

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA



Efectos del Poliacrilato de Potasio y NPsZnO en el Crecimiento del Pimiento
Morrón (*Capsicum annuum* L.)

Por:

ÁLVARO JORGE LÓPEZ SÁNCHEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título:

INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA

Efectos del Poliacrilato de Potasio y NPsZnO en el Crecimiento del Pimiento
Morrón (*Capsicum annuum* L.)

Por:

ÁLVARO JORGE LÓPEZ SÁNCHEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA

Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. Alfonso Méndez López
Asesor Principal


M.C. José Antonio Ríos Peña
Asesor Principal Externo


Dr. Antonio Juárez Maldonado
Coasesor


Dr. Jesús Valdés Reyna
Coasesor


Dr. Alberto Sandoval Rengel
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2023

DERECHOS DE AUTOR Y DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

Todo material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor de los Estados Unidos Mexicanos, y pertenece al autor principal quien es el responsable directo y jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

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

Por lo anterior nos responsabilizamos de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaramos que este trabajo no ha sido previamente presentado en ninguna otra institución educativa, organización, medio público o privado.

Autor principal


Álvaro Jorge López Sánchez

Firma y Nombre

Asesor principal


Dr. Alonso Méndez López

Firma y Nombre

AGRADECIMIENTOS

A Dios, gracias por darme un nuevo sentido y propósito a mi vida, día a día me dio la fuerza, paciencia y sabiduría de seguir luchando para alcanzar mi meta.

A mi Alma Terra Mater, gracias a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por haberme abierto las puertas y brindarme la oportunidad de todos los conocimientos necesarios para mi formación académica, orgullosamente formar parte de la Universidad.

Al DR. Alonso Méndez López agradezco, gracias por el apoyo brindadas para realización de este trabajo, por compartir sus conocimientos y amistad de esta manera pude culminar con éxito.

Al M.C. José Antonio Ríos Peña gracias por darme tu tiempo, amistad, consejos, conocimientos y apoyo, de esta manera pude encontrar sentido a mi tema, ahora puedo decir que logré elaborar de este documento con éxito.

A todas las personas, y mis amigos, desde que salí de mi humilde casa encontré nuevas amistades, me ayudaron a construir metas en mi vida, y estando presente mi familia me empujaron a la cima del éxito.

DEDICATORIAS

A mis padres:

Sra. Yolanda Sánchez Morales

Sr. Francisco López Rodríguez

Desde lo más profundo de mi corazón, quiero expresar mi eterno agradecimiento por darme la vida y por todo el amor y apoyo incondicional que me han brindado a lo largo de los años. Me siento verdaderamente afortunado de tenerlos a mi lado y ser testigo de su sabiduría y bondad. Cada consejo y palabra de aliento que me han dado ha sido invaluable y ha sido fundamental para forjar mi carácter y convertirme en la persona que soy hoy. Sus regaños, aunque a veces difíciles de aceptar, han sido necesarios para corregir mis errores y aprender de ellos. Me han enseñado la importancia de ser una buena persona, de luchar por mis sueños y enfrentar los desafíos con valentía.

A mis hermanas y hermanos

Ya que con todos mis hermanos conviví mi infancia, mil gracias por cuidarme cuando más los necesitaba y siempre estar en los momentos de alegría y tristeza mil gracias a todos ellos.

A mis amigos y compañeros

Quiero aprovechar este espacio para agradecer a cada uno de ustedes por ser mis amigos y compañeros de camino: Marco Antonio Hernández Gómez, David Roblero Bartolón, Jazmín Martínez García, Roxana Marisol Pérez Godínez, Natividad María Pérez Gálvez.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todos aquellos que, de una u otra manera, han sido parte fundamental en el cumplimiento de mi carrera profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIAS	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	v
ÍNDICE DE CUADROS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo general	3
1.2 Objetivo específico	3
1.3 Hipótesis.....	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Generalidades del cultivo de chile pimiento morrón	4
2.1.2 Taxonomía	4
2.1.3 Descripción botánica.....	5

2.1.4 Fenología	6
2.1.5 Principales Plagas del pimiento morrón	7
2.1.6 Agentes etiológicos causantes de enfermedades en pimiento morrón	8
2.2 Eficiencia del uso del agua en la agricultura.....	9
2.3 Nanotecnología	10
2.3.1 Nanomateriales en la agricultura	10
2.3.2 NPsZnO.....	11
2.4 Polímeros superabsorbentes.....	11
2.4.1 Poliacrilato de potasio.....	12
3. MATERIALES Y MÉTODOS	13
3.1. Ubicación del experimento.	13
3.2. Material vegetal.	13
3.3. Síntesis de las nanopartículas de ZnO.....	14
3.4. Poliacrilato de potasio.....	15
3.5 Prueba de evapotranspiración.....	15
3.6. Diseño experimental.....	15

3.7. Metodología experimental	16
3.8 Variables evaluadas	17
3.8.1 Eficiencia del uso de agua	17
3.8.2 Evaluación de variables relacionadas con el rendimiento vegetativo.....	17
Peso fresco del follaje	17
Peso seco del follaje.....	17
Peso fresco de raíz.....	17
Peso seco de raíz.....	17
Diámetro del tallo.....	18
Altura de la planta.....	18
3.8.3 Evaluación de variables relacionadas con el rendimiento.	18
Rendimiento total por planta.....	18
Peso promedio de frutos.....	18
Numero de frutos.....	18
4. RESULTADO Y DISCUSIÓN	19
4.1 Eficiencia del uso del agua.....	19

4.2 Evaluación de variables relacionadas con el rendimiento.	20
4.3 Evaluación de variables agronómicas.	22
5. CONCLUSIONES	25
6. LITERATURA CITADA.....	26

