología	4
2.2. Nanotecnología en la agricultura.....	4
2.3. Nanopartículas	5
2.4. Nanopartículas de óxido de zinc	6
2.5. Importancia de las propiedades de las nanopartículas	7
2.6. Morfología de las nanopartículas	7
2.7. Estrés	8
2.8. Manejo agronómico del cultivo chile pimiento (<i>Capsicum annuum</i> L.).....	9
2.9. Calidad de fruto.....	10
2.9.1. Efectos de la salinidad en la calidad	10
2.9.2. Importancia del pimiento morrón características nutraceuticas	11
III. MATERIALES Y MÉTODOS	12
3.1. Localización geográfica.....	12
3.2. Material Vegetativo	12
3.3. Síntesis y caracterización de nanopartículas de óxido de zinc	12
3.4. Tamaño de las nanopartículas	13

3.5. Priming de la semilla de pimiento con nanopartículas de óxido de zinc (morfología esférica y hexagonal)	13
3.6. Tratamientos	14
3.7. Crecimiento del cultivo	15
3.8. Evaluación de variables	17
3.9. Diseño estadístico	22
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
V. CONCLUSIONES	39
VI. BIBLIOGRAFÍA	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coeficiente de Cultivo para el pimiento morrón en diferentes etapas fenológicas.	10
Tabla 2. Aplicación de nanopartículas y nutrición de acuerdo al tratamiento. 14	
Tabla 3. Solución nutritiva empleada en el cultivo chile pimiento (para una solución de 1000 L).	16

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del invernadero donde se desarrolló el experimento.	12
Figura 2. Selección de frutos para evaluar las variables de calidad.	17
Figura 3. Medición de la variable contenido de sólidos solubles (°Brix) con un refractómetro digital.	18
Figura 4. Lectura de una muestra macerada de fruto de pimiento para la medición del pH con un medidor de bolsillo.	18
Figura 5. Lectura de la variable firmeza con ayuda de un penetrómetro.	19
Figura 6. Medición de la variable ORP en una muestra macerada de fruto de pimiento con ayuda de un medidor de ORP.	19
Figura 7. Titulación con una solución de NaOH al 0.1 para obtener los datos de la variable de acidez titulable.	20
Figura 8. Maceración de tejido de hoja liofilizado para evaluar el contenido de clorofilas.	21
Figura 9. Contenido de clorofila a en hojas de plantas de pimiento. Tratamientos con diferentes letras son significativamente diferentes (LSD Fisher, $p \leq 0.05$). PS: peso seco, mM: milimolar.	23
Figura 10. Contenido de clorofila b en hojas de plantas de pimiento. Tratamientos con diferentes letras son significativamente diferentes (LSD Fisher, $p \leq 0.05$). PS: peso seco, mM: milimolar.	24
Figura 11. Contenido de clorofila total en hojas de plantas de pimiento. Tratamientos con diferentes letras son significativamente diferentes (LSD Fisher, $p \leq 0.05$). PS: peso seco, mM: milimolar.	26
Figura 12. Contenido de fenoles en hojas de plantas de pimiento. Tratamientos con diferentes letras son significativamente diferentes (LSD Fisher, $p \leq 0.05$). PS: peso seco, mM: milimolar.	28

Figura 13. Contenido de flavonoides en hojas de plantas de pimiento. Tratamientos con diferentes letras son significativamente diferentes (LSD Fisher, $p \leq 0.05$). PS: peso seco, mM: milimolar.	29
Figura 14. Contenido de solidos solubles ($^{\circ}$ Brix) en frutos de pimiento. Tratamientos con diferentes letras son significativamente diferentes (LSD Fisher, $p \leq 0.05$). PS: peso seco, mM: milimolar.	31
Figura 15. pH en frutos de pimiento. Tratamientos con diferentes letras son significativamente diferentes (LSD Fisher, $p \leq 0.05$). mM: milimolar.	32
Figura 16. Conductividad Eléctrica en frutos de pimiento. Tratamientos con diferentes letras son significativamente diferentes (LSD Fisher, $p \leq 0.05$). mM: milimolar.	33
Figura 17. Firmeza en frutos de pimiento. Tratamientos con diferentes letras son significativamente diferentes (LSD Fisher, $p \leq 0.05$). mM: milimolar.	34
Figura 18. Contenido de Acidez Titulable en frutos de pimiento. Tratamientos con diferentes letras son significativamente diferentes (LSD Fisher, $p \leq 0.05$). mM: milimolar.	36
Figura 19. Potencial de Oxido Reducción en frutos de pimiento. Tratamientos con diferentes letras son significativamente diferentes (LSD Fisher, $p \leq 0.05$). mM: milimolar.	37

RESUMEN

La resistencia a la sal que pueden generar las plantas se puede considerar como la adaptación para lograr mantener un buen desarrollo mientras se tiene la presencia de alta salinidad en el sustrato o en la solución nutritiva; el Cloruro de Sodio (NaCl) en altas concentraciones puede llegar a provocar modificaciones en los procesos fisiológicos en las plantas de pimiento, por lo que, el objetivo de este trabajo fue investigar el efecto de diferentes aplicaciones de nanopartículas de óxido de zinc en un cultivo bajo la influencia de salinidad y su impacto en el contenido de clorofilas, compuestos antioxidantes no-enzimáticos (Fenoles y Flavonoides) y en la calidad del fruto. En este proyecto se utilizaron nanopartículas de óxido de zinc (NPs ZnO) con morfología diferente (Esféricas y Hexagonales) y en distintas concentraciones (0, 50 y 100 ppm) en plantas de chile pimiento (*Capsicum annuum L.*) bajo condiciones de estrés salino con NaCl a 50 mM. Los resultados muestran un aumento en el contenido de clorofilas, y en el contenido de antioxidantes no-enzimáticos con la aplicación de NPs de ZnO con morfología hexagonal a 100 ppm logrando aumentar el contenido de clorofilas un 61 %, el contenido de fenoles un 32 % y el contenido de flavonoides un 70 %, para las variables de calidad se puede observar que las nanopartículas modifican los valores con respecto al tratamiento con NaCl a 50 mM, sin embargo, los valores se mantienen en el rango del tratamiento testigo, por lo que se puede concluir que el uso de NPs de ZnO tienen un efecto en la producción de compuestos antioxidantes no-enzimáticos sin alterar los valores de calidad de los frutos.

Palabras claves: Cloruro de sodio, Clorofilas, Fenoles, Flavonoides, Calidad.

I. INTRODUCCIÓN

La nanotecnología es considerada una tecnología moderna que busca el desarrollo de nuevas alternativas para optimizar los productos o servicios en el área de salud, alimentación y el cuidado del medio ambiente (Villavicencio, 2017). Las nanopartículas es uno de los trabajos de la nanotecnología y se están utilizando para potenciar algunos rasgos que materiales a escalas mayores no presentan, como mayor reactividad química, resistencia o conductividad (Kaviya *et al.*, 2011; Asmat *et al.*, 2021). El trabajar de la mano con la aplicación de nanopartículas de óxido de zinc ha traído consigo buenos resultados en el desarrollo del crecimiento en varios cultivos hortícolas como frijol, tomate, pepino entre otros cultivos (Mahajan *et al.*, 2011; De la Rosa *et al.*, 2013; Guzmán *et al.*, 2023).

Todo ser vivo que se encuentra en la tierra esta propenso a ser influenciado por estrés, las plantas son seres vivos muy propensos a ser influenciados por algún tipo de estrés, por lo que han necesitado mantener una serie de cambios que permitan su adaptación al medio ambiente (Zhu, 2001; Rodríguez *et al.*, 2019). Cada día es más complicado poder obtener rendimientos altos debido al aumento constante de factores abióticos y bióticos que actúan como factores estresantes en los cultivos (Sarwat *et al.*, 2016; Rodríguez *et al.*, 2020).

El estrés se considera como todo aquello que interviene negativamente en el desarrollo de las plantas (Foyer *et al.*, 2016; Velasco *et al.*, 2020). El estrés biótico es causado o influenciado por la presencia de algún tipo de ser vivo como pueden ser los microorganismos donde destacan hongos y bacterias, y animales siendo los insectos los de mayor presencia en este ámbito, otras plantas diferentes a los cultivos establecidos pueden generar situaciones como la competencia por nutrientes, y los virus son factores que propician el estrés biótico (Atkinson & Urwin, 2012; López, 2021). Por otra parte, el estrés abiótico

engloba a los factores ambientales que modifican los procesos fisiológicos y metabólicos de las plantas de una manera negativa en los desarrollos de los cultivos (Taiz & Zeiger, 2010; Méndez & Vallejo, 2019).

Un factor estresante común presente en los cultivos es propiciado por la condición de salinidad, si se tienen niveles elevados de sodio (Na) extracelular se verá reducido el potencial hídrico del suelo ocasionando problemas para las plantas dificultando la asimilación de agua, nutrientes y sometiendo al cultivo a un estrés hídrico (Maathuis, 2014; San Martín, 2020). Zoma, (2018) mencionan que las plantas que sufren estrés salino presentan problemas por toxicidad iónica por un exceso de acumulación de iones Na y Cl ocasionando un desbalance nutricional, ya que las plantas dejan de asimilar otros iones como K, Ca, Mg para acumular Na, Cl. El NaCl es una de las sales más solubles que existen y de las que más pérdidas por salinidad ocasionan, ya que al tener problemas por estrés salino las plantas pueden presenciar estrés oxidativo, lo que genera una disminución del crecimiento en las plantas y pérdida de acumulación de biomasa (De la Torre, 2020). Una de las respuestas por parte de las plantas para tratar los problemas de estrés es la adaptación a nivel molecular, morfológica y fisiológica para poder continuar con su desarrollo (Belinchón, 2020).

El pimiento morrón es una hortaliza de gran importancia económica, la calidad que obtiene el pimiento está influenciada por el entono en el cual se desarrolló la nutrición, manejo agronómico, temperatura y el manejo que se le da después de la cosecha (Hernández-Fuentes *et al.*, 2010).

1.1. Objetivo general

Evaluar el impacto de la aplicación de nanopartículas de óxido de zinc de diferente morfología en el cultivo de pimiento morrón creciendo bajo estrés por salinidad.

1.2. Objetivo específico

Determinar el efecto de la salinidad y nanopartículas en el contenido de clorofilas de plantas de pimiento.

Analizar el efecto de las nanopartículas en el contenido de compuestos antioxidantes no enzimáticos.

Determinar si la aplicación de nanopartículas mejora la calidad de frutos de plantas de pimiento creciendo bajo estrés salino.

1.3. Hipótesis

Al menos un tipo de morfología de nanopartículas y una dosis inducirá resistencia al estrés salino en plantas de pimiento, incrementando compuestos antioxidantes sin afectar la calidad de fruto.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Nanotecnología

Hablar de la nanotecnología es referirnos a una rama de la ciencia la cual mantiene constantes investigaciones que buscan profundizar más acerca de las propiedades que adquieren los materiales al ser manipulados con dimensiones que se encuentran entre el rango de 1 a 100 nm de tamaño (Delgado, 2009). Debido al éxito que se han obtenido con la implementación de la nanotecnología a los principales sectores industriales, instituciones y organizaciones para dar una mayor eficiencia o mayor rendimiento a sus productos que manejan, es que se mantienen constantes investigaciones para poder seguir optimizando los sistemas con los que se cuenta (Ealia & Saravanakumar, 2017).

Debido al constante surgimiento de nuevas adversidades en el campo agrícola es necesario mantener investigaciones de vanguardia en busca de tecnologías innovadoras que sean capaces de dar respuestas positivas ante problemas cotidianos de los agricultores, la nanotecnología se ha utilizado para resolver problemas presentes en los campos agrícolas, como escasez de recursos dando como resultado una agricultura sostenible (Zúniga, 2019).

2.2. Nanotecnología en la agricultura

El uso de la nanotecnología en lo que se refiere al sector agrícola es amplio, Vargas *et al.* (2023) mencionan que para tener una agricultura sustentable se necesita el uso de insumos de origen mineral y biológico que actúen en los cultivos como un promotor de crecimiento vegetal; estimular el crecimiento de los cultivos genera plantas más vigorosas y resistentes. Hernández *et al.* (2023) mencionan algunos de los beneficios que obtienen los materiales al ser manejados a escala nanométrica (1 a 100 nm) y como estas nuevas propiedades favorecen a los campos agrícolas al ser una fuente de biostimulantes para el crecimiento de los cultivos favoreciendo a tener una agricultura más sustentable.

En la actualidad, el mundo se enfrenta a un gran reto en lo que respecta en la producción de alimentos para satisfacer a la población, dicha producción es la problemática ya que se necesita tener una agricultura sustentable y sostenible que pueda soportar problemas como la poca disponibilidad del recurso agua, los constantes trastornos ambientales que ocasionan la presencia de cambios climáticos, los problemas que se tienen por suelos desgastados y pobres en nutrición; la nanotecnología se presenta como una alternativa que ha mostrado buenos resultados en mejorar la absorción de nutrientes y agua por parte de las plantas (Huerta, 2021).

2.3. Nanopartículas

El trabajar con nanopartículas permite la creación de agroproductos como los nanofertilizantes, nanopesticidas, nanoherbicidas, estos materiales al tener un tamaño nanométrico (1 nm a 100 nm) cuentan con diferentes propiedades reactivas y bioactivas (Elizabeth *et al.*, 2019), lo que impacta en el desarrollo de los cultivos. Torres *et al.* (2016) hablan acerca de los efectos positivos y negativos en la germinación y el vigor al tratar las semillas con nanopartículas, puede verse plántulas que tengan un mejor vigor de tallo o mejor desarrollo de raíz dependiendo del material vegetativo que se trabaje y las concentraciones de las NPs.

El uso de nanopartículas promete resultados eficientes para dar solución a problemas cotidianos que presentan los productores, adaptando la tecnología para satisfacer la necesidad humana, siendo de gran ayuda sus propiedades que ganan al tener un tamaño nanométrico, esto da como origen la posibilidad de optimizar o estimular procesos con la finalidad de obtener mejores resultados (Gordillo *et al.*, 2019). Su poder de acción ha sido comprobado como un inhibidor de la progresiva propagación de la bacteria *Erwinia amilovora*, con el uso de nanopartículas de plata (NPsAg) a concentraciones de 200 ppm, demostrando que los materiales con escala nanométrica tienen propiedades benéficas en el desarrollo de la agricultura (Mercado, 2021).

Se han estado utilizando las nanopartículas como un nuevo enfoque en la búsqueda de un desinfectante para lograr la obtención de cormos saludables libres de patógenos y poder resolver una problemática de propagación del

gladiolo, las propiedades anti-fúngicas de las nanopartículas están relacionadas con sus propiedades bioquímicas, las cuales les permiten actuar como un potente desinfectante (Chávez, 2019).