ÍNDICE DE CUADROS

Tabla 1. Taxonomía del pimiento morrón (<i>Capsicum annum</i> L.) (Orellana <i>et al.</i> , 2000).....	5
Tabla 1. Tratamientos de Poliacrilato de potasio (PDP) y nanopartículas de óxido de zinc (NPsZnO).....	28
Tabla 3. Eficiencia del uso del agua (EUA) en productividad en plantas de pimiento morrón.	20
Tabla 4. Variables relacionadas con la productividad en plantas de pimiento morrón.....	22
Tabla 5. Variables agronómicas en plantas de pimiento morrón	24

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fases fenológicas de *Capsicum annum* L. (Aliaga, 2019). 7

Figura 2. Ubicación satelital del área de experimento. **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 3. Histograma de distribución de tamaño. **¡Error! Marcador no definido.**

RESUMEN

El pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) es una hortaliza altamente demandada a nivel mundial, destacándose por su significativa producción y relevancia económica debido a su amplio consumo. Sin embargo, la planta de pimiento morrón muestra una notable sensibilidad a la escasez de agua, atribuible a su extensa superficie foliar y alta conductancia estomática. Ante la exposición a fuerte radiación solar y el inicio de la fructificación, la planta tiende a experimentar deshidratación, lo que implica la necesidad de riegos frecuentes. Con el propósito de evaluar la eficiencia en el uso del agua (EUA), se plantea la incorporación de un bioestimulante, como las nanopartículas, y la aplicación de polímeros superabsorbentes con propiedades de retención hídrica. Por ende, el objetivo principal de este estudio fue analizar el rendimiento y desarrollo vegetal de las plantas de pimiento morrón bajo condiciones de capacidad de campo. Esto se llevó a cabo mediante la aplicación tanto individual como combinada de nanopartículas de ZnO (NPsZnO) (aplicadas foliarmente a una concentración de 0.5 g/L-1) y el uso de un producto comercial de poliacrilato de potasio (PDP) (aplicación de 5 gramos incorporado al sustrato de la maceta). Los resultados evidencian que la aplicación del tratamiento PDP+NPsZnO logró una mayor Eficiencia en el Uso del Agua (EUA), especialmente en relación con variables vinculadas a la producción del cultivo, como el rendimiento total (RT), peso por fruto (P*F) y número de frutos (NF). Asimismo, se observaron aumentos en variables agronómicas clave, como el diámetro del tallo (DT), la biomasa seca área (BSA) y la longitud de la raíz (LGR). De manera similar, la aplicación individual de PDP y NPsZnO contribuyó al incremento de la EUA, mejorando variables asociadas al desarrollo de las plantas. Tanto el PDP como las NPsZnO emergen como alternativas efectivas para potenciar el desarrollo y la producción del cultivo de pimiento morrón, al tiempo que optimizan el uso del agua de riego suministrada.

Palabras clave: Poliacrilato de potasio, NPsZnO, Eficiencia del uso del agua.

I. INTRODUCCIÓN

El pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) es uno de los cultivos con mayor auge en el mundo, destacando principalmente por su importancia económica debido a su alto consumo. Es así como esta hortaliza desempeña un papel importante en la nutrición de personas de todo el mundo, por su alto contenido de vitamina c, carotenoides y flavonoides (Bosland & Votava, 2012).

En 2017, a nivel mundial la producción de pimientos fue de 34 millones de toneladas. Entre los países con mayor producción en toneladas podemos encontrar a China con 16 millones, México 2.3 millones, Turquía 2.2 millones e Indonesia 1.8 millones (Penella & Calatayud, 2018). En la actualidad ha logrado mantener su productividad, convirtiéndose en uno de los productos agrícolas de gran importancia económica (FAO, 2020).

En México, es una de las principales hortalizas frescas mayormente producidas, con 8 252.35 hectáreas de superficie sembrada, en las cuales se obtiene una producción total de 676,216 toneladas. Sus principales estados productores son: Sinaloa, con 4 828 hectáreas cultivadas, obteniendo 401 159 toneladas por año y un rendimiento promedio de 83 t ha⁻¹. Sinaloa produce el 59.3% del volumen de producción nacional, por su parte, Sonora cuenta con 1 523 hectáreas de superficie sembrada, con las cuales produce 104 982 toneladas, en tanto que Guanajuato produce 45 108 toneladas en 469 hectáreas cultivadas, generando un rendimiento promedio de 96 t ha⁻¹ (SIAP, 2019).

Entre las principales tensiones abióticas a las que se enfrenta este cultivo se encuentra la sequía. La planta de pimiento morrón es especialmente sensible ante la disminución de agua, esto debido a su gran superficie foliar y su elevada conductancia estomática, frente a una fuerte radiación solar y ante la aparición de los primeros frutos, la planta tiende a secarse, por ello debe regarse con

frecuencia (Calatayud *et al.*, 2015). Un mal manejo de riego puede provocar problemas de cuajado de fruto, lo cual conlleva a una disminución en los rendimientos comerciales (Belinchón, 2020). Por lo tanto, es imperativo optimizar el uso del agua en la agricultura con el fin de asegurar una producción óptima de nuestros cultivos, evitando riegos excesivos y manteniendo las plantas con la cantidad justa de agua; afortunadamente existen conocimientos y tecnologías disponibles que ayudan a incrementar su eficiencia (Salazar, Rojano & López, 2014; Medrano *et al.*, 2007).

Los bioestimulantes son un ejemplo de ello, hechos a base de sustancias o microorganismos benéficos para las plantas, permiten mejorar o estimular procesos fisiológicos y metabólicos como la absorción, transporte y asimilación de nutrientes, generando efectos positivos en el metabolismo de las plantas (Du Jardín, 2015). Los bioestimulantes de origen natural son utilizados para mejorar la sostenibilidad agrícola, mejorando propiedades del cultivo como el crecimiento y desarrollo de las plantas y protección de enfermedades (Drobek *et al.*, 2019), dentro de los principales bioestimulantes mayormente utilizados por los agricultores están las sustancias húmicas (Da Silva, Olivares & Canellas, 2017; García *et al.*, 2017; Vujinovic *et al.*, 2020) y diversos microorganismos (Da Silva, Olivares & Canellas, 2017; Montes *et al.*, 2022). Llegándose a observar efectos positivos mediante su aplicación, ya que aumentan el tejido vegetal en cultivos como el maní y la lechuga (Lenin, Selvakumar & Thangadurai, 2010).

El empleo de nanopartículas es otro ejemplo destacado, ya que ofrece mejoras significativas en el crecimiento y rendimiento de los cultivos. Estas partículas tienen la capacidad de aumentar la eficiencia del uso de fertilizantes, reducir las pérdidas de nutrientes y minimizar los impactos ambientales adversos, como señalan Liu & Lal, (2015). Entre los nanomateriales más estudiados por su considerable potencial agrícola se encuentran las nanopartículas de óxido de zinc (ZnO), conocidas por su marcada actividad antimicrobiana, su capacidad para

promover el crecimiento y su papel fundamental en la resistencia de las plantas a diversos tipos de estrés (Méndez *et al.*, 2016).

Adicionalmente, se sugiere la utilización de polímeros superabsorbentes de agua y otras soluciones acuosas, como el poliacrilato de potasio. Este polímero ha sido propuesto para su aplicación en la agricultura debido a su capacidad para incrementar la disponibilidad de agua y su habilidad para absorberla al incorporarse al sustrato (Montesano *et al.*, 2015). Por esta razón, la presente investigación se desarrolló bajo los siguientes objetivos:

1.1 Objetivo general

Evaluar el impacto en el rendimiento y desarrollo vegetal de las plantas de pimiento morrón, al aplicar nanopartículas de óxido de zinc (NPsZnO) y poliacrilato de potasio (PDP) en condiciones de capacidad de campo (CC).

1.2 Objetivo específico

- Evaluar el efecto bioestimulante de la aplicación de NPsZnO mediante el análisis de variables asociadas al desarrollo y rendimiento del pimiento morrón.
- Investigar el efecto del PDP como retenedor de agua, analizando variables relacionadas con el desarrollo y rendimiento del pimiento morrón.
- Analizar la interacción entre la aplicación de NPsZnO y PDP, evaluando sus efectos en variables asociadas al desarrollo y rendimiento del pimiento morrón.

1.3 Hipótesis

La aplicación vía foliar de las NPsZnO y el PDP incorporado al suelo darán un efecto bioestimulante que promoverá la eficiencia del uso del agua, mejorando variables agronómicas y de producción.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Generalidades del cultivo de chile pimiento morrón

2.1.1 Importancia económica

El cultivo de chile es de gran importancia tanto a nivel mundial como nacional, debido a sus diferentes maneras de consumo ya sea fresco o seco se logran diferentes preparaciones otorgándoles un sabor, aroma y coloración distinto. (Bährle & Bährle, 2007). Los principales países en exportar chile pimiento morrón a nivel mundial es México, España y Holanda donde exportaron el 63.1 % en el 2016. México tiene el ranking de países con 949.7 millones es decir el 28.85% de total de exportado por un valor de 1,048.71 millones de euros y un precio medio de 1.104 euros por kg (HORTO INFO, 2017).

En 2017, México registró el cultivo del chile (*Capsicum annuum* L.) con mayor producción de 3 millones 54 mil toneladas. (Hernández *et al*, 2018). De acuerdo con SADER, (2022), a nivel mundial México es uno de los principales países en exportar pimiento fresco, dentro de los meses de enero-noviembre de 2021 se exporto mil 366 millones de dólares, lo que implicó un alza de 5.4 por ciento en comparación con igual lapso de un año atrás. Tres factores cruciales, determinantes para el éxito o fracaso en la producción de morrón en condiciones protegidas, son la elección de la variedad, el manejo organizacional y el manejo agronómico (Flórez & Grajales, 2017).

2.1.2 Taxonomía

Tabla 2. Taxonomía del pimiento morrón (*Capsicum annum* L.) (Orellana *et al.*, 2000).

Reino	Plantae
División	Embriophyta
Subdivisión	Angiosperma
Clase	Dicotiledónea
Orden	Polimoniales
Familia	Solanaceae
Género	<i>Capsicum</i>
Especie	<i>Capsicum Annum</i> L.

2.1.3 Descripción botánica

El chile pimiento morrón es la especie más conocida, extendida y cultivada del género *Capsicum*, de la familia de las solanáceas, la planta es anual herbácea tiene un sistema radicular pivotante profundo, alcanzando una estatura mínima de 70 cm o una altura máxima de 120 cm aproximadamente dependiendo del clima donde se siembra. El tallo tiene un crecimiento erecto con un porte limitado variando entre 0.5 y 1.5 m. De acuerdo con las investigaciones la planta al llegar a cierta edad se lignifica ligeramente. Entre otras características podemos encontrar hojas ovadas de porte entero y ápice acuminado, con un peciolo de 1 a 1.6 cm, su coloración es de un verde intenso. Sus Flores son perfectas, estas se presentan de forma solitaria en cada nudo del tallo con inserción en las axilas de las hojas, presenta un cáliz dentado, y sus pétalos, generalmente blancos, ocasionalmente exhiben tonalidades que van desde el amarillo hasta el azul o púrpura. Los frutos se distinguen por ser bayas con dos o cuatro lóbulos. En el interior de cada fruto, se presenta una cavidad entre la placenta y la pared, que constituye la parte aprovechable de la planta. Estos frutos adoptan diversas

formas, como globosa, rectangular y cónica redonda, con variaciones en su tamaño. Inicialmente de un tono verde, su color evoluciona con el tiempo durante el proceso de maduración, transformándose en tonalidades que van desde el amarillo hasta el rojo, naranja y ocasionalmente morado. Las semillas, que tienen una longitud aproximada de 3 a 5 mm, se localizan sobre la placenta cónica en disposición central. Son de forma redonda y ligeramente reniformes, exhibiendo un característico color amarillo pálido (del C Moreno *et al.*, 2011).