2.4. Nanopartículas de óxido de zinc

El zinc es un micronutriente esencial para que los cultivos puedan tener un buen desarrollo, tiene importancia en la germinación de semillas, producción de clorofilas, en la nutrición (Rajiv & Vanathi, 2018). Las nanopartículas de óxido de zinc (NPsZnO) han estado en constantes investigaciones por sus buenas respuestas cuando son aplicadas vía foliar, y en concentraciones bien definidas darán respuestas positivas, tal es el caso del cultivo de chile el cual fue favorecido con un buen desarrollo; uno de los motivos por los cuales las plantas tratadas con nanopartículas de óxido de zinc (NPsZnO) presentaron un mejor desarrollo puede atribuirse a que el elemento Zn funciona como un promotor de crecimiento al gestionar la producción de auxinas que promueven la elongación y división celular (Méndez *et al.*, 2016).

Saqib *et al.* (2022) reportaron que las nanopartículas de óxido de zinc (NPsZnO) a concentraciones 25, 50 y 100 µg/mL tienen un potencial antifúngico, antibacterial y antioxidante, lo que les permitió tener mejoras en el crecimiento de las plantas. Las nanopartículas de óxido de zinc suministradas de manera foliar tienen un efecto positivo en los frutos como mejora de la calidad, aumento de acidez titulable y sólidos solubles (García *et al.*, 2019).

Cereceda *et al.* (2021) hablan de las nanopartículas de óxido de zinc (NPsZnO) y como estas son una alternativa diferente, por la cual podemos aplicar nutrientes a los cultivos por vía foliar o drench para suministrar uno de los microelementos esenciales y como este actúa como un cofactor con la enzima que moviliza el fósforo ayudando a la asimilación por las raíces de las plantas.

Trabajos con plántulas de tomate tuvieron respuestas significativas al ser tratadas con nanopartículas de óxido de zinc, mostrando impacto en el vigor de las plántulas, además de parámetros como diámetro de tallo y altura mostraron datos superiores en comparación del control (Moreno, 2017).

2.5. Importancia de las propiedades de las nanopartículas

Los materiales nanométricos cuentan con propiedades que los hacen diferentes a otros tipos de materiales, el tamaño de partícula, tamaño de poro, carga superficial, estructuras cristalinas y amorfas, tipos de formas esféricas, cilíndricas, reactividad, sensibilidad a factores ambientales (Ealia & Saravanakuma, 2017). Todos los nanomateriales cuentan con una carga eléctrica o grupos químicos capaces de interaccionar con el medio ambiente y formar un enlace con el nanomaterial generando un cambio de tamaño y carga eléctrica superficial de los nanomateriales y comienza a modificar sus propiedades físicas, químicas y biológicas iniciales, la estabilidad de los nanomateriales en distintos medios está determinada por la cantidad de carga eléctrica que posea la nanopartícula el tamaño influirá en relación a la carga eléctrica partículas de mayor tamaño serán menos estables por un valor menor en su carga eléctrica a diferencia de nanopartículas de menor tamaño que tendrán una mayor carga eléctrica y serán más estables (César & Mendoza, 2023).

2.6. Morfología de las nanopartículas

Las nanopartículas tienen una relación con su morfología (forma y tamaño) y su efectividad o modo de acción que tienen en las plantas, el tamaño del nanomaterial influirá en la capacidad que tendrá el mismo para poder penetrar las barreras biológicas de las plantas, y por consecuencia la capacidad de transportar ese nutriente que contienen, otro factor que puede modificar las barreras biológicas son las condiciones de crecimiento (Echevarría, 2019).

La variable de tamaño en nanopartículas en este caso de óxido de zinc tiene relación con el tiempo de calcinación que dure su método de síntesis mostrando un comportamiento de a mayor número de horas sometidas al método de calcinación tendrá un incremento en el tamaño de las partículas obtenidas (Türk *et al.*, 2019). Ramos & Paco (2021), en su trabajo menciona que a los diferentes tiempos de calcinación al que fueron expuestos las nanopartículas estos mostraron modificación en la morfología de las nanopartículas, logrando obtener nanopartículas con forma esférica, pero a medida que incrementaba el tiempo al

que se sometían a la calcinación el comportamiento fue de un ligero alargamiento de tamaño.

Acevedo *et al.* (2023), en su trabajo expone la importancia de obtener nanopartículas más pequeñas ya que estas entre menor tamaño tengan los materiales usados sus propiedades antibacteriales serán mayores, por lo que utilizan distintos métodos de síntesis de nanopartículas para determinar con cuál de ellos se obtienen partículas de menor tamaño, más estables y con una mayor acción antibacterial.

2.7. Estrés

En la agricultura moderna es difícil obtener buenos rendimientos por la gran variedad de factores bióticos y abióticos que toman un papel estresante para las plantas, lo que limita las producciones agrícolas (Sarwat *et al.*, 2016; Rodríguez *et al.*, 2020). El estrés salino está limitando severamente las producciones dando bajos rendimientos a los productores, debido a la expansión de la agricultura a nuevas áreas donde generalmente se está teniendo este problema es necesario buscar alternativas para limitar las pérdidas que se tienen por este problema (Zulfiqar *et al.*, 2022).

2.7.1. Bióticos

La medida que se ha utilizado para combatir el estrés biótico es la aplicación de productos fungicidas y selección de material vegetativo resistente lo que no ha sido tan eficiente por la aparición de nuevos patógenos reflejando un aumento en el uso de productos biológicos o moléculas inductoras de defensas para las plantas (Nasir *et al.*, 2014; García, 2018).

2.7.2. Abióticos

La presencia de estrés salino genera cambios en procesos fisiológicos, modifica las cualidades biométricas de las plantas y bioquímicas, lo que puede ser una fuente de inducción a nuevos tipos de estrés como el iónico, osmótico y oxidativo (Machado-Guimarães *et al.*, 2020; López *et al.*, 2021). En el suelo si se tienen niveles altos de salinidad se puede ver presente un estrés iónico en las plantas, generando dificultad para poder asimilar elementos como el Fe, K, P y contrario

con el elemento Na que induce un exceso de asimilación generando una intoxicación a la planta (Shiyab, 2011). La acumulación de prolina es un parámetro que se obtiene en las plantas de pimiento como una respuesta a la presencia de estrés salino, lo que se puede utilizar como un parámetro para la selección de material vegetativo resistente al estrés salino (Gutiérrez, 2021).

2.8. Manejo agronómico del cultivo chile pimiento (*Capsicum annuum* L.)

El pimiento morrón es una hortaliza muy importante, la cual es producida en la mayoría de los países, México ocupa el 2do lugar en producción de pimiento a nivel mundial con una producción de 3 238 245.00 toneladas en una superficie cultivada de 149 577 ha (FAOSTAT, 2020; Gutiérrez, 2021).

2.8.1. Siembra

Para permitir un buen desarrollo de las plantas de pimiento es necesario acondicionar el terreno para lograr tener éxito en el cultivo, se recomienda realizar labores de barbecho, rastreo, nivelación y surcado, también mantener libre de maleza para evitar problemas con enfermedades (Guevara *et al.*, 2018). Para obtener buenos rendimiento y buena calidad de fruta, Monge-Pérez (2016), recomienda utilizar una densidad de siembra de 2.60 plantas en un metro cuadrado.

2.8.2. Requerimientos de suelo y nutrición para el chile pimiento

El cultivo de pimiento se puede desarrollar de una manera adecuada en suelos que sean francos o franco-arenoso, que cuenten con un buen sistema de drenaje y con un rango de pH entre los 6.5 a 7 (FASAGUA, 2007; González, 2008). Para evitar problemas en el desarrollo de las plantas de pimiento es necesario mantener disponible en el medio de producción los elementos Nitrógeno (N), Fosforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca) y Magnesio (Mg), ya que, de lo contrario si la planta no tiene disponible estos elementos se comprometerá su desarrollo y comenzaran a presenciar necrosis en hojas, pudrición de frutos, clorosis en hojas viejas (Silva *et al.*, 2017).

2.8.3. Necesidades hídricas

El cultivo de pimiento morrón necesita un total de 600 mm a 900 mm de agua, pero si el cultivo es extensivo puede llegar a requerir hasta 1250 mm de agua (FAO, 2023).

Tabla 1. Coeficiente de Cultivo para el pimiento morrón en diferentes etapas fenológicas.

Etapa del cultivo	Coeficiente de cultivo (kc)
Después del trasplante	0.4
Durante el desarrollo vegetativo	0.95 a 1.1
Durante la cosecha	0.8 a 0.9

Fuente: (FAO, 2023).

2.8.4. Requerimientos térmicos

Las plantas de pimiento se pueden desarrollar entre los 15 a los 35°C, si se sobre pasan esos límites la planta puede llegar a padecer daños fisiológicos irreversibles (FAO, 2002; Castillo & Cabrera, 2017).

2.9. Calidad de fruto

Según la FAO (2020), la calidad que presenta una fruta está relacionada con 2 factores, los extrínsecos que son el ambiente en el cual se desarrolló y el manejo que se le proporcione durante la cosecha y pos cosecha, y los factores intrínsecos son los atributos que acumulo en su proceso de producción como lo son apariencia visual, sabor, textura, contenido nutricional.

La calidad del fruto está relacionada al momento en que es cosechado el fruto, los frutos que son recién cosechados tienen apariencias más frescas, se observó que los frutos modificaban su calidad conforme maduraban teniendo un impacto de aumento en los parámetros de vitamina C, acidez titulable y sólidos solubles, por otra parte, se vio afectado negativamente disminuyendo los valores de clorofila, firmeza del fruto y color (Camacho, 2020).

2.9.1. Efectos de la salinidad en la calidad

Las plantas que son sometidas a cualquier tipo de estrés son más susceptibles a ser atacadas por patógenos o plagas, son plantas menos productivas y generan frutos con menor calidad (López, 2021). Pérez *et al.* (2020), mencionan

que las plantas de pimiento que son sometidas a una C.E. de $3 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ hacia arriba producen frutos con mayor cantidad de antioxidantes y un valor nutraceutico más elevado.

2.9.2. Importancia del pimiento morrón características nutraceuticas

El pimiento morrón es consumido en estado fresco o cocinado, el contenido nutricional de la fruta cuenta con propiedades que resultan ser benéficas al ser consumidas, Castells *et al.* (2021) recomiendan consumir frutas y verduras para mantener un mejor estado de salud ya que su consumo favorece a tener un menor riesgo de mortalidad, enfermedades cardiovasculares, algunos tipos de cáncer, problemas como la obesidad y diabetes son algunos de los beneficios de mantener una alimentación balanceada y correcta.

El contenido nutraceutico que tienen los frutos de la familia Solanácea es un tema que se avenido al alza por motivos como el de contar con abundancia de componentes bioactivos, tales como los fenoles, flavonoides y vitaminas, que son eficientes para problemas cardiovasculares (Materska & Perucka, 2005). Estos compuestos ayudan a modular el estrés oxidativo relacionado con el envejecimiento y las enfermedades (Sanatombi, 2023).

Debido al contenido de fibras y su contenido nutricional que tienen los frutos de pimiento morrón se han estado innovando trabajos para la elaboración de productos a base de harina de pimiento como es el caso de pan artesanal con un contenido nutricional mayor a un pan producido a base de harina de trigo (Maldonado *et al.*, 2018). Los frutos de pimiento son en comparación con otros frutos un alimento funcional con un contenido alto de antioxidantes y un valor nutricional más alto lo que favorece a la salud humana positivamente si estos son consumidos habitualmente (Martínez *et al.*, 2020).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización geográfica

El proyecto experimental fue desarrollado en un invernadero #2, tipo túnel, que cuenta con una cubierta de policarbonato ubicado en las coordenadas 25.3555731° latitud y 100.031542° longitud, a una altura sobre nivel del mar de 1780 m, de la dirección de investigación y en el laboratorio de Fisiología Vegetal del Departamento de Botánica de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.



Figura 1. Ubicación del invernadero donde se desarrolló el experimento.

3.2. Material Vegetativo

Para este proyecto se utilizó semillas de chile pimiento híbrido (DESEO F1), esta semilla produce una planta de porte vigoroso y abierta, muy uniforme y con una facilidad de cuaje ante diversas situaciones. La semilla de chile pimiento fue desarrollada por la casa semillera HM. CLAUSE.

3.3. Síntesis y caracterización de nanopartículas de óxido de zinc

La síntesis de las nanopartículas se llevó a cabo en el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), fue empleado acetato de zinc dihidratado (Zn

($(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$, ZnAc, 99%), trietilamina (TEA, 99%), n-propilamina ($\text{C}_3\text{H}_9\text{N}$, 99.5%), los reactivos fueron aportados por parte de Sigma Aldrich, etanol de grado industrial y agua desionizada triplemente destilada.

De acuerdo a la metodología que menciona González *et al.* (2021) se prepararon las nanopartículas de óxido de zinc. Se efectuó la síntesis con la incorporación de dos soluciones, la primera solución estaba compuesta por 8.928 g de ZnAc diluidos en una mezcla de agua/TEA (300 mL/5.36 mL), y la segunda solución era una mezcla de n-propilamina/etanol (1.42 mL/1700mL). Las dos soluciones se agregaron y fueron agitadas a 80° C por un periodo de 6 a 12 horas dependiendo la estructura que se quisiera obtener. El precipitado fue centrifugado, se lavó con etanol para suprimir los reactivos que no reaccionaron y se secó a temperatura ambiente en el transcurso de la noche. Se prepararon nanopartículas de ZnO con distintos tiempos de reacción para disponer de nanopartículas con morfologías esféricas y hexagonales.

La estructura cristalina que presentaron las nanopartículas de óxido de zinc (NPsZnO) se analizó mediante una difracción de rayos X (XRD) con un difractómetro Siemens D-500 (radiación $\text{CuK}\alpha$, = 1.5418 Å, SIEMENS, Múnich, GER). El tamaño del cristal se pudo calcular empleando la ecuación de Debye Scherrer. La morfología fue observada por microscopia electrónica de transmisión de alta resolución (HRTEM, Titan 80-300 kV, empresa FEI, Hillsboro, OR, EE. UU.).

3.4. Tamaño de las nanopartículas

Se logró la obtención de nanopartículas hexagonales a las 6 horas y nanopartículas esféricas a las 12 horas, la distribución de tamaños para las nanopartículas esféricas fue en un rango de 7.5 a 42.5 nm y para las partículas hexagonales el rango se encontró entre 25 nm a 25 micrómetros μm .

3.5. Priming de la semilla de pimienta con nanopartículas de óxido de zinc (morfología esférica y hexagonal)

Se alistaron distintas soluciones de NPs de ZnO, partiendo de una solución madre de 5000 ppm de nanopartículas de óxido de zinc con morfología hexagonal y esférica se pesó 1 g de nanopartículas, posteriormente se procedió

aplicar 200 mL de agua destilada y fueron dispersadas empleando un sonificador (Vevor) por un periodo de 30 minutos bajo una temperatura de 25 C° para conseguir la formación de una suspensión homogénea evitando la aglomeración de las nanopartículas, partiendo de esta solución se prepararon diluciones con una concentración de 50 y 100 ppm.