2.1.4 Fenología

La fenología abarca el estudio de los fenómenos biológicos asociados a ritmos periódicos o fases, así como su relación con el entorno circundante. En el ciclo ontogénico de las plantas, se producen cambios, visibles o no, que están estrechamente vinculados al genotipo, al entorno en el que se desarrollan y a la interacción entre ambos. La compleja red de interacciones resultante provoca respuestas diversas en distintos cultivos y variedades (Mundarain & Cañizares 2005). El entendimiento de la fenología de un cultivo específico resulta fundamental para su correcto manejo (Soto, Silvertooth & Galadima 2006; Soto & Silvertooth, 2008).

Conforme a las investigaciones de Aliaga, (2019), menciona tres fases fenológicas de *Capsicum annuum* L. clasificándolas de la siguiente manera (Figura 1):

Fase vegetativa: Según Buñay, (2017), destaca que desde el cuarto día de la siembra de las semillas de pimiento comienza su emergencia. Por otro lado, del C Moreno *et al.*, (2011) señalan que la emergencia de las semillas de pimiento inicia aproximadamente a los seis días después de la siembra, con una germinación completa que abarca de 9 a 13 días. Durante el inicio del desarrollo de la plántula, se observa la formación del sistema radicular, así como la aparición de la parte aérea, que incluye tallos, hojas y brotes, alcanzando este estadio a los 21 días después de la germinación, momento en el cual se

comienzan a registrar medidas como la altura, el número de hojas y brotes (De La & Rosemary, 2022). Buñay, (2017), sugiere que esta etapa representa un punto intermedio en el camino hacia la madurez fisiológica, donde se aprecia la mayor parte del follaje alrededor de los 30 días después de la germinación.

Fase reproductiva: Según Huamán, (2016), la etapa de floración marca el inicio de la madurez de la planta, caracterizada por la polinización de las flores. Este fenómeno se manifiesta generalmente entre los 45 y 60 días, variando según la variedad de la planta y las condiciones climáticas.

Fase de maduración: El cuajado del fruto inicia después del proceso de floración y desarrollo, concentrando una mayor cantidad de materia fresca en la fruta. En esta fase, se observa la senescencia de tallos y hojas (Huamán, 2016).

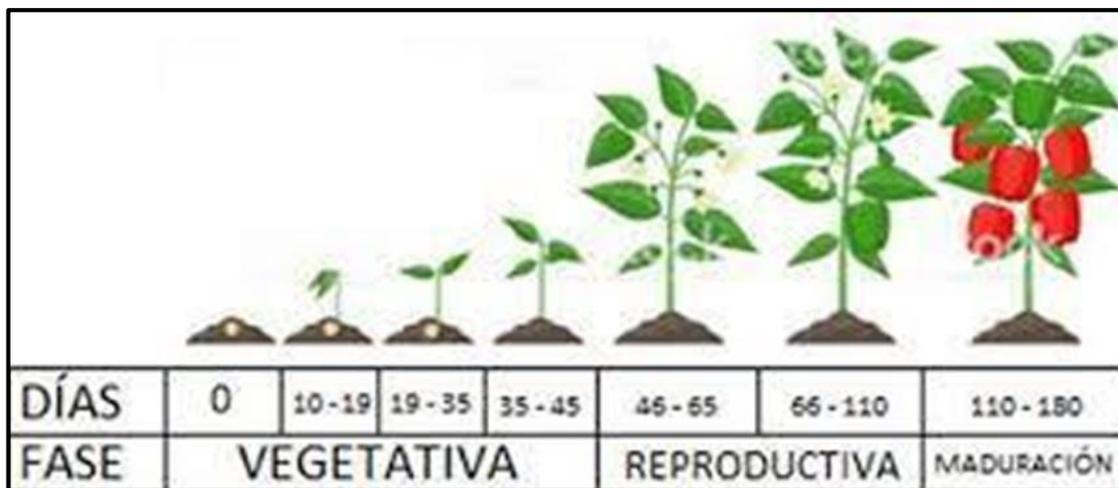


Figura 1. Fases fenológicas de *Capsicum annuum* L. (Aliaga, 2019).

2.1.5 Principales Plagas del pimiento morrón

Mosca blanca: *Bemisia tabaci* y *Bemesia argentifolii* pertenecen al Orden Homoptera y a la Familia Aleyrodidae. Tanto los adultos como las ninfas en estados inmaduros se alimentan de la savia de las hojas, ocasionando un notable

amarillamiento en las mismas. Este daño es de gran relevancia, ya que transmiten virus que resultan en una disminución del rendimiento y frutos con una apariencia poco agradable (FAO, 2002).

Pulgón verde: *Myzus persicae* pertenece al Orden Homoptera y a la Familia Aphididae. Tanto los adultos como las ninfas se alimentan sustrayendo los nutrientes de la planta, lo cual desequilibra el sistema hormonal de las hojas, provocando su enrollamiento durante su desarrollo. Dado que los pulgones extraen cantidades significativas de proteínas de la savia, que es rica en azúcar, es crucial controlarlos a tiempo para evitar que cubran por completo las hojas y los frutos. Si no se aborda de manera oportuna, esta infestación puede provocar la completa cobertura de hojas y frutos. Además, el agotamiento de la planta facilita la penetración de sustancias tóxicas al transmitir patógenos, especialmente virus (Garza & Molina, 2008).

Picudo o barrenillo del chile: También llamado por su nombre científico *Anthonomus eugenii*, este insecto pertenece al Orden Coleoptera y a la Familia Curculionidae. Los primeros daños son ocasionados por las larvas en frutos inmaduros. Los síntomas incluyen amarillamiento y ceniza en los pedúnculos de los frutos infestados, así como marchitez en el punto de unión con la planta, lo que puede llevar al aborto de los frutos. Los adultos causan daño al perforar botones y frutos al picarlos (Garza *et al.*, 2007).