Fueron colocadas las semillas en cajas Petri con medidas (90x15mm) y se les suministro diferentes concentraciones de NPs de ZnO (0, 50, 100 ppm) se usaron 15 mL de suspensión de nanopartículas de óxido de zinc de cada tratamiento y se le suministro a la semilla para generar la imbibición, se mantuvieron bajo oscuridad con 28 ± 1 °C por un lapso de 18 horas en una cámara de crecimiento (Quincy Lab Inc, modelo 12-140 incubator). Una vez concluido el tiempo las semillas se colocaron en reposo bajo temperatura ambiente hasta que lograron conseguir la humedad original. Durante el desarrollo del cebado de las semillas se empleó agua destilada.

3.6. Tratamientos

Los tratamientos aplicados en el proyecto fueron los siguientes:

Tabla 2. Aplicación de nanopartículas y nutrición de acuerdo al tratamiento.

Tratamiento	Aplicación de nanopartículas	Solución nutritiva Steiner (1961)
T0	Sin aplicación	100 %
T1	Sin aplicación	100% con NaCl a 50 mM
T2	Nanopartículas con morfología esférica a 50 ppm	100% con NaCl a 50 mM
T3	Nanopartículas con morfología esférica a 100 ppm	100% con NaCl a 50 mM
T4	Nanopartículas con morfología hexagonal a 50 ppm	100% con NaCl a 50 mM
T5	Nanopartículas con morfología hexagonal a 100 ppm	100% con NaCl a 50 mM

Una vez transcurrieron 7 días de haber realizado el trasplante de la plántula de pimiento (DDT), se comenzó a realizar las aplicaciones del NaCl a los tratamientos que lo solicitaban, la manera en que se aplicó el NaCl fue vía fertirriego junto con una solución Steiner (1961). De manera Foliar fue que se realizaron las aplicaciones de las Nanopartículas de óxido de zinc (NPs ZnO) cada aplicación que se realizaba tenía un intervalo de 15 días entre aplicación hasta completar 5 aplicaciones, los días que fueron suministradas las NPs fueron 15, 60, 45, 60, 75 días después de haber realizado el trasplante (DDT) y suministrando 5, 10, 15, 20, 25 mL por planta.

3.7. Crecimiento del cultivo

3.7.1. Siembra

La semilla se puso a germinar en charola de unicel de 200 cavidades el día 2 de abril del 2022, esta se llenó con una mezcla de Petmost-Perlita con una relación 1:1 y fue colocada la semilla de pimiento híbrido (Deseo F1) previamente cebadas con las diferentes soluciones de nanopartículas y colocadas bajo oscuridad por 48 horas, la plántula emergió a los 11 días.

3.7.2. Preparación de sustrato

Se realizó una mezcla de sustratos Turba (Peat Moss-Perlita con una relación 1:1 v:v), se hidrato con agua y fue colocada en macetas de polietileno con capacidad de 10 kg las cuales fueron colocadas dentro del invernadero con una distancia de 30 cm entre maceta.

3.7.3. Trasplante

La plántula de pimiento híbrido (Deseo F1) fue trasplantada en el invernadero a los 52 días después de haber sembrado la charola germinativa, se colocó una plántula por maceta.

3.7.4. Riego

El sistema de riego empleado para este proyecto fue un sistema por goteo con espagueti, se adaptaron 2 distintos tinacos con capacidad para 1000 L a los cuales se les integró una bomba sumergible que alimentaba a las mangueras

para poder llevar la solución nutritiva a las macetas, se programó un temporizador de riego para suministrar 0.350 L a cada maceta por riego dando un total de 3 riegos por día.

3.7.5. Nutrición

Para suministrar los elementos necesarios para tener un óptimo desarrollo la planta de pimiento se prepararon 2 tinacos con una capacidad para 1000 L, se trabajó con una solución nutritiva Steiner y una solución nutritiva Steiner más la aplicación de NaCl a 50 mM en la solución nutritiva (Cuadro 2).

Tabla 3. Solución nutritiva empleada en el cultivo chile pimiento (para una solución de 1000 L).

Fertilizante	25%	50%	100%
Nitrato de calcio (CaNO ₃)	165.25 g	330.5 g	661 g
Nitrato de potasio (KNO ₃)	60.75 g	121.5 g	243 g
Sulfato de potasio (K ₂ SO ₄)	65.25 g	130.5 g	261 g
Sulfato de magnesio (MgSO ₄)	46 g	92 g	184 g
Ácido Fosfórico (H ₃ PO ₄)	17.5 mL	35 mL	70 mL
Ácido Nítrico (HNO ₃)	85.5 mL	171 mL	342 mL
Micro Mix (Ultrasol)	5 g	10 g	20 g
NaCl	2922 g	2922 g	2922 g

Fuente: Solución Steiner (1961) con algunos cambios para adaptarse a la disponibilidad de fertilizantes.

3.7.6. Tutorado

Las plantas de pimiento fueron manejadas a 2 tallos, por lo que se empleó un tutorado tipo holandés para evitar que los tallos de la planta se rompieran.

3.7.7. Podas

La poda en las plantas de pimiento tiene como fin evitar que las plantas continúen gastando recursos en órganos que no son de interés y que puedan intervenir en el desarrollo de otros que si nos interesen como los frutos o los tallos guías. Eliminar las hojas por debajo de la bifurcación permite que el aire circule de mejor manera y mantiene una mejor sanidad.

3.7.8. Manejo de plagas

Debido a la presencia de trips (*Franklinella occidentalis*) en el cultivo de pimiento fue necesario realizar aplicaciones de insecticidas para controlar la proliferación y eliminar los adultos, se realizaron aplicaciones de Engeo de la empresa (Syngenta) con ingrediente activo Thiametoxan y aplicaciones de CONFIDOR de la empresa (Bayer) con ingrediente activo Imidacloprid, cada uno aplicado en dosis recomendada para cada plaga por el desarrollador.

3.8. Evaluación de variables

3.8.1. Compuestos antioxidantes no enzimáticos en hoja

Se muestrearon 3 hojas jóvenes por repetición a los 52 días (DDT) y se colocaron en una hielera, después fueron almacenadas en un congelador marca mabe modelo CHM7BPL1 a una temperatura de -20°C, para posteriormente liofilizar el tejido en un liofilizador marca AITPAT a una temperatura de -53.9 °C y una presión de 00001 Pascales.

3.8.2. Calidad del fruto

Para poder determinar la calidad de los frutos fueron seleccionados y recolectados 4 frutos por cada tratamiento (uno por cada planta) que contaran con un tamaño uniforme y que tuvieran una tonalidad completamente amarilla.



Figura 2. Selección de frutos para evaluar las variables de calidad.

3.8.3. Contenido de sólidos solubles (°Brix)

La medición de esta variable se consiguió con una muestra de fruto completamente macerada, se tomó una gota del extracto y se situó en el lector

del refractómetro digital (HI96801, Hanna Instruments Inc.), para conseguir la medida de contenido de sólidos solubles expresada en %.

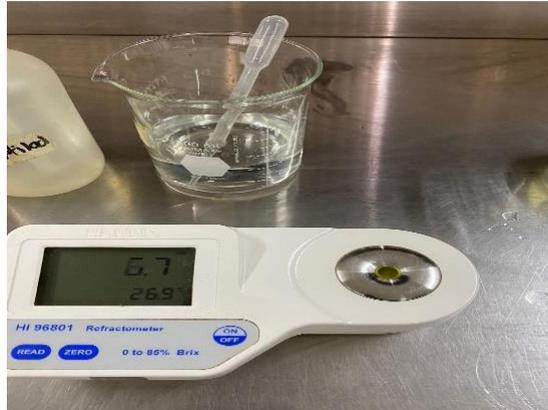


Figura 3. Medición de la variable contenido de sólidos solubles (°Brix) con un refractómetro digital.

3.8.4. C.E

Para conseguir los datos de Conductividad Eléctrica se maceró una muestra de fruto y con ayuda de un medidor de bolsillo (HI98129, Hanna Instruments Inc.) se obtuvieron las medidas.

3.8.5. pH

Los datos de pH fueron obtenidos con una muestra de fruto macerado y empleando un medidor de bolsillo (HI98129, Hanna Instruments Inc.) fue que se consiguieron los datos.



Figura 4. Lectura de una muestra macerada de fruto de pimiento para la medición del pH con un medidor de bolsillo.

3.8.6. Firmeza

Para poder medir la variable de firmeza fue necesario el uso de un penetrómetro digital (PCE-PTR 200, grupo PCE, Albacete, castellana mancha, España), equipado con una punta de 8.0 mm, el método fue introducir la punta del penetrómetro en 3 puntos diferentes del fruto para recaudar un dato en promedio, los datos fueron reportados en kg cm^{-2} .



Figura 5. Lectura de la variable firmeza con ayuda de un penetrómetro.

3.8.7. Potencial ORP

Para lograr determinar el potencial de óxido reducción se necesitó una muestra macerada de extracto de fruto en un vaso de precipitado, en el cual se introdujo un medidor de ORP marca (GAIN EXPRESS, ORP-228/ORTK-228) por un periodo de 5 minutos, las lecturas se registraron en Milivoltio (mV).



Figura 6. Medición de la variable ORP en una muestra macerada de fruto de pimiento con ayuda de un medidor de ORP.

3.8.8. Acidez titulable

La variable de acidez titulable fue obtenida empleando una muestra de 10 mL de pulpa de fruto, a la cual se le agregaron solamente 2 gotas de fenolftaleína (1%) y se le realizó una titulación con una solución de NaOH 0.1 N hasta llegar al

punto de viraje (rosa) (AOAC, 1990), los datos que fueron recaudados se expresaron en porcentaje de ácido cítrico a través de la siguiente formula:

$$\%acido = \frac{V * N * Meq * 100}{Alicuota\ valorada}$$

Datos:

V= Volumen de NaOH que se utilizó para la titulación

N= Normalidad de NaOH

Meq= Miliequivalentes de ácido. El valor equivalente de base a ácido para el ácido cítrico es: 0.064.

Alícuota valorada= Peso en gr o volumen de muestra en mL.



Figura 7. Titulación con una solución de NaOH al 0.1 para obtener los datos de la variable de acidez titulable.

3.8.9. Clorofilas

Para poder determinar el contenido de clorofilas se utilizó el método que menciona Nagata y Yamashita (1992). Se utilizó 0.1 g de tejido liofilizado de hojas, se le agregaron 2 mL de una solución de hexano: acetona (3:2). Del sobrenadante se extrajo una alícuota y se procedió a medir las absorbancias a 645 y 663 nm, las medidas obtenidas fueron empleadas para determinar el contenido de clorofilas aplicando las ecuaciones:

$$Chl\ a = 0.999\ x\ Abs\ 663 - 0.0989\ Abs\ 645$$

$$Chl\ b = -0.328\ x\ Abs\ 663 + 1.77\ x\ Abs\ 645$$

$$Chl\ total = Chl\ a + chl\ b$$



Figura 8. Maceración de tejido de hoja liofilizado para evaluar el contenido de clorofilas.

3.8.10. Contenido total de Fenoles

Para poder determinar el contenido total de fenoles en el extracto de hoja se empleó el método de Folin-Ciocalteu, con el uso de ácido gálico como compuesto fenólico estándar. Se consiguió la curva estándar con ayuda de diluciones seriadas de una solución stock de ácido gálico (1000 ppm). El proceso de cuantificación de compuestos fenólicos se realizó a través de la metodología de Singleton *et al.* (1999), se procedió a pesar muestras de 100 mg de extracto de hoja, se colocaron en tubos de 2 mL y se le agregó 1000 μL de solución agua: acetona (1:1), se utilizó un vortex durante 30 segundos para homogeneizar la mezcla, se sonó usando un (Ultrasonic Cleaner Branson 1510) por un lapso de 5 minutos, fueron sometidas a una centrifugación a 12,500 revoluciones por minuto (rpm) por 10 minutos bajo una temperatura de 4 °C esto en una microcentrifuga (Labnet Prism™ R), posteriormente se procedió a extraer el sobrenadante, del extracto generado se tomaron muestras de 17 μL y se colocaron en tubos eppendorf, se agregaron 70 μL de reactivo Folin-Ciocalteu, junto con 174 μL de carbonato de sodio (Na_2CO_3) al 20%, se agregaron 1740 μL de agua destilada, la mezcla fue llevada a vortex por 30 segundos para luego ser colocadas en baño María por un lapso de tiempo de 30 minutos a 45 °C, la absorbancia se analizó en una longitud de onda de 750 nm en un espectrofotómetro (VE-5600 VELAB). El contenido de fenoles totales que obtuvieron las muestras analizadas, fue expresado en mg equivalentes de ácido gálico por gramo a través de la curva de calibración con ácido gálico (mg g^{-1}).

3.8.11. Contenido total de flavonoides

El proceso de cuantificación de flavonoides totales fue a través del método de Down, adaptado por Arnvouent (1994), la absorbancia se analizó en una longitud de onda de 415 nm en un espectrofotómetro (VE-5600 VELAB). El contenido de flavonoides totales que obtuvieron las muestras analizadas, fue expresado en mg equivalentes de quercentina por gramo a través de la curva de calibración con quercentina (mg g^{-1}).

3.9. Diseño estadístico

El diseño experimental empleado en este proyecto fue un diseño de bloques completamente al azar compuesto por 6 tratamientos cada uno, conformado por 8 unidades experimentales. La evaluación de variables de calidad y compuestos antioxidantes no enzimáticos consto de 4 repeticiones por tratamiento. El procesamiento de los datos fue a través del programa Infostat versión 2020, donde se desarrolló un análisis de varianza con una comparación de medias empleando la prueba de LSD Fisher ($P \leq 0.05$). Para realizar las gráficas se utilizó el programa SigmaPlot, versión 12.0.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Clorofila a

De acuerdo a los resultados obtenidos en la variable de clorofila a, el análisis estadístico reveló que el tratamiento de NPs Hexagonales 100 ppm resulto ser mejor en comparación con el testigo por un 48% mayor de efectividad, teniendo el valor más alto de todos los tratamientos. Todos los tratamientos mostraron valores más altos significativamente en comparación con el testigo.

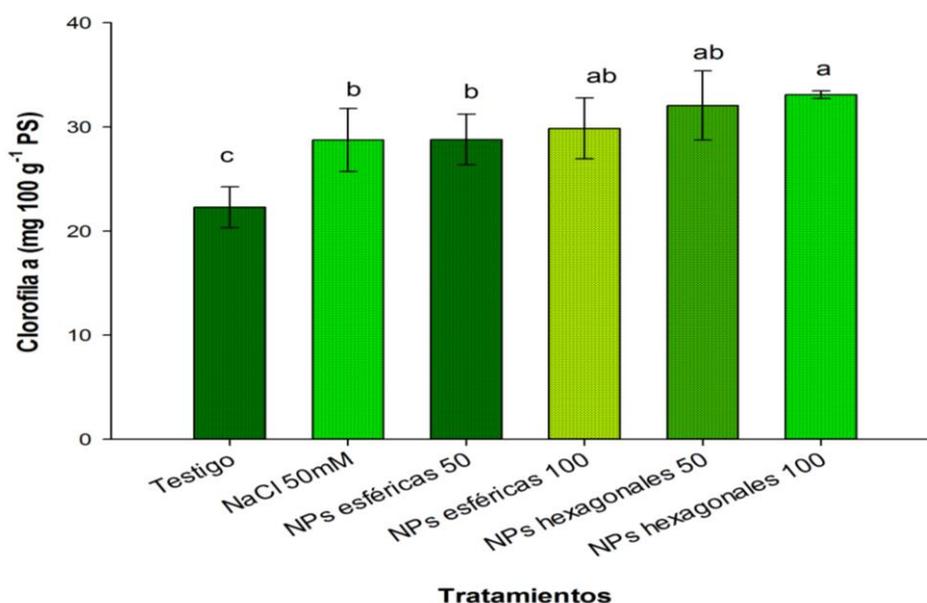


Figura 9. Contenido de clorofila a en hojas de plantas de pimienta.

Tratamientos con diferentes letras son significativamente diferentes (LSD Fisher, $p \leq 0.05$). PS: peso seco, mM: milimolar.

Las plantas a las que se les aplicó nanopartículas de óxido de zinc mostraron una mayor producción de clorofila a (Figura 9), los valores muestran un comportamiento diferente para las distintas concentraciones de nanopartículas, en este sentido Răcuciu *et al.* (2022), mencionan que los efectos de las nanopartículas de magnetita en las plantas de maíz (*Zea mays*) en aplicaciones foliares son capaces de aumentar la producción de clorofila a, aplicando

diferentes concentraciones observo que el comportamiento no es el mismo puesto que las plantas no producen la misma cantidad de clorofila.

Moreno *et al.* (2008) mencionan que las plantas terrestres modifican su concentración de clorofila a en relación del entorno que las rodea, si las plantas se encuentran con un agente capaz de alterar sus procesos fisiológicos estas tienden a modificar su producción de clorofila a, debido a las propiedades fisicoquímicas que tienen las nanopartículas es que las plantas sufren alteraciones en su metabolismo, por lo que puede ser una causa del aumento en la producción de clorofilas, como respuesta de un estímulo generado por la aplicación de nanopartículas (Ghafariyan *et al.*, 2013).

4.2. Clorofila b

Para la variable de clorofila b, los datos obtenidos con ayuda del análisis estadístico nos indicó que los tratamientos son significativamente diferentes al testigo, donde destaca el tratamiento con nanopartículas de óxido de zinc con morfología hexagonal a una concentración de 100 ppm (Figura 10), mostrando un incremento del 85% con respecto al testigo en cuanto a producción de la clorofila b.

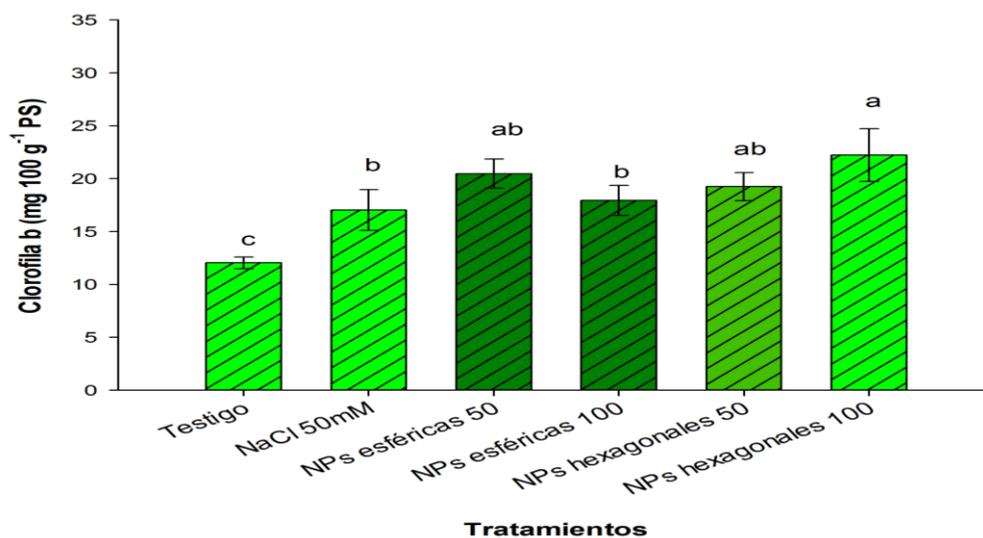


Figura 10. Contenido de clorofila b en hojas de plantas de pimienta.

Tratamientos con diferentes letras son significativamente diferentes (LSD Fisher, $p \leq 0.05$). PS: peso seco, mM: milimolar.

Las NPs de ZnO tienen la capacidad de aumentar la concentración de clorofila b en las plantas de pimiento, este efecto fue reportado por Adil *et al.* (2022) quienes observaron el comportamiento de las plantas de trigo bajo condiciones de estrés salino y con aplicaciones de NPs de ZnO, las plantas mostraron un aumento en la producción de clorofila b de 10% exponiendo la mejor efectividad que tienen los nanomateriales en comparación con los elementos mismos elementos en escalas de tamaño mayor.

El proceso de fotosíntesis puede verse alterado si se tiene la presencia de algún agente causante de estrés (hídrico, salinidad) o por la presencia de alguna sustancia toxica en donde podemos encontrar las nanopartículas, las nanopartículas pueden aumentar la actividad fotosintética ya que estas pueden mejorar la recolección de luz por parte de las plantas (Tripathi *et al.*, 2016).

Las nanopartículas pueden usarse como promotoras del crecimiento de las plantas, ya que son capaces de aumentar la producción de clorofila estimulando los procesos metabólicos (Delfani *et al.*, 2014), lo que pudo haber sido la causa del aumento de producción de clorofila b en las hojas jóvenes de las plantas en este trabajo.

4.3. Clorofilas totales

Los resultados obtenidos en el análisis muestran diferencias significativas entre los tratamientos comparados con el testigo, los tratamientos con NPs de ZnO hexagonales a concentración de 100 ppm promovió la mayor producción de clorofilas totales, con un incremento de 61% comparado con el testigo absoluto. Todos los tratamientos que fueron influenciados por la presencia de salinidad alta tuvieron un valor significativamente mayor que el testigo absoluto en producción de clorofila.

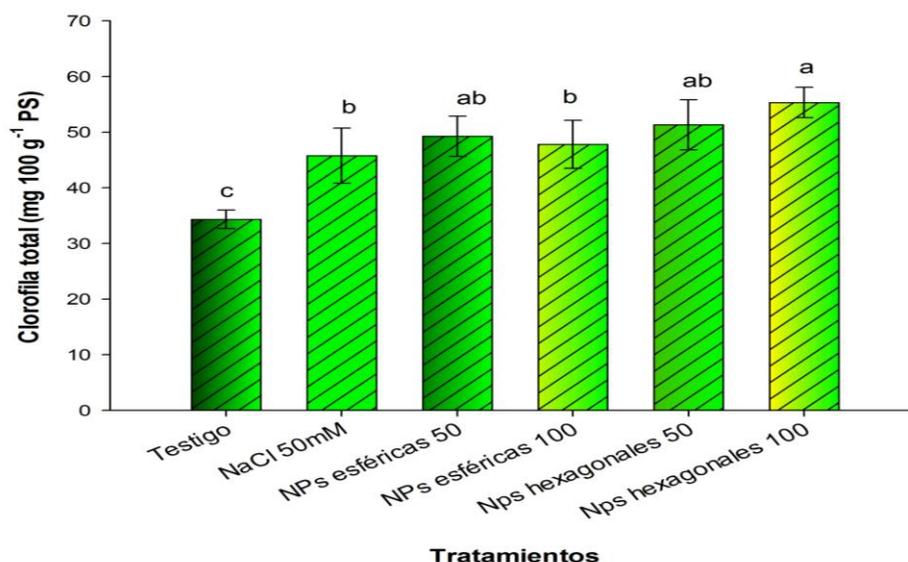


Figura 11. Contenido de clorofila total en hojas de plantas de pimienta.

Tratamientos con diferentes letras son significativamente diferentes (LSD Fisher, $p \leq 0.05$). PS: peso seco, mM: milimolar.

La Figura 11 muestra un aumento en la acumulación de Clorofila total en el tratamiento de NaCl a 50 mM y en los tratamientos con NPs de ZnO, este comportamiento se también fue observado por Watson (2019) quien trabajó con plantas de arroz con influencia de estrés salino y observó que las plantas que generaban defensa al estrés salino mostraron un aumento en la acumulación de clorofila en hojas como respuesta a una adaptación al estrés salino. El zinc tiene un papel importante en la producción de fotosíntesis, por lo que mantenerlo en niveles óptimos nos permitirá mejorar el desarrollo de las plantas (Almendros *et al.*, 2012). El trabajo de Adhikari *et al.* (2016) mostró que la aplicación de NPs de ZnO es una buena vía de suministro de Zn, además de concluir con que pueden lograr aumentar el contenido de clorofilas en las hojas, tal vez esto se deba por el papel que juega el elemento zinc como precursor de la síntesis de auxinas, lo que genera la división de las células generando mayor cantidad de biomasa (Méndez *et al.*, 2016).

El efecto de las nanopartículas en las plantas se explica mediante dos etapas de estimulación biológica con nanomateriales: La primera etapa consiste en el contacto inicial con las membranas celulares, donde las interacciones dependen de varias características tales como tamaño, forma, cargas superficiales e

hidrofobicidad. Estas interacciones pueden causar daño o cambios en la membrana celular, lo cual a su vez provoca una serie de reacciones en cadena en los metabolitos de señalización, alteraciones en el equilibrio redox, potencial de la membrana, síntesis de proteínas y modificaciones en la expresión génica. Estas señales pueden transmitirse entre las células y generar una respuesta de estimulación biológica (Benavides-Mendoza *et al.*, 2021; Juárez-Maldonado *et al.*, 2021).

Se produce una respuesta similar cuando los nanomateriales en este caso las nanopartículas de óxido de zinc, entran en contacto con los orgánulos celulares, como los cloroplastos, las mitocondrias o el núcleo, una vez que estas ingresan a la célula a través de los poros de la membrana o mediante mecanismos activos como la difusión o la endocitosis (González-Morales *et al.*, 2022). Zn es un componente de las membranas celulares, participa en la expresión y regulación de genes y biosíntesis de clorofilas, además de participar en la fotosíntesis (Noulas *et al.*, 2018), principalmente a través de la reparación de la proteína D1 dañada por la radiación durante la captación de luz en el fotosistema II (Sturikova *et al.*, 2018).

4.4. Fenoles

El análisis estadístico mostró diferencia estadística en la variable de contenido de fenoles en hojas, en este parámetro todos los tratamientos donde se aplicaron nanopartículas de óxido de zinc y el tratamiento con solo salinidad promovieron aumento significativo en el contenido de fenoles comparado con el testigo. Siendo el tratamiento de NPs de ZnO con morfología hexagonal a una concentración de 100 ppm el que acumulo más fenoles, con un incremento del 32% con respecto al testigo.

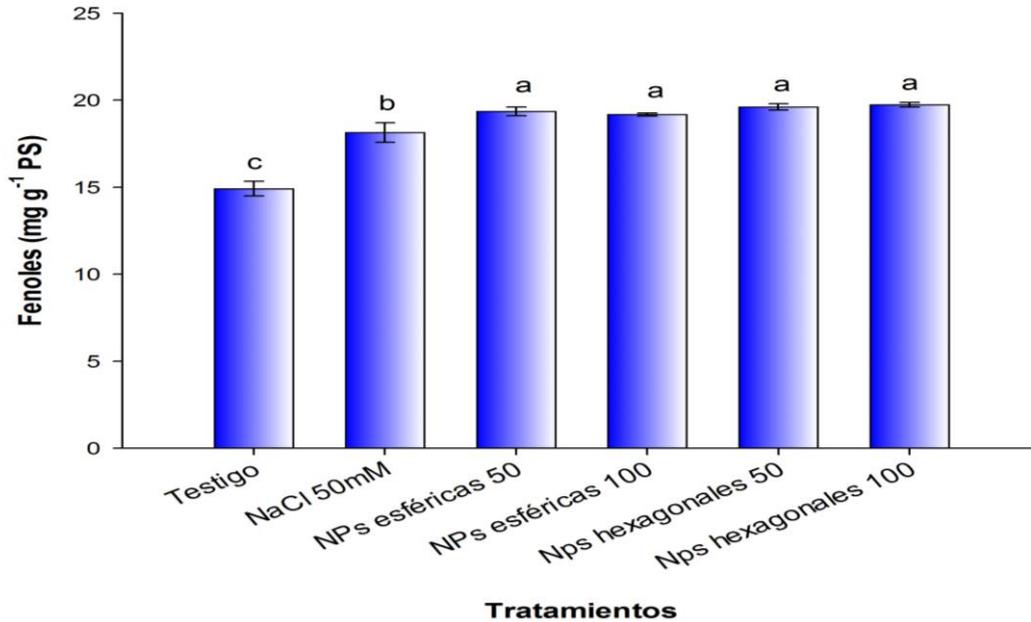


Figura 12. Contenido de fenoles en hojas de plantas de pimiento. Tratamientos con diferentes letras son significativamente diferentes (LSD Fisher, $p \leq 0.05$). PS: peso seco, mM: milimolar.

El contenido de fenoles acumulados en las hojas jóvenes es más alto en los tratamientos en los que se aplicaron nanopartículas de óxido de zinc como se muestra en la gráfica (Figura 12), Pérez *et al.* (2014) mencionan que las hojas jóvenes son el mejor reflejo del estado fisiológico en el cual las plantas concentran la mayor cantidad de fenoles, las plantas que sufren alteraciones fisiológicas llegan a acumular una mayor cantidad de fenoles como una respuesta para mejorar la calidad o la producción (Vargas-Álvarez *et al.*, 2005).

El zinc juega un papel importante en la producción de compuestos fotoquímicos como lo son los fenoles (Pérez, 2023), por lo que, la aplicación de NPs de ZnO pudo haber influenciado un incremento en la producción de fenoles por parte de la planta al suministrar Zn. Esto probablemente está relacionado a una sobre expresión de defensa antioxidante por parte de la planta al estar en presencia de estrés salino, ya que los compuestos bioactivos como los compuestos fenólicos sirven para mitigar los daños por radicales libres que se puede presentar al tener problemas de salinidad (Avello & Suwalsky, 2006). Probablemente las nanopartículas de óxido de zinc lograron incrementar el contenido de fenoles

totales ya que son una alternativa para la activación de inductores de biosíntesis de compuestos bioactivos (Galindo *et al.*, 2022).

4.5. Flavonoides

En cuanto al contenido de flavonoides en hojas, el análisis estadístico evidenció diferencias significativas entre los tratamientos, en este parámetro todos los tratamientos donde se aplicaron nanopartículas de óxido de zinc y el tratamiento con solo salinidad promovieron aumento significativo en el contenido de fenoles comparado con el testigo (Figura 13). No obstante, el tratamiento de NPs de ZnO con morfología hexagonal a una concentración de 100 ppm fue el mejor al promover un incremento de 70% en la concentración de flavonoides con respecto al testigo.