Araña roja: *Tetranychus urticae* pertenece al Orden Acarina y a la Familia Tetranychidae. Estas comienzan su ataque desde la parte inferior de la planta, sustrayendo el contenido celular de hojas, tallos y frutos. Este proceso resulta en el secado de la parte inferior de las hojas, dejando a la planta con una apariencia deteriorada. Como consecuencia, se observa un tono bronceado o rojizo en los tallos y hojas (Garza & Molina, 2008).

2.1.6 Agentes etiológicos causantes de enfermedades en pimiento morrón

Botrytis cinérea: Causa el moho gris en frutos, el cual provoca ablandamiento del tejido y posteriormente empieza el desarrollo de abundante micelio de color blanco a gris, el cual se presenta en aberturas naturales o heridas (Romanazzi & Feliziani, 2014).

Colletotrichum gloesporioides: Causa la antracnosis en pimiento morrón, la cual puede presentarse tanto en pre y postcosecha causando manchas de color café, que se van expandiendo con el tiempo formando anillos concéntricos (Landeró *et al.*, 2016).

Fusarium sp: Se presenta en la etapa postcosecha dañando principalmente el pedúnculo del fruto y desarrollando micelio blanco el cual se expande con el tiempo produciendo necrosis parcial o total del fruto (Sandoval *et al.*, 2011).

Rhizopus stolonifer: Es causante de la podredumbre blanda en los frutos debido a su rápido crecimiento el cual se lleva a cabo por medio de heridas o aberturas naturales, provocando un ablandamiento y liberación de agua del fruto, donde crece micelio con apariencia algodonosa blanquecina que con el tiempo se torna a un color oscuro (Hernández, 2019).

2.2 Eficiencia del uso del agua en la agricultura

Muchas regiones en todo el mundo han alcanzado el límite de aprovechamiento del agua, lo que ha llevado a una sobreexplotación de los recursos hídricos tanto superficiales como subterráneos, generando un impacto negativo en el medio ambiente. En países como México, donde la dependencia del agua subterránea para el riego es crucial, la extracción excesiva está provocando una disminución alarmante en los niveles freáticos de agua dulce. Además, dado que el 77% del agua concesionada en México se destina a la agricultura, resulta imperativo incrementar la eficiencia en el uso del agua en este sector (Salazar, Rojano & López, 2014). La gestión del agua de riego requiere identificar tendencias en los

patrones de uso y niveles de eficiencia. Esto es esencial para establecer metas compartidas con los usuarios y mejorar la productividad por unidad de volumen utilizado (Sánchez *et al.*, 2006).

2.3 Nanotecnología

La nanotecnología (NT) se define como la ciencia que se implementa a nanoescala, abarcando dimensiones desde 1 nm hasta los 100 nm. Para que una partícula sea considerada a esta escala, debe tener dimensiones nanométricas en más de una de sus dimensiones (Medina, Galván & Reyes, 2015). Su tamaño provoca una reactividad por la mayor superficie de contacto con su masa, su característica genera combustión, oxidación o actividad biológica. La nanotecnología ofrece diversas aplicaciones en distintos sectores productivos que generan beneficios significativos para la sociedad (Hernández, 2019). Estos sectores incluyen la salud, la industria textil, la industria cosmética, la tecnología agrícola y la alimentaria (Bhushan, 2017).

2.3.1 Nanomateriales en la agricultura

La NT ha evolucionado como un progreso tecnológico-científico que tiene el potencial de potenciar o revolucionar la agricultura, proporcionando herramientas innovadoras para la detección molecular de estrés tanto biótico como abiótico. Asimismo, contribuye a la identificación rápida de enfermedades fitopatógenas y mejora la capacidad de las plantas para absorber agua, nutrientes y pesticidas (Lira *et al.*, 2018). Este enfoque resulta en mejoras significativas en los rendimientos de los cultivos y sus valores nutricionales (Fraceto *et al.*, 2016).

2.3.2 NPsZnO

El Zn emerge como uno de los micronutrientes cruciales para el desarrollo óptimo de las plantas, participando en reacciones metabólicas vitales. Dado que las plantas requieren este elemento en cantidades mínimas, su disponibilidad a nivel nano garantiza una cantidad apropiada para su crecimiento y desarrollo (Pandey, Sanjay & Yadav, 2010). Faizan, Hayat & Pichtel, (2020) señalan que las NPsZnO, gracias a sus propiedades físicas y antimicrobianas, contribuyen significativamente al desarrollo de las plantas. De acuerdo con diversas investigaciones, se sugiere que las NPsZnO tienen la capacidad de mejorar el crecimiento en diversas especies vegetales (Raskar & Laware, 2014; Afrayeem & Chaurasia, 2017).

2.4 Polímeros superabsorbentes

Un polímero es una sustancia compuesta por moléculas de gran tamaño, o macromoléculas, que se forman mediante la unión de enlaces covalentes de una o más unidades simples conocidas como monómeros. Los polímeros se clasifican en dos categorías principales: naturales y sintéticos, distinguiéndolos por su origen. A diferencia de los polímeros naturales, los polímeros sintéticos muestran estructuras mucho más complejas, caracterizándose por tener de una a tres unidades que se repiten (Beltrán et al., 2016). Los retenedores de agua, también conocidos como hidrogeles o polímeros superabsorbentes, son materiales conformados por redes poliméricas hidrófilas, reticuladas químicas y físicamente. Estas redes tienen la capacidad de absorber o retener grandes cantidades de agua o fluidos biológicos sin perder su estructura tridimensional. Su síntesis es fácilmente realizada mediante la copolimerización de soluciones de acrilamida y acrilato con un agente reticulante (Brito *et al.*, 2013). Considerando que la agricultura representa el mayor consumidor de agua,

aproximadamente el 70% a nivel mundial, con la mayor parte destinada al riego (Duarte & Valdés, 2018), se ha buscado eficiencia en su uso para la producción de alimentos. En este contexto, los polímeros superabsorbentes han sido desarrollados para acondicionar los suelos. Diversos estudios han demostrado que su aplicación mejora las propiedades de retención de agua, la estructura del suelo y la capacidad de aireación, lo que resulta en un aumento de la disponibilidad de agua para las plantas. Esto, a su vez, contribuye a un mayor rendimiento de cosechas y reduce el consumo de fertilizantes (Souza *et al.*, 2016).