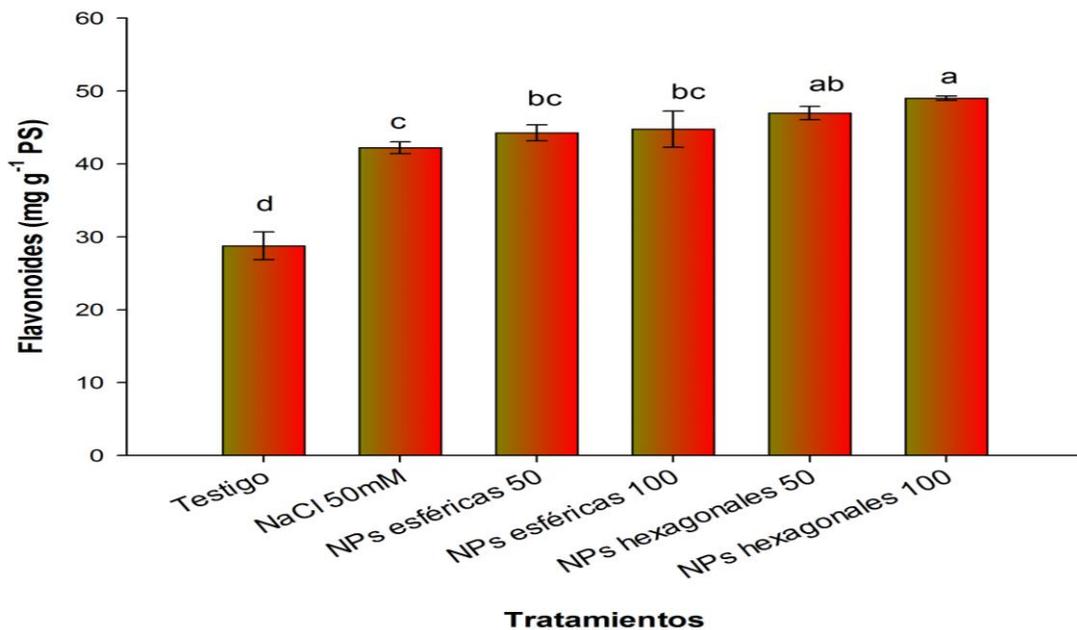


Figura 13. Contenido de flavonoides en hojas de plantas de pimienta.

Tratamientos con diferentes letras son significativamente diferentes (LSD Fisher, $p \leq 0.05$). PS: peso seco, mM: milimolar.

El incremento en la concentración de flavonoides en las hojas promovido por los tratamientos con nanopartículas, también observado por García (2018) quien realizó aplicaciones de nanomateriales (nanotubos de carbono, nano partículas de óxido de grafeno) y obtuvieron aumento en la acumulación de flavonoides en las hojas de plantas de rábano. González (2023), menciona que si se trabaja con nanopartículas de Selenio se puede conseguir plantas con mayor contenido de

flavonoides, con mayor contenido nutricional y un mejor vigor. El aumento que se observó en los tratamientos con nanopartículas de óxido de zinc puede ser atribuido a la propiedad que tienen las NPs de ZnO para inducir a las plantas a sintetizar compuestos bioactivos como lo refiere Rivera *et al.* (2021).

A raíz de lo expuesto anteriormente, cuando las plantas se exponen a nanomateriales como las nanopartículas de óxido de zinc, muestran una tendencia hacia el aumento de la producción de compuestos antioxidantes como mecanismo de defensa, un ejemplo de estos compuestos son los fenoles y flavonoides (García-López *et al.*, 2019), esta respuesta se observó en el presente estudio.

4.6. Sólidos solubles totales (°Brix)

Para la variable de contenido de sólidos solubles totales, el análisis de varianza que se realizó mostro diferencias significativas entre tratamientos, en esta variable todos los tratamientos donde se aplicaron nanopartículas de óxido de zinc y el tratamiento con solo salinidad promovieron aumento significativo en el contenido de sólidos solubles totales comparado con el testigo (Figura 14). Sin embargo, los tratamientos NPs de ZnO con morfología hexagonal a una concentración de 100 ppm y solo NaCl a 50 mM mostraron los mejores resultados con un incremento de acumulación de °Brix de 17% respectivamente, comparado con el testigo. Siendo el tratamiento testigo el más bajo en la acumulación de sólidos solubles, si se compara con el tratamiento de nanopartículas de óxido de zinc con una morfología hexagonal y una concentración de 100 ppm se tiene un aumento del 17% de. El tratamiento que se manejó con solución Steiner y a en comparación con los tratamientos de NPs de ZnO con morfología hexagonal a 100 ppm y con el tratamiento de NPs de ZnO con morfología esférica a 50 ppm, pero si mostro diferencia con estos tratamientos en diferentes concentraciones.

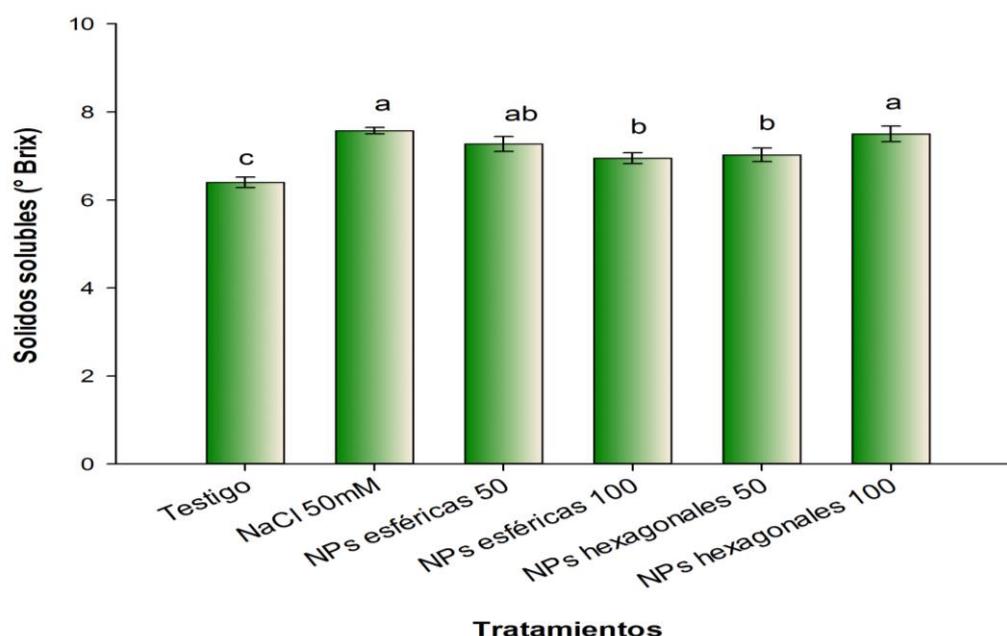


Figura 14. Contenido de sólidos solubles (°Brix) en frutos de pimiento.

Tratamientos con diferentes letras son significativamente diferentes (LSD Fisher, $p \leq 0.05$). PS: peso seco, mM: milimolar.

Con relación al contenido de sólidos solubles totales (°Brix), se observó un aumento del valor al aplicar estrés salino (Figura 14), en este sentido Fallik *et al.* (2019) hablan de los efectos que provoca en la calidad de los frutos de pimiento una conductividad eléctrica de 4.5 dS/m, sus resultados mostraron que al aumentar la C.E., el potencial osmótico se eleva lo que genera una pérdida de agua en los frutos y el aumento en la acumulación de azúcares. Qiu *et al.* (2017) concluyeron que la salinidad mejora la calidad interna del fruto de pimiento. Esto probablemente se deba a que el estrés causado por salinidad provoca que las plantas entren en estrés hídrico y consuman menos cantidad de agua (Maow & Temizel, 2023). El uso de las nanopartículas para optimizar el desarrollo de los cultivos está relacionado a la cantidad que se aplica, al respecto Jiménez & Flores (2020) mencionan que si se emplean NPs de ZnO a una mayor concentración de la que tolera el cultivo puede llegar a tener efectos negativos en las plantas y no lograr generar el estímulo que permite tener un buen desarrollo y las plantas pueden llegar a sufrir intoxicación.

Los resultados obtenidos en nuestra investigación pueden explicarse de varias maneras. En primer lugar, se ha demostrado que el zinc (Zn) es un

micronutriente esencial que desempeña un papel fundamental en la fotosíntesis y enzimas relacionadas. Estas enzimas son responsables del aumento de los niveles de azúcar en las plantas (Mousavi *et al.*, 2013). Además, el Zn desempeña un papel importante en la síntesis y transferencia de carbohidratos y proteínas (Yogarathnam y Greenham, 1982), lo cual podría explicar el incremento observado en la concentración de estos compuestos en nuestro estudio.

4.7. pH

En lo que se refiere a la variable de pH, el análisis estadístico que se realizó muestra diferencia significativa entre los tratamientos, en este parámetro el tratamiento testigo presentó el valor más alto y por lo tanto, estadísticamente superior al resto de los tratamientos, por lo que, los tratamientos con estrés salino mostraron una tendencia a disminuir su valor de pH en los frutos, además tanto la morfología como la dosis de nanopartículas no tuvieron efecto positivo sobre esta variable.

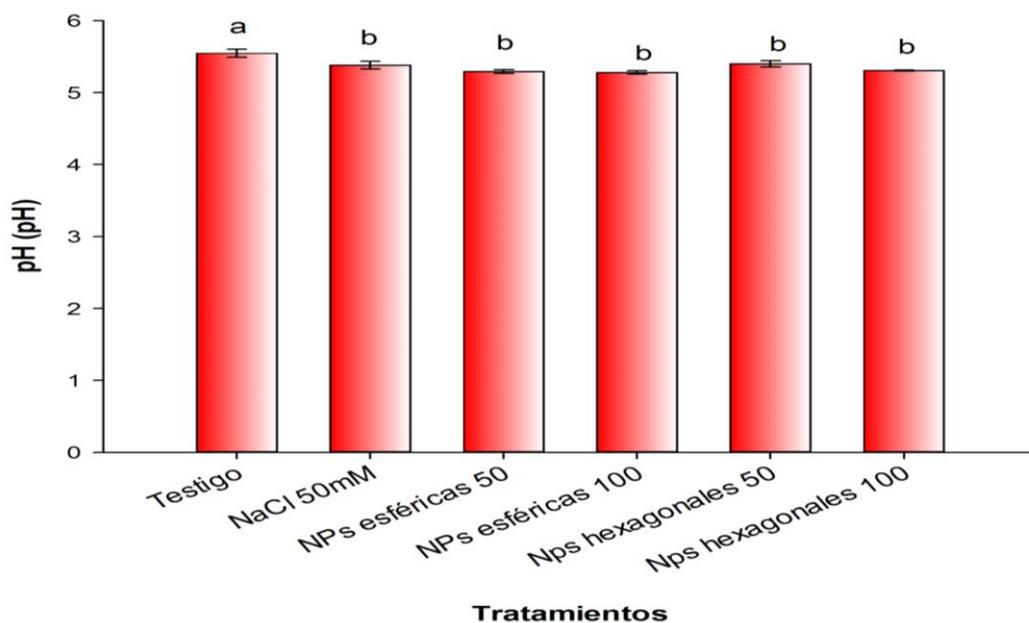


Figura 15. pH en frutos de pimiento. Tratamientos con diferentes letras son significativamente diferentes (LSD Fisher, $p \leq 0.05$). mM: milimolar.

En la Figura 15 se muestra una disminución en el valor del pH en los frutos de las plantas que fueron sometidas al estrés salino, al respecto, Carbajal. (2017)

menciona en su trabajo que si se le agrega NaCl a la solución nutritiva tendrá efecto en los frutos de tomate dándoles una tendencia a tener valores más bajos en la variable pH. La variable de pH la relacionan con la calidad que tienen las frutas diciendo que valores más altos de pH significa mayor calidad (Niedziela *et al.*, 1993; López, 2020), los niveles de ácidos que se encuentren presentes en las frutas pueden determinar algunas cualidades como el sabor, olor y en la vida de anaquel (Domene & Segura, 2014). El estrés por salinidad puede ser causante de la disminución del pH en los frutos ya que puede ocasionar que las frutas se vean afectadas negativamente en su calidad (Casierra & Riaño, 2006).

4.8. Conductividad Eléctrica

El análisis estadístico mostró que existe diferencia significativa entre los tratamientos. El tratamiento con solo salinidad (NaCl 50 mM) fue el que tuvo el valor más alto con un aumento de la conductividad eléctrica en los frutos de 16% y por tanto estadísticamente diferente al tratamiento testigo. Todos los tratamientos con nanopartículas de óxido de zinc y sus dosis mostraron un comportamiento similar entre sí, por lo que se percibe un efecto amortiguador del estrés por salinidad al aplicar las NPs de ZnO.

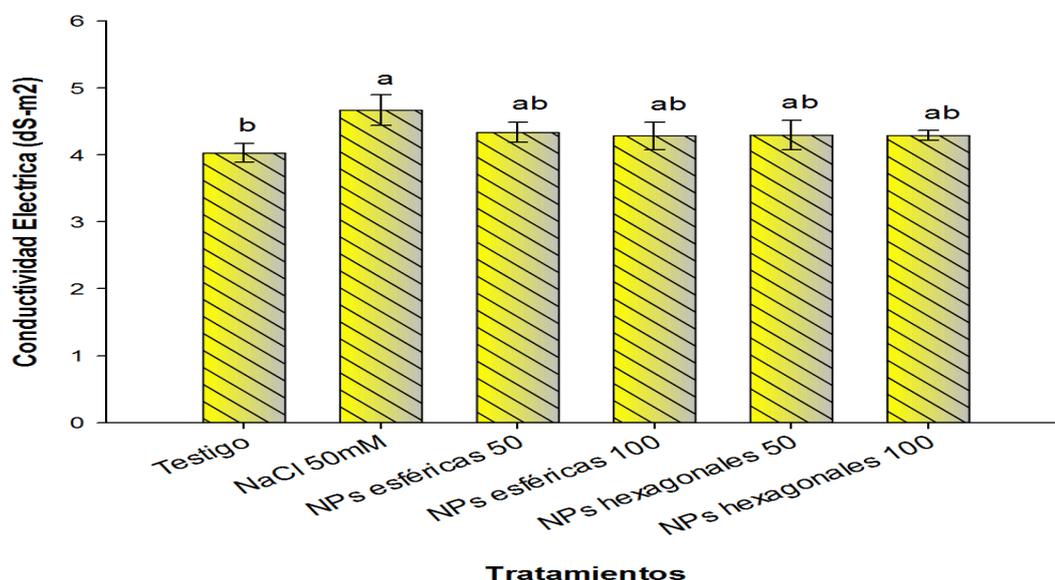


Figura 16. Conductividad Eléctrica en frutos de pimiento. Tratamientos con diferentes letras son significativamente diferentes (LSD Fisher, $p \leq 0.05$). mM: milimolar.

Las plantas a las que se les aplicó NaCl a 50 mM manejaron una conductividad eléctrica entre el rango de $5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ a $6 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ en la solución nutritiva y sustrato. Ramírez-Serrano *et al.* (2008) trabajaron con plantas de chile ancho (*Capsicum annuum L.*) manejadas con soluciones nutritivas que tenían una C.E. de $4.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ obteniendo un incremento en la acumulación de iones como el Cl y Na en sus órganos mostrando valores altos en la variable de conductividad eléctrica. Una mayor disponibilidad del elemento Na se presenta en los cultivos que son sometidos a estrés por salinidad, las nanopartículas pudieron haber funcionado como inhibidoras de estrés salino por sus propiedades para contener el daño causado por la acumulación de metales (Gómez & Muñoz, 2022).

4.9. Firmeza

Para la variable de firmeza, el análisis estadístico no mostró diferencia significativa en ningún tratamiento. No obstante que todos los tratamientos con nanopartículas de óxido de zinc y sus dosis mostraron un efecto amortiguador del estrés por salinidad, ya que esta condición de manera particular mostró el valor más bajo de la firmeza.

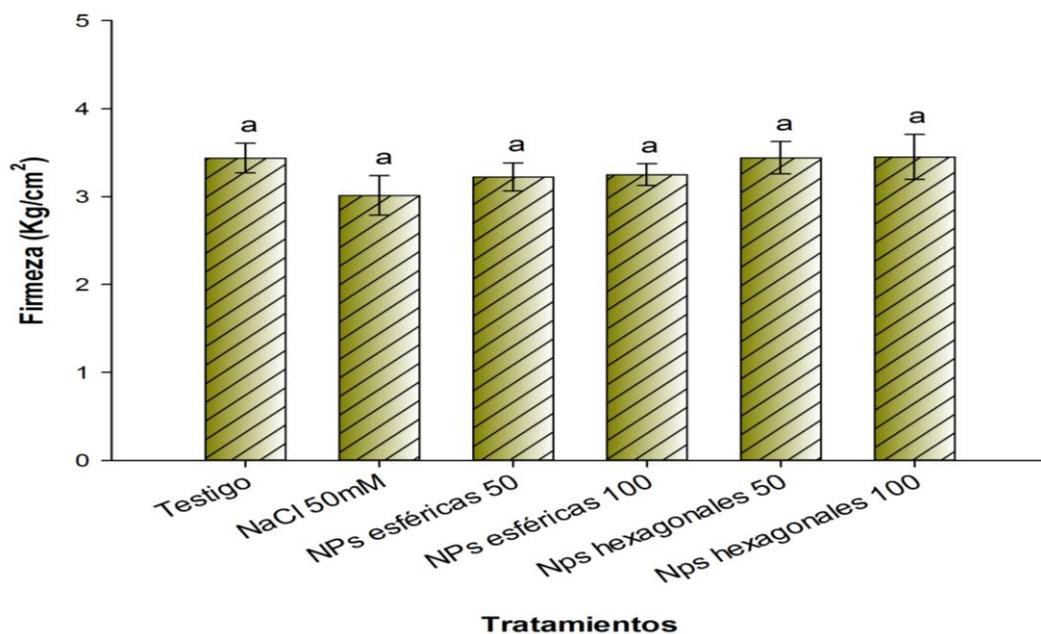


Figura 17. Firmeza en frutos de pimiento. Tratamientos con diferentes letras son significativamente diferentes (LSD Fisher, $p \leq 0.05$). mM: milimolar.

La variable de firmeza no se ve afectada significativamente por ningún tratamiento (Figura 17), nuestros resultados difieren de lo reportado por Preciado *et al.* (2021) quienes trabajaron con plantas de pimiento manejado con diferente C.E 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ en la solución nutritiva y concluyeron que la salinidad alta reduce el valor de firmeza. Tal vez esto se deba a que las plantas que se estresan por presencia de salinidad alta tienen dificultada para asimilar elementos como el Ca (Orosco, 2008), elemento que juega un importante papel en la calidad, teniendo influencia en la permeabilidad de la membrana celular y para fortalecer la pared celular (Herrera, 2007). El estrés salino puede ocasionar una alteración de la síntesis de etileno lo que podría desencadenar una maduración más acelerada de la fruta y por consecuencia la disminución en la firmeza (Martínez *et al.*, 2011). Se han estado realizando constantes investigaciones para poder recomendar el uso de nanopartículas de óxido de zinc en la agricultura debido al efecto que tienen las para generar plantas más vigorosas, resistentes y mejorar la producción de biomoléculas estructurales (Estrada, 2019).

4.10. Acidez Titulable

El análisis estadístico mostró diferencia significativa entre tratamientos para la variable de acidez titulable, en este parámetro el tratamiento NPs de ZnO esféricas a dosis de 50 ppm presentó un valor estadísticamente diferente más alto logrando aumentar el valor un 58% en comparación con el testigo, los tratamientos NPs de ZnO hexagonales a 100 ppm, NPs de ZnO esféricas a 50 ppm y NaCl a 50 mM también fueron estadísticamente superior al testigo. Los tratamientos que contaron con la influencia del estrés salino mostraron un incremento en la síntesis de ácido cítrico, por lo que se puede decir que las plantas que presentan estrés por salinidad tienden acumular más cantidad de ácido en los frutos.

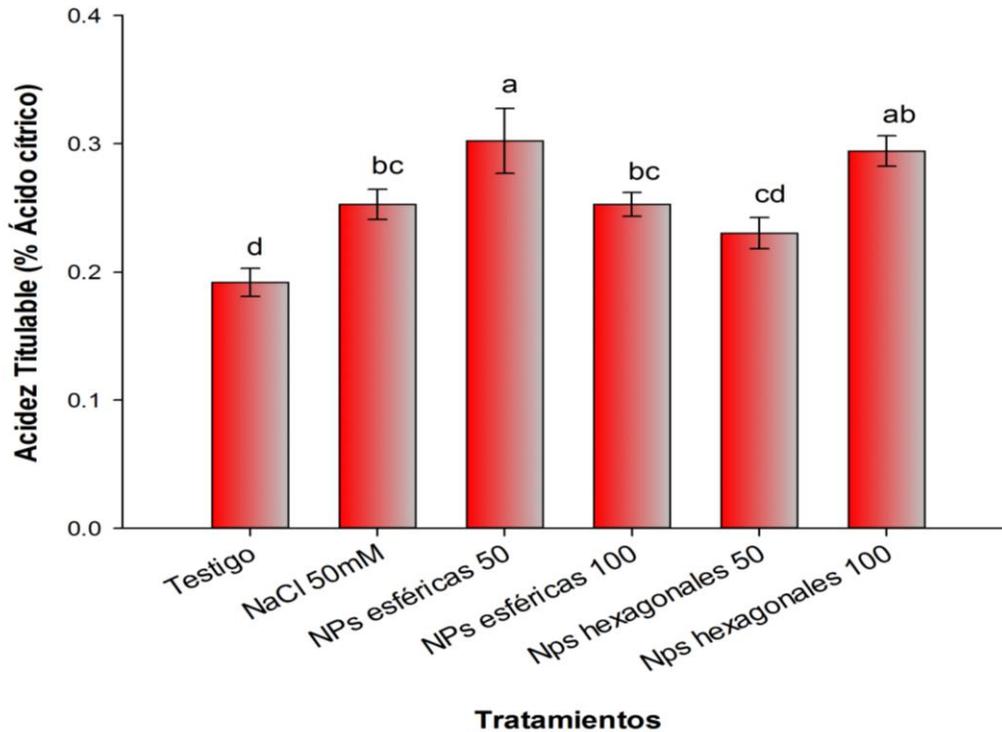


Figura 18. Contenido de Acidez Titulable en frutos de pimiento. Tratamientos con diferentes letras son significativamente diferentes (LSD Fisher, $p \leq 0.05$). mM: milimolar.

La (Figura 18) muestra un valor mayor de ácido cítrico en los tratamientos que tuvieron la influencia de estrés salino, esto se puede reforzar con la investigación de Carbajal, (2017), quien trabajo con plantas de tomate y en la solución nutritiva adiciono NaCl en concentración de 0, 50, 100 mM para inducir estrés salino y obtuvo que las plantas que presentaron estrés por salinidad tuvieron frutos con valores más altos para la variable acidez titulable. El zinc tiene propiedades que lo hacen funcionar como un activador de algunas enzimas y ayuda directamente al metabolismo a sintetizar proteínas (Selva, 2010). El incremento del ácido cítrico talvez se presentó por la presencia de las nanopartículas, De la Rosa *et al*, (2017) en su investigación mencionan que el ácido cítrico ayuda a las plantas a reducir el problema de toxicidad que generan las nanopartículas, también mencionaron que el efecto de las nanopartículas está relacionado con sus propiedades químicas y físicas que posean (tamaño, forma, capacidad catalítica, capacidad de unión) ya que las plantas tienen diferentes vías de asimilación para los diferentes nanomateriales.

Además, en el caso de los frutos de pimiento, valores elevados de acidez titulable (AT) resultan beneficiosos, ya que se relacionan con un menor deterioro del fruto y están asociados con un mejor sabor de las frutas. De hecho, se ha observado que las frutas con altos niveles de ácido cítrico presentan un mejor sabor (Flores-Velázquez *et al.*, 2022). Por lo tanto, los resultados obtenidos en nuestro estudio indican que las nanopartículas de ZnO pueden influir en el proceso de respiración del fruto y mejorar parámetros de calidad, como la acidez titulable.

4.11. ORP

Para el caso de la variable ORP, el análisis estadístico expresa diferencia significativa entre el tratamiento con NaCl a 50mM con respecto de los demás tratamientos teniendo el valor más alto en la variable de ORP, el valor del tratamiento testigo no mostro diferencia significativa contra los tratamientos que fueron tratados con nanopartículas de óxido de zinc. En contrates, el tratamiento con NaCl a 50 mM mostró que sus frutos son más susceptibles a la oxidación dando valores más altos en este parámetro.

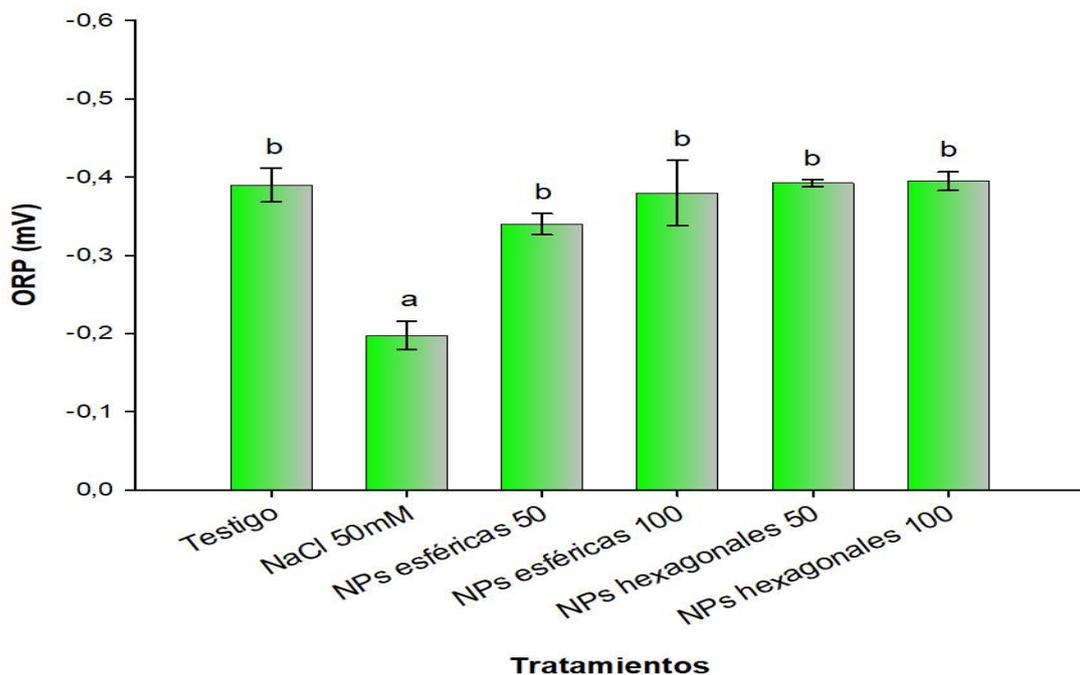


Figura 19. Potencial de Oxido Reducción en frutos de pimiento. Tratamientos con diferentes letras son significativamente diferentes (LSD Fisher, $p \leq 0.05$). mM: milimolar.

Se muestra un aumento en la oxidación provocado por la salinidad (Figura 19), este comportamiento se presentó de igual manera en la investigación de Serrano (2009), quien trabajo con plantas de pimiento tratadas con diferentes concentraciones de NaCl 0, 20 y 40 mM y reportaron un incremento en la oxidación de los frutos de pimiento provenientes de plantas que fueron sometidas a estrés por salinidad. Talvez esto se deba a la activación de sistemas antioxidantes como una respuesta para mitigar el daño del estrés oxidativo influenciado por la presencia de estrés salino (Larrinaga, 2014). Barrantes & Peches (2018), mencionan que la acumulación de compuestos bioactivos como los fenoles o flavonoides genera resistencia al estrés oxidativo lo que pudo haber influenciado en la reducción del potencial de oxidación. La investigación de Kim *et al.* (2012) indica que las nanopartículas pueden tener una función como antioxidante en las plantas, ya que pueden activar especies reactivas de oxígeno, sin embargo la concentración, el tamaño y el tipo de NP determinaran el potencial de estrés oxidativo. Por lo que, se puede pensar que las nanopartículas de óxido de zinc que se aplicaron fueron causantes de la activación de las defensas de las plantas para combatir el estrés oxidativo que se presenta con una salinidad alta (Alanis, 2020). Las nanopartículas de óxido de zinc está viéndose como una alternativa moderna para resolver el problema de la dificultad de absorber este nutriente por parte de las plantas ya que permite una mayor disponibilidad de Zn (Sturikova *et al.*, 2018).

Un ORP (Potencial de Reducción-Oxidación) con valores bajos indica una mejor calidad del fruto, lo que implica un mayor potencial antioxidante (Juárez-Maldonado *et al.*, 2016). De manera indirecta, nuestros resultados sugieren la generación de una gran cantidad de compuestos antioxidantes. En este contexto, se ha observado que el uso de nanopartículas de ZnO incrementa tanto los compuestos antioxidantes enzimáticos como los no enzimáticos en los frutos (Rivera-Gutiérrez *et al.*, 2021). Estos resultados podrían estar asociados con la capacidad de las nanopartículas de ZnO para un mayor transporte, biodisponibilidad y absorción, lo que les permite interactuar con las estructuras intracelulares y estimular la formación de especies reactivas de oxígeno (ROS) (Ghosh *et al.*, 2016; García-López *et al.*, 2019).

V. CONCLUSIONES

Las aplicaciones de nanopartículas de óxido de zinc provocan un aumento en la producción de clorofilas en plantas de pimiento bajo condiciones de estrés salino, la morfología y la concentración de las nanopartículas juegan un papel importante ya que son parámetros que se deberían investigar a fondo para conocer más de la forma de interacción por parte de la planta con los diferentes tipos de nanomateriales.

Los compuestos antioxidantes no enzimáticos son capaces de disminuir el daño por oxidación, las plantas que son tratadas con NPs de ZnO tienden a ser plantas más resistentes, más vigorosas ya que producen una mayor cantidad de compuestos fenólicos que ayudan a combatir daños ocasionados por diferentes tipos de estrés.