2.4.1 Poliacrilato de potasio

El copolímero de acrilamida y acrilato de potasio es conocido por ser altamente higroscópico, lo que significa que tiene la capacidad de absorber grandes cantidades de humedad, en última instancia, agua. En su presentación en gránulos o polvo, puede absorber hasta 500 veces su peso en agua (Trujillo, 2009). Cuando el Poliacrilato de potasio entra en contacto con el agua, los grupos carboxilos presentes en su estructura se disocian, exponiendo cargas negativas. Estas cargas se repelen, ampliando la red estructural y aumentando su tamaño. El agua se almacena en su interior y la planta la extrae en un 99% a través del proceso de osmosis (Campaña, 2016). Este tratamiento ha demostrado ser crucial en diversos cultivos, incluyendo hortalizas, cultivos críticos y fruticultura. Como resultado, se reducen los problemas asociados con la infertilidad del suelo, la escasez de agua, la falta de fertilizantes, la formación de costras de sal y la erosión del suelo. Las propiedades del copolímero también contribuyen al almacenamiento eficiente de agua de lluvia y riego, que de otra manera se perdería debido a la gravedad (Vélez, 2016).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del experimento.

El experimento se realizó en el invernadero #2 perteneciente al área de investigación del departamento de Botánica con coordenadas geográficas 25°35'55"13," Norte y 101.03°09'72" msnm. El invernadero tiene una forma de macrotúnel con cubierta de Poliacrilato, color blanco, dos ventiladores automáticos en la parte a delantera, localizado, dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Saltillo, Coahuila México.



Figura 2. Ubicación satelital del área de experimento

3.2. Material vegetal.

Se utilizaron semillas híbridas de pimiento morrón amarillo (Deseo F1), de la casa comercial (HM. Clause), (México, S.A.). Planta con porte alto, tiene una buena estructura y vigor, frutos conforma perfecta, “bloky” resistencia a enfermedades, de color amarillo y pared gruesa.

3.3. Síntesis de las nanopartículas de ZnO.

Las nanopartículas de ZnO fueron producidas en el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) y generosamente cedidas gracias a la colaboración de la Dra. Rebeca Betancourt Galindo. En el proceso de síntesis, se emplearon reactivos suministrados por Sigma Aldrich, como el acetato de zinc (Zn) ($(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) al 99%, trietilamina (TEA) al 99%, y propilamina al 99%. También se utilizaron etanol de J.T. Baker y agua destilada. La metodología consistió en disolver 8.9 g de acetato de zinc dihidratado en 150 mL de agua desionizada en un matraz de tres bocas, el cual estaba asegurado con pinzas y equipado con un sistema de agitación y calentamiento. Simultáneamente, se disolvieron 1.78 mL de trietanolamina y 0.472 mL de n-propilamina en etanol al 99.5%. Luego, ambas soluciones se mezclaron y se llevó a cabo la reacción a 75°C durante 12 horas. El producto obtenido se centrifugó brevemente a 15000 rpm y se lavó tres veces con etanol para eliminar cualquier acumulación de reactivos no reaccionados durante la síntesis de las nanopartículas. Finalmente, se permitió que el producto se secase durante 24 horas antes de someterlo a su caracterización.

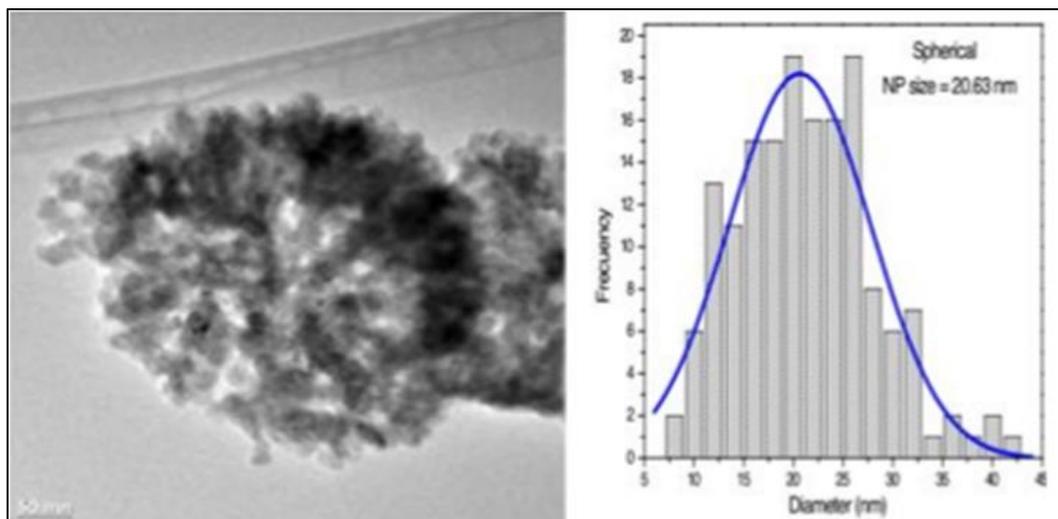


Figura 3. Histograma de distribución de tamaño

3.4. Poliacrilato de potasio

El material empleado en el estudio lleva la marca comercial Ever Aqua®, que consiste en una amplia variedad de polímeros superabsorbentes de poliacrilamida aniónicos. Estos polímeros son copolímeros reticulados de acrilato de potasio y acrilamida, siendo insolubles en agua. Este material posee la capacidad de absorber hasta 400 veces su peso en agua, transformándose en un estado gelatinoso.

3.5 Prueba de evapotranspiración.

En el experimento, empleamos el método gravimétrico para medir la pérdida de agua debido a la evapotranspiración (Segura *et al.*, 2011). La fórmula utilizada fue la siguiente:

$$\text{Evapotranspiración} = P1 - P2$$

Donde P1 representa el peso inicial de la maceta, medido después de saturarla con agua y permitir que drene durante 20 minutos, y P2 corresponde al peso de la maceta transcurridas 24 horas. El resultado final proporciona la cantidad de agua consumida, expresada en mililitros. Las mediciones se llevaron a cabo por la mañana, antes de iniciar la evapotranspiración, que engloba la pérdida de agua debido a la transpiración de la planta y la evaporación del sustrato. La prueba se llevó a cabo semanalmente, permitiendo así calcular con precisión la cantidad exacta de riego requerida para el cultivo y mantenerlas a capacidad de campo.

3.6. Diseño experimental.

El experimento se estableció en un diseño bloques completos al azar con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones, (2 plantas como unidad experimental). Para

realizar el análisis de datos se hizo un ANOVA y prueba de media (Tukey $p < 0.05$) utilizando el software Infostat 2016 (<http://www.infostat.com.ar>).

3.7. Metodología experimental

Para la germinación de las semillas de chile pimiento morrón, se emplearon charolas de poliestireno con 200 cavidades y una mezcla de peat moss y perlita en proporción 1:1. El trasplante se llevó a cabo 40 días después de la germinación, utilizando macetas de 10 litros con la misma proporción de peat moss y perlita. Para la nutrición se utilizó la solución Steiner (Steiner, 1961) con un riego dirigido por goteo. La planta se bifurco en 2 tallos, para su tutorado se utilizó rafia de color blanco realizándose de una manera vertical para su desarrollo vegetativo, este se realizaba conforme al desarrollo de las plantas. El experimento se realizó en el 2022 con una duración de 5 meses (Julio-Diciembre).

Tabla 3. Tratamientos de Poliacrilato de potasio (PDP) y nanopartículas de óxido de zin (NPsZnO).

Tratamientos	Dosis	Forma de aplicación
NPsZnO	0.5 g/L-1100%	Foliar c/15 días
PDP	5 g	Al sustrato
PDP+ NPsZnO	5g+0.5 g/L-1	sustrato + Foliar
Control	100%	Sin ningún tipo de aplicación

3.8 Variables evaluadas

3.8.1 Eficiencia del uso de agua

Para medir la eficiencia del uso de agua (EUA) conforme a la producción de pimiento, se debe sustituir el rendimiento total en kg de nuestro producto por m³ de agua utilizada (Fernández & Camacho 2005).

$$Ef\ agua = \frac{Producción\ (kg)}{Agua\ utilizada\ (m^3)}$$

3.8.2 Evaluación de variables relacionadas con el rendimiento vegetativo.

Peso fresco del follaje. Se registró el peso fresco de toda la zona vegetativa de las plantas en gramos (g) mediante una balanza digital de la marca COBACORP, modelo BCA. Este proceso se llevó a cabo individualmente para cada planta de chile pimiento morrón.

Peso seco del follaje. El follaje se colocó en bolsas de papel y se introdujo en la estufa de la marca Terlab, modelo TE-H80DM, para su proceso de secado. Utilizando la misma balanza previamente mencionada, se registró el peso del follaje una vez seco en gramos (g).

Peso fresco de raíz. Al concluir el ciclo de vida de la planta, se extrajo la raíz, se llevó a cabo un proceso de lavado y, posteriormente, se procedió a pesarla, determinando esta variable en gramos (g).

Peso seco de raíz. Las raíces fueron secadas utilizando la estufa mencionada anteriormente. Después de completar este proceso, se procedió a pesar las raíces, expresando el resultado en gramos (g).

Diámetro del tallo. Para evaluar esta variable, se midió el grosor del tallo de la planta utilizando un calibrador vernier. La medida se registró en centímetros (cm) y se tomó a una distancia de dos centímetros del suelo.

Altura de la planta. La medición se llevó a cabo al concluir el experimento utilizando un flexómetro. Las unidades de medida para esta variable fueron en centímetros (cm), tomando la medida desde la parte inicial del tallo hasta el final del ápice, utilizando la última hoja del dosel del cultivo como referencia.

3.8.3 Evaluación de variables relacionadas con el rendimiento.

Rendimiento total por planta. El rendimiento total de frutos por planta hasta la conclusión del experimento fue calculado exitosamente mediante una balanza digital de la marca COBACORP, modelo BCA, utilizando kilogramos (Kg) como unidad de medida.

Peso promedio de frutos. Para determinar el peso individual de los frutos, se empleó la misma balanza mencionada anteriormente, utilizando gramos (g) como unidad de medida.

Numero de frutos. Se obtuvo el número de frutos (NF) por planta, se hizo la sumatoria de todos los frutos cosechados.

4. RESULTADO Y DISCUSIÓN

4.1 Eficiencia del uso del agua.

De acuerdo con la eficiencia del uso del agua se observan los gramos producidos por litro de agua consumidos (Tabla 3). En el peso por fruto esta variable es estadísticamente significativa de acuerdo con la prueba de medias de Tukey ($\alpha \leq 0.05$), usando los tratamientos PDP+NPsZnO y PDP. En la Tabla 3 los tratamientos antes mencionados superan al C en un 8.91% y 5.09%. Para el rendimiento total de frutos se muestran diferencias en los tratamientos PDP+NPsZnO, PDP y NPsZnO logrando superar al C en un 50.76%, 35.11% y 25.05% respectivamente.

Según Flores *et al.*, (2017), el agua se presenta como un factor limitante para la agricultura, haciéndose indispensable para este sector hacer un uso eficiente de ella. La productividad del agua es un indicador crucial en áreas con recursos hídricos esenciales, ya que permite calcular el valor económico del agua de riego. Este cálculo puede maximizarse y, por lo tanto, se convierte en uno de los prerrequisitos fundamentales para el desarrollo de políticas destinadas a regular su uso en la producción de alimentos.