Los parámetros de calidad como firmeza, pH, C.E. no mostraron diferencia estadística en frutos influenciados por salinidad y con aplicación de nanopartículas de óxido de zinc, sin embargo, variables como ORP y acidez titulable si aumentaron su valor, por lo que se puede concluir que las NPs de ZnO si mejoran la calidad de los frutos de pimiento bajo condiciones de salinidad.

El problema de salinidad en el suelo es un tema que se seguirá presentando a lo largo de los años, por lo que es necesario adaptarnos y buscar soluciones para poder tener buenas producciones sin comprometer la calidad. El uso de nanomateriales como las NPs de ZnO puede ser una vía alterna para disminuir los daños que causan los excesos de sales.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- A.O.A.C. Official method of analysis (1990). Association of Official Analytical Chemistry. 16th edición, Ed. By Hoorwitz, N., P. Chialo, y H. Reynold, Washington, USA
- Acevedo-León, D., Ossa-Orozco, C. P., & Torres-López, A. M. (2023). Evaluación de protocolos de síntesis de nanopartículas de cobre u óxidos de cobre. *Ingeniería*, 28(2), e19067-e19067.
- Adhikari, T., Kundu, S., & Rao, A. S. (2016). Zinc delivery to plants through seed coating with nano-zinc oxide particles. *Journal of Plant Nutrition*, 39(1), 136-146.
- Adil, M., Bashir, S., Bashir, S., Aslam, Z., Ahmad, N., Younas, T., ... & Elshikh, M. S. (2022). Zinc oxide nanoparticles improved chlorophyll contents, physical parameters, and wheat yield under salt stress. *Frontiers in Plant Science*, 13.
- Almendros, P., González, D., Obrador, A., & Álvarez, J. M. (2012). Influencia de la aplicación de zn-edds en la clorofila y en el Zn soluble en la hoja en dos cultivos sucesivos de lino. *Libro de Comunicaciones*, 152.
- Arvouet-Grand, A., Vennat, B., Pourrat, A., & Legret, P. (1994). Standardization of propolis extract and identification of principal constituents. *Journal de Pharmacie de Belgique*, 49(6), 462–468. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7884635>.
- Asmat-Campos, D., Bravo Huivin, E., & Avalos-Vera, V. (2021). Valorization of agro-industrial waste in a circular economy environment: Grape pomace as a source of bioactive compounds for its application in nanotechnology. In *Proceedings of the 19th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Prospective and Trends in Technology and Skills for Sustainable Social Development"* "Leveraging Emerging Technologies to Construct the Future", Buenos Aires, Argentina (pp. 21-23).

- Avello, M., & Suwalsky, M. (2006). Radicales libres, antioxidantes naturales y mecanismos de protección. *Atenea (Concepción)*, (494), 161-172.
- Barrantes, B. M. V., & Peche, S. Y. I. (2018). Actividad antioxidante y antihemolítica in vitro del liofilizado de *Passiflora incarnata* "maracuyá". (Tesis, Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo). Repositorio Institucional <http://repositorio.upagu.edu.pe/bitstream/handle/UPAGU/801/FyB-017-2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Belinchón, M. J. (2020). Evaluación del efecto de la micorrización en plantas de berenjena y pimiento crecidas en condiciones de estrés abiótico (Tesis Doctoral, Universitat Politècnica de València). Repositorio institucional <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/147815/Belinch%c3%b3n%20-%20Evaluaci%c3%b3n%20del%20efecto%20de%20la%20micorrizaci%c3%b3n%20en%20plantas%20de%20berenjena%20y%20pimiento%20crecidas....pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Benavides-Mendoza, A., González-Moscoso, M., Ojeda-Barríos, D. L., & Fuentes-Lara, L. O. (2021). Biostimulation and toxicity: Two levels of action of nanomaterials in plants. *Nanotechnology in Plant Growth Promotion and Protection: Recent Advances and Impacts*, 283-303.
- Camacho, G. R. R. (2020). Calidad de semilla y fruto de pimiento Morrón con distinto grado de madurez producidos en dos condiciones de luminosidad. (Tesis Maestría, Universidad Autónoma de Chapingo UACH). Repositorio Institucional <https://repositorio.chapingo.edu.mx/server/api/core/bitstreams/357e70d1-6cb9-4851-a7de-35975bbd9543/content>
- Carbajal, V. V. H. (2017). Calidad de frutos de tomate en respuesta a elementos benéficos en hidroponía, bajo condiciones de salinidad (Tesis Maestría, Colegio de Postgraduados). Repositorio Institucional http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/10521/3950/Carbajal_Vazquez_VH_MC_Innovacion_Agroalimentaria_Sustentable_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cardiel, A. A. (2020). Respuestas fisiológicas y bioquímicas de *Cucurbita pepo* asociadas al efecto de nanopartículas de óxido de cobre y grafeno. (Tesis

Maestría, Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA)
[https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/626/1/Tesis%20MA
P%20Angélica%20Cardiel%20%202020.pdf](https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/626/1/Tesis%20MA%20P%20Angélica%20Cardiel%20%202020.pdf))

Casierra, P. F., & Riaño, N. G. (2006). Producción y calidad de fruta en cultivares de fresa (*Fragaria sp.*) afectados por estrés salino. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 59(2), 3527-3542.

Castells, P., Salvador, C. G., & Vidal García, E. (2021). Les fruites i verdures, aliments essencials per a la nostra salut. *TECA: Tecnologia i Ciència dels Aliments*, 2021, vol. 20, p. 5-12.

Castillo-Rodríguez, M., & Cabrera De La Fuente, M. (2017) Producción y calidad de pimiento Blocky rojo en la adición de bacterias *Azospirillum sp.* (Tesis, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro). Repositorio institucional <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/8396/K64479%20Miguel%20Castillo%20Rodriguez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Cereceda, S. B., Lima, D. L., Enríquez, A. I. M., & Mendoza, (2021). Al rescate de la agricultura: nanofungicidas y nanofertilizantes. *Bioteconología en Movimiento*, 25,13-19.

César, I., & Mendoza, C. (2023) Nanomateriales: un rompecabezas científico. *Elementos*, 129, 41-46.

Chávez, G. J. A. (2019). Nanopartículas de Ag para el cultivo aséptico y producción de cormos de gladiolo en tres sistemas de cultivo in vitro. (Tesis Doctoral, Universidad Autónoma del Estado de Morelos). Repositorio Institucional <http://riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/985/CXGARN03T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

De la Rosa, G., García-Castañeda, C., Vázquez-Núñez, E., Alonso-Castro, Á. J., Basurto-Islas, G., Mendoza, Á., ... & Molina, C. (2017). Physiological and biochemical response of plants to engineered NMs: implications on future design. *Plant Physiology and Biochemistry*, 110, 226-235.

De la Torre González, A. (2020). Estudio comparativo del efecto del estrés salino en plantas de tomate. Influencia de la variabilidad genotípica. (Tesis Doctoral, Universidad de Granada). Repositorio Institucional

<https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/62364/80943.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

- Delfani, M., Baradarn, F. M., Farrokhi, N., & Makarian, H. (2014). Some physiological responses of black-eyed pea to iron and magnesium nanofertilizers. *Communications in soil science and plant analysis*, 45(4), 530-540.
- Delgado, G. C. (2009). Nanotecnología y producción de alimentos: impactos económicos, sociales y ambientales. *Estudios sociales (Hermosillo, Son.)*, 17(34), 185-205.
- Domene, M. A., & Segura, M. (2014). Parámetros de calidad interna de hortalizas y frutas en la industria agroalimentaria. *Negocios Agroalimentario Cooper Cajamar Fichas de Transferencia*, 5, 1-18.
- Ealia, S. A. M., & Saravanakumar, M. P. (2017). A review on the classification, characterisation, synthesis of nanoparticles and their application. In *IOP conference series: materials science and engineering*, 263, 1-13.
- Echevarría-Machado, I. (2019) El tamaño sí importa: Los nanofertilizantes en la era de la agricultura de precisión. Unidad de Bioquímica y Biología Molecular de Plantas, Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. 11, 69-75.
- Elizabeth, A., Babychan, M., Mathew, A. M., & Syriac, G. M. (2019). Application of nanotechnology in agriculture. *International journal of pure and applied bioscience*, 7(2), 131-139.
- Estrada, U. J. (2019). Influencia de las nanopartículas de óxido de zinc sobre la calidad fisiológica y sanitaria de la semilla de maíz nativo (*Zea mays L.*) (Tesis, Universidad Autónoma de Guerrero (México)). Repositorio Institucional <http://ri.uagro.mx/bitstream/handle/uagro/1067/Tesis%20R5.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Fallik, E., Alkalai-Tuvia, S., Chalupowicz, D., Zaaroor-Presman, M., Offenbach, R., Cohen, S., & Tripler, E. (2019). How water quality and quantity affect pepper yield and postharvest quality. *Horticulturae*, 5(1), 4.

- FAO. (2023). Land & Water: Pepper. <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/pepper/en/>(último acceso mayo 2023)
- FAO. 2020. Frutas y verduras – esenciales en tu dieta. Año Internacional de las Frutas y Verduras, 2021. Documento de antecedentes. Roma. <https://doi.org/10.4060/cb2395es>
- Flores-Velázquez, J., Mendoza-Perez, C., Rubiños-Panta, J. E., & Ruelas-Islas, J. D. R. (2022). Quality and Yield of Bell Pepper Cultivated with Two and Three Stems in a Modern Agriculture System. *Horticulturae*, 8(12), 1187.
- Galindo-Guzmán, A. P., Fortis-Hernández, M., La Rosa-Reta, D., Verónica, C., Zermeño-González, H., & Galindo-Guzmán, M. (2022). Síntesis química de nanopartículas de óxido de zinc y su evaluación en plántulas de *Lactuca sativa*. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(SPE28), 299-308.
- García, E. E. L., Robledo Olivo, A., Benavides Mendoza, A., Solís Gaona, S., & González Morales, S. (2018). Efecto de elicitores de origen natural sobre plantas de tomate sometidas a estrés biótico. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(SPE20), 4212-4221.
- García, R. D. A. (2018). Nano fertilizantes y promotores del crecimiento de plantas para una agricultura sustentable usando nanopartículas metálicas y grafenos. (Informe Técnico, Instituto tecnológico de colima.) Repositorio Institucional <https://dspace.itcolima.edu.mx/bitstream/handle/123456789/1106/DANIEL%20ALEJANDRO%20GARCIA%20RODRIGUEZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- García-López, J. I., Niño-Medina, G., Olivares-Sáenz, E., Lira-Saldivar, R. H., Barriga-Castro, E. D., Vázquez-Alvarado, R., ... & Zavala-García, F. (2019). Foliar application of zinc oxide nanoparticles and zinc sulfate boosts the content of bioactive compounds in habanero peppers. *Plants*, 8(8), 254.
- Ghafariyan, M. H., Malakouti, M. J., Dadpour, M. R., Stroeve, P., & Mahmoudi, M. (2013). Effects of magnetite nanoparticles on soybean chlorophyll. *Environmental science & technology*, 47(18), 10645-10652.
- Ghosh, M., Jana, A., Sinha, S., Jothiramajayam, M., Nag, A., Chakraborty, A., ... & Mukherjee, A. (2016). Effects of ZnO nanoparticles in plants: cytotoxicity,

genotoxicity, deregulation of antioxidant defenses, and cell-cycle arrest. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 807, 25-32.

Gómez, C. M., & Muñoz Huamancari, C. A. (2022). Aplicaciones de óxido de zinc (Nanomaterial) en el crecimiento de plantas durante la fitorremediación. Revisión sistemática 2022. (Tesis Universidad Cesar Vallejo). Repositorio Institucional [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/102566/Gomez_C M-Mu%^{c3}%^{b1}oz_HCA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/102566/Gomez_C_M-Mu%c3%b1oz_HCA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

González Lemus, U. (2023). Efecto de nanopartículas de selenio incorporadas en forraje (*Festuca arundinacea*) para el mejoramiento en la digestibilidad y disminución de gases ruminales evaluado en un modelo in vitro. (Tesis Doctoral, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo). Repositorio Institucional <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/jspui/bitstream/231104/3052/1/AT26666.pdf>

González Sagastume, V. M. (2008) Evaluación agronómica de cuatro materiales de chile (*Capsicum frutescens*) en campo abierto en una localidad en el municipio de Copan Ruinas, Honduras. (Tesis, Universidad de San Carlos de Guatemala Centro Universitario de Oriente Agronomía). Repositorio Institucional http://cunori.edu.gt/descargas/Informe_de_Tesis.pdf

González, S. C., Bolaina-Lorenzo, E., Pérez-Trujillo, J. J., Puente-Urbina, B. A., Rodríguez-Fernández, O., Fonseca-García, A., & Betancourt-Galindo, R. (2021). Antibacterial and anticancer activity of ZnO with different morphologies: a comparative study. *3 Biotech*, 11(2), 1-12.

González-Morales, S., Cárdenas-Atayde, P. A., Garza-Alonso, C. A., Robledo-Olivo, A., & Benavides-Mendoza, A. (2022). Plant biostimulation with nanomaterials: a physiological and molecular standpoint. In *Inorganic Nanopesticides and Nanofertilizers: A View from the Mechanisms of Action to Field Applications* (pp. 153-185). Cham: Springer International Publishing.

Gordillo-Delgado, F., Zuluaga-Acosta, J., & Marín-Gallego, B. J. (2019). Inoculación de nanopartículas de TiO₂-Ag en semillas de espinaca. *Informador Técnico*, 83(1), 76-85.

- Guevara Gonzalez, R. G., Pons Hernández, J. L., Torres Pacheco, I., & González Chavira, M. M. (2018). *Manual práctico para el cultivo del chile*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Gutiérrez Jacho, J. H. (2021). Efecto de la melatonina exógena sobre la germinación y crecimiento en plántulas de pimiento (*Capsicum annuum*) bajo estrés salino. (Curso académico, Universidad Politécnica de Valencia). <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/173956/Gutierrez%20-%20Efecto%20de%20la%20melatonina%20exogena%20sobre%20la%20germinacion%20y%20crecimiento%20en%20plantulas%20de%20pi....pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Guzmán, M. G., Hernández, M. F., Rangel, P. P., & Guzmán, A. P. G. (2023). ZnO nanoparticles synthesized by chemical precipitation to increase germination and bioactive compounds in sprouts of *Raphanus sativus* L. *Agro Productividad*, 16 (2), 87-94
- Hernández, F. A. D., Montiel, R. C., & Pinedo-Espinoza, J. M. (2010). Comportamiento poscosecha de pimiento morrón (*Capsicum annum* L.) var. california por efecto de la fertilización química y aplicación de lombrihumus. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 11(1), 82-91.
- Hernández, H. P., López-Valdez, F., Juárez-Maldonado, A., Méndez-López, A., Sarabia-Castillo, C. R., García-Mayagoitia, S., ... & Pérez-Moreno, A. Y. (2023). Implicaciones de los nanomateriales utilizados en la agricultura: una revisión de literatura de los beneficios y riesgos para la sustentabilidad. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 17(32), 1e-50e.
- Herrera, V. T. (2007). Síntomas y causas de la deficiencia de calcio en el cultivo de tomate y su control (Tesis Doctoral, Centro de Investigación en Química Aplicada. Repositorio institucional (CIQA) <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/441/1/Teodulo%20Herrera%20Vasquez.pdf>).
- Huerta-Martínez, C. (2021). Aplicaciones de la nanotecnología en el sector agrícola. Conferencia de alianzas y tendencias BUAP. Sesión 8.

- Jiménez, A. G., & Flores, H. E. A. (2020) Aplicación foliar de nanopartículas de ZnO en la planta *Cucurbita pepo* evaluando el crecimiento y desarrollo. (Tesis, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro). Repositorio Institucional http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/46964/GU_MERCINDO%20JIM%c3%89NEZ%20AVILEZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Juárez-Maldonado, A., Ortega-Ortíz, H., Morales-Díaz, A. B., González-Morales, S., Morelos-Moreno, Á., Cabrera-De la Fuente, M., ... & Benavides-Mendoza, A. (2019). Nanoparticles and nanomaterials as plant biostimulants. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(1), 162.
- Juarez-Maldonado, A., Ortega-Ortíz, H., Pérez-Labrada, F., Cadenas-Pliego, G., & Benavides-Mendoza, A. (2016). Cu Nanoparticles absorbed on chitosan hydrogels positively alter morphological, production, and quality characteristics of tomato. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 89.
- Kim, S., Lee, S., & Lee, I. (2012). Alteration of phytotoxicity and oxidant stress potential by metal oxide nanoparticles in *Cucumis sativus*. *Water, Air, & Soil Pollution*, 223, 2799-2806.
- Larrinaga, A. J. Á. (2014). Evaluación de la respuesta de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) cv. Nuffar al estrés salino en dos cultivos hidropónicos orgánicos. (Tesis Maestría, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.) Repositorio Institucional http://dspace.cibnor.mx:8080/bitstream/handle/123456789/436/larrinaga_j.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- López, G. M. J. (2021). Identificación de miARNs con valor predictivo como biomarcadores de estrés biótico y abiótico en plantas de interés agronómico. (Tesis, Universidad de Valencia). Repositorio Institucional
- López, M. (2020). Recubrimiento de Poli (Acetato De Vinilo-Co-Alcohol Vinílico) Adicionado con Nanopartículas de Óxido de Calcio y su Efecto en la Poscosecha de Pepino. *Cucumis sativus*. (Tesis Maestría, Centro de Investigación en Química Aplicada). Repositorio Institucional <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/628/1/Tesis%20MAP%20Ma.%20Luisa%20Cid%20L%c3%b3pez%202020.pdf>

- López-Vargas, E. R., Pérez-Álvarez, M., Cadenas-Pliego, G., Hernández-Fuentes, A. D., & Juárez-Maldonado, A. (2021). El Tratamiento de Semillas con Nanomateriales de Carbono Impacta en el Crecimiento y Absorción de Nutrientes en Tomate Bajo Estrés Salino. *Revista Bio Ciencias*, 8, 21.
- Maldonado, M. B., Santillan, A. M., González, M. C., Velázquez, T. H., Benitez, M. B., Romero, G. F., & Azócar, A. S. M. (2018). Utilización de harina de pimiento morrón (*Capsicum annuum*) en la elaboración de pan artesanal. *Nexo Revista Científica*, 31(2), 127-143.
- Maow, B. A., & Temizel, K. E. (2023). Effects of Irrigation Water Salinity Levels on Pepper Plant (*Capsicum Annuum*) Yield and Quality Properties and Soil Characteristics. *Research Square*, 1-19
- Martínez-Ispizua, E., Martínez-Cuenca, M. R., Marsal, J. I., Cerdá, J. J., Díez, M. J., Soler, S., ... & Calatayud, Á. (2020). Caracterización nutricional de variedades tradicionales valencianas de pimiento (*Capsicum annuum* L.). *Agrícola Vergel*, (428), 209-215.
- Martínez-Villavicencio, N., López-Alonzo, C. V., Pérez-Leal, R., & Basurto-Sotelo, M. (2011). Efectos por salinidad en el desarrollo vegetativo. *Tecnociencia Chihuahua*, 5(3), 156-161.
- Materska, M., & Perucka, I. (2005). Antioxidant activity of the main phenolic compounds isolated from hot pepper fruit (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Agricultural and food Chemistry*, 53(5), 1750-1756.
- Méndez-Argüello, B., Vera-Reyes, I., Mendoza-Mendoza, E., García-Cerda, L., Puente-Urbina, B., & Lira-Saldívar, R. (2016). Promoción del crecimiento en plantas de *Capsicum annuum* por nanopartículas de óxido de zinc. *Nova Scientia*, 8(17), 140-156.
- Méndez-Espinoza, C., & Vallejo Reyna, M. Á. (2019). Mecanismos de respuesta al estrés abiótico: hacia una perspectiva de las especies forestales. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 10(56), 33-64.
- Mercado, M. D. Y. (2021). Nanopartículas de plata para el control de bacterias fitopatógenas (Tesis Maestría, Universidad Autónoma de Chihuahua). Repositorio Institucional <http://repositorio.uach.mx/348/1/Tesis.pdf>

- Monge-Pérez, J. E. (2016). Efecto de la poda y la densidad de siembra sobre el rendimiento y calidad del pimiento cuadrado (*Capsicum annuum* L.) cultivado bajo invernadero en Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 29(2), 125-136.
- Moreno, L. K. (2017). Aplicación foliar de nanopartículas de zinc, cobre y hierro como estimuladores en el desarrollo de plántulas de tomate. (Tesis, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro). Repositorio Institucional <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/42925/Moreno%20Le%c3%b3n%20Karina.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Moreno, S. G., Vela, H. P., & Álvarez, M. O. S. (2008). La fluorescencia de la clorofila a como herramienta en la investigación de efectos tóxicos en el aparato fotosintético de plantas y algas. *Revista de Educación Bioquímica*, 27(4), 119-129.
- Mousavi, S. R., Galavi, M., & Rezaei, M. (2013). Zinc (Zn) importance for crop production-a review. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4(1), 64-68.
- Nagata, M., & Yamashita, I. (1992). Simple method for simultaneous determination of chlorophyll and carotenoids in tomato fruit. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, 39(10), 925-928
- Noulas, C., Tziouvalekas, M., & Karyotis, T. (2018). Zinc in soils, water and food crops. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 49, 252-260.
- Orosco, A. B. E. (2008). Tolerancia a salinidad de tomate injertado. (Tesis Maestría, Colegio de Postgraduados). Repositorio Institucional http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/10521/1320/1/Orosco_Alcala_BE_MC_Edafologia_2008.pdf
- Pérez, D. M. S. (2023) Agricultura protegida y producción de cultivos en sistemas controlados. *Con-Ciencia Verde*, 2-8.
- Pérez, P. E., Ettiene, G., Marín, M., Casassa-Padron, A., Silva, N., Raga, J., ... & Medina, D. (2014). Determinación de fenoles y flavonoides totales en hojas de guayabo (*Psidium guajava* L.). *Revista de la Facultad de Agronomía*, 60-77.

- Pérez-Vázquez, E. L., Gaucín-Delgado, J. M., Ramírez-Rodríguez, S. C., Sariñana-Navarrete, M. D. L. Á., Zapata Sifuentes, G., & Zuñiga-Valenzuela, E. (2020). Conductividad eléctrica de la solución nutritiva efecto en el rendimiento y la calidad nutracéutica de pimiento morrón. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(7), 1669-1675.
- Preciado-Rangel, P., Rueda-Puente, E. O., Valdez-Aguilar, L. A., Reyes-Pérez, J. J., Gallegos-Robles, M. A., & Amador, B. M. (2021). Electrical conductivity of nutrient solution and their effect on bioactive compounds and yield of bell pepper (*Capsicum annuum* L.). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24(2).
- Qiu, R., Jing, Y., Liu, C., Yang, Z., & Wang, Z. (2017). Response of hot pepper yield, fruit quality, and fruit ion content to irrigation water salinity and leaching fractions. *HortScience*, 52(7), 979-985.
- Răcuciu, M., Tecucianu, A., & Oancea, S. (2022). Impact of magnetite nanoparticles coated with aspartic acid on the growth, antioxidant enzymes activity and chlorophyll content of maize. *Antioxidants*, 11(6), 1193.
- Rajiv, P., & Vanathi, P. (2018). Effect of Parthenium based vermicompost and zinc oxide nanoparticles on growth and yield of *Arachis hypogaea* L. in zinc deficient soil. *Biocatalysis and agricultural biotechnology*, 13, 251-257.
- Ramírez-Serrano, R., Larrinaga-Mayoral, J. Á., Murillo-Amador, B., Hernández-Saavedra, N. Y., & Fujiyama, H. (2008). Respuesta antioxidante enzimática en frutos de chile ancho (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones de estrés salino. *Interciencia*, 33(5), 377-383.
- Ramos, C. M. R., & Paco, S. K. S. (2021). Evaluación del tiempo y la temperatura de calcinación del óxido de zinc en la obtención de nanopartículas de óxido de zinc. (Tesis, Universidad Nacional del Centro del Perú). Repositorio Institucional https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/7199/T010_48137414_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rivera-Gutiérrez, R. G., Preciado-Rangel, P., Fortis-Hernández, M., Betancourt-Galindo, 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.

- Rodríguez, L. N. D., Torres, S. C. N., Chaman, M. M. E., & Hidalgo, R. J. E. M. (2019). Efecto del estrés salino en el crecimiento y contenido relativo del agua en las variedades IR-43 y amazonas de *Oryza sativa*" arroz"(Poaceae). *Arnaldoa*, 26(3), 931-942.
- Rodríguez-Álvarez, M., Morales-Roblero, N., Batista-Sánchez, D., & Mazón-Suástegui, J. M. (2020). *Natrum muriaticum* atenúa el estrés por NaCl en *Capsicum annum* L. var. glabriusculum. *Terra Latinoamericana*, 38(1), 197-216.
- San Martín, D. Á. D. (2020). Evaluación de la participación de RabGDI1 de *Solanum chilense* en el tráfico vesicular y en la tolerancia al estrés salino en *Arabidopsis thaliana* (Tesis Doctoral, Universidad de Talca. Instituto de Ciencias Biológicas). Repositorio Institucional <http://dspace.otalca.cl/bitstream/1950/12765/3/2020A000546.pdf>
- Sanatombi, K. (2023). Antioxidant potential and factors influencing the content of antioxidant compounds of pepper: A review with current knowledge. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*.
- Saqib, S., Nazeer, A., Ali, M., Zaman, W., Younas, M., Shahzad, A., & Nisar, M. (2022). Catalytic potential of endophytes facilitates synthesis of biometallic zinc oxide nanoparticles for agricultural application. *BioMetals*, 35(5), 967-985.
- Selva, V., & SA, S. A. (2010). El maíz necesita Zinc. *Departamento técnico, Stoller Argentina*.
- Serrano, M. A. A. (2009). Efecto de diferentes factores: fertilización, salinidad y procesado, sobre parámetros objetivos de calidad en pimiento. (Tesis Doctoral, Universidad Católica san Antonio UCAM). Repositorio Institucional <https://repositorio.ucam.edu/bitstream/handle/10952/261/TESIS%20DOCTORAL%20PDF.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Shiyab, S. (2011). Effects of NaCl application to hydroponic nutrient solution on macro and micro elements and protein content of hot pepper (*Capsicum annum* L.). *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 9(2 part 1), 350-356.
- Silva, A. Z., Anderson, F. W., Nowaki, R. H., Cecílio Filho, A. B., & Mendoza-Cortez, J. W. (2017). Síntomas de deficiencia de macronutrientes en pimiento (*Capsicum annum* L.). *Agrociencia (Uruguay)*, 21(2), 31-43.

- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. In *Methods in enzymology* (Vol. 299, pp. 152-178). Academic press.
- Steiner, A. A. (1961). A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and soil*, 15, 134-154.
- Sturikova, H., Krystofova, O., Huska, D., & Adam, V. (2018). Zinc, zinc nanoparticles and plants. *Journal of hazardous materials*, 349, 101-110.
- Torres, M. G. A., Alfaro, E. D. G., Meneses, V. M. C., & Ortiz, M. H. (2021). Análisis cuantitativo de la evolución de patentes de nanotecnología en México. *Memoria Universitaria*, 3(2).
- Tripathi, D. K., Singh, S., Singh, S., Dubey, N. K., & Chauhan, D. K. (2016). Impact of nanoparticles on photosynthesis: challenges and opportunities. *Materials Focus*, 5(5), 405-411.
- Vargas-Álvarez, D., Soto-Hernández, M., González-Hernández, V. A., Engleman, E. M., & Martínez-Garza, Á. (2005). Variación del Contenido de Flavonoides en hojas de Guayaba en condiciones de estrés. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 11(1), 89-92.
- Vargas-Martinez, G., Betancourt-Galindo, R., Juárez-Maldonado, A., Sandoval-Rangel, M. S. V. A., & López, A. M. (2023). Impacto de NPsZnO y microorganismos rizosféricos en el crecimiento y biomasa del tomate. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 26, 010.
- Velasco-Jiménez, A., Castellanos-Hernández, O., Acevedo-Hernández, G., Aarland, R. C., & Rodríguez-Sahagún, A. (2020). Bacterias rizosféricas con beneficios potenciales en la agricultura. *Terra Latinoamericana*, 38(2), 333-345.
- Villavicencio, C. E. H. (2017) Las vicisitudes de la innovación en biotecnología y nanotecnología en México. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, División de Ciencias Sociales y Humanidades, 1a. edición
- Watson, G. W. (2019). Caracterización molecular y bioquímica de mutantes M3 de arroz (*Oryza sativa* L. VAR. CR5272) en condiciones de estrés salino. (Tesis Maestría,

Universidad de Costa Rica). Repositorio Institucional
<https://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/79126/Tesis%20William%20Watson%20Guido%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Yogarathnam, N., & Greenham, D. W. P. (1982). The application of foliar sprays containing nitrogen, magnesium, zinc and boron to apple trees. I. Effects on fruit set and cropping. *Journal of Horticultural Science*, 57(2), 151-158.

Zoma, V. J. A. (2018). Efecto fisiológico y tolerancia de NaCl de chiles nativos del estado de Chiapas. (Informe Técnico, Instituto Tecnológico Nacional de Tuxtla Gutiérrez). Repositorio Institucional
<http://repositoriodigital.tuxtla.tecnm.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/3349/MDRPIBQ2018015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Zulfiqar, F., Nafees, M., Chen, J., Darras, A., Ferrante, A., Hancock, J. T., ... & Siddique, K. H. (2022). Chemical priming enhances plant tolerance to salt stress. *Frontiers in Plant Science*, 1-22.

Zúniga, V. A. (2019). Evaluación de diferentes dosificaciones de nanofertilizante Zinc sobre la producción de plántulas de tomate en cultivo hidropónico. (Tesis Maestría, Universidad de Almería). Repositorio Institucional
http://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/8167/TFM_ZUNIGA%20VALLA_DARES%2C%20ANDREA%20BEATRIZ.pdf?sequence=1