De acuerdo con Andrada & Di Bárbaro, (2018) mencionan la efectividad del poliacrilato de potasio para aumentar la eficiencia del uso del agua, beneficiando el crecimiento y rendimiento de los cultivos al aumentar la humedad del suelo.

Algunos estudios indican que la aplicación de nanomateriales en nuestros cultivos mejora significativamente su productividad y eficiencia. Este efecto promotor está relacionado con la actividad del zinc como precursor en la síntesis de auxinas, que a su vez promueven la división celular. Además, el zinc influye en la reactividad del ácido indolacético, el cual actúa como fitoestimulante hormonal (Méndez *et al.*, 2016).

Tabla 3. Eficiencia del uso del agua (EUA) en productividad en plantas de pimiento morrón.

Tratamiento	EUA/P*F (g L fruto ⁻¹)	EUA/RT (Kg L planta ⁻¹)
PDP+NPsZnO	1.71 a	20.82 a
PDP	1.65 a	18.66 ab
NPsZnO	1.50 c	17.27 b
C	1.57 b	13.81 c
C.V. (%)	2.09	6.23
ANOVA	0.0001	0.0001

De acuerdo con Tukey ($\alpha \leq 0.05$) medias con la misma letra por columna son estadísticamente iguales, eficiencia del uso de agua (EUA), peso por fruto (P*F), rendimiento total (RT), control (C), Aplicación foliar de nanopartículas de ZnO a una concentración de 0.5 g/L-1 (NPsZnO), Aplicación de 5 g de una marca comercial de Poliacrilato de potasio al sustrato de la maceta (PDP), plantas con la aplicación de nanopartículas de ZnO y Poliacrilato de potasio (PDP+ NPsZnO).

4.2 Evaluación de variables relacionadas con el rendimiento.

En la Tabla 4 se trasmite los resultados de variables relacionados con el rendimiento. De acuerdo con la prueba de medias de Tukey ($\alpha \leq 0.05$) se presenta diferencias significativas en cada una de ellas. En el rendimiento total se observa que las plantas que recibieron la aplicación de los tratamientos PDP+NPsZnO, PDP y las NPsZnO obtuvieron rendimientos de 1.77Kg, 1.59Kg y 1.47Kg en el orden dado de los tratamientos antes mencionados; a su vez cada uno de estos tratamientos superaron al C en un 51.28%, 35.89% y 25.64% respectivamente.

Para el peso por fruto los tratamientos PDP+NPsZnO y PDP obtuvieron rendimientos de 145.00 g y 140.25 g respectivamente, estadísticamente superan al C en un 8.41% y 4.85%.

Durante todo el ciclo de cultivo usando los tratamientos PDP+NPsZnO, PDP y NPsZnO se obtuvo un total de frutos de 12.50, 11,88 y 11.63 respectivamente, como se observa en la Tabla 2 estos tratamientos superan al C en un 38.88%, 32.00% y 29.22%

Según los datos analizados, se logró un tamaño de fruto satisfactorio mediante las aplicaciones de PDP+NPsZnO, PDP y NPsZnO, obteniendo resultados positivos al combinar ambos productos y usarlos de forma individual.

De acuerdo con López *et al.*, (2018) mencionan que la aplicación de nanopartículas de Cu obtiene diferencias significativas en el calibre y calidad de los frutos de tomate, induciendo un aumento en la actividad enzimática de superóxido dismutasa (SOD) y catalasa (CAT). Un estudio llevado a cabo en nogal pecanero demuestra que la aplicación foliar de NPsZnO a una concentración de 4000 mg L⁻¹ incrementa el contenido de zinc en los folíolos, contribuyendo así a un mayor rendimiento (Estrada *et al.*, 2023).

Un estudio realizado con hidrogel a base de celulosa en plantas de jitomate Cherry bajo condiciones de estrés hídrico revela que, gracias a la liberación gradual del agua, se evita el marchitamiento debido al déficit hídrico. Además, los resultados indican que, a pesar de la reducción en el suministro de agua, los rendimientos se mantienen, lo que se traduce en beneficios económicos y ambientales (Demitri *et al.*, 2013).

Tabla 4. Variables relacionadas con la productividad en plantas de pimienta morrón.

Tratamiento	RT (Kg planta ⁻¹)	P*F (g fruto ⁻¹)	NF
PDP+NPsZnO	1.77 a	145.00 a	12.50 a
PDP	1.59 ab	140.25 a	11.88 a
NPsZnO	1.47 b	127.25 c	11.63 a
C	1.17 c	133.75 b	9.00 b
C.V. (%)	6.23	2.09	5.93
ANOVA	0.0001	0.0001	0.0002

De acuerdo con Tukey ($\alpha \leq 0.05$) medias con la misma letra por columna son estadísticamente iguales. Rendimiento total (RT), peso por fruto (P*F), Numero de frutos (NF), control (C), Aplicación foliar de nanopartículas de ZnO a una concentración de 0.5 g/L-1 (NPsZnO), Aplicación de 5 g de una marca comercial de poliacrilato de potasio al sustrato de la maceta (PDP), plantas con la aplicación de nanopartículas de ZnO y poliacrilato de potasio (PDP+ NPsZnO).

4.3 Evaluación de variables agronómicas.

En la Tabla 5 se observa las variables agronómicas asociadas al crecimiento y desarrollo de la planta. De acuerdo con las pruebas de medias Tukey ($\alpha \leq 0.05$) se muestran diferencias significativas en las variables DT, BSA, y LGR. En la variable de diámetro del tallo, el tratamiento NPsZnO obtuvo 1.65 cm, superando al C en un 15.38%. Dentro de la variable biomasa seca área se muestran diferencias en los tratamientos PDP y PDP+NPsZnO con un promedio de 67.00 g y 64.25 g respectivamente superando al C en un 59.52% y 52.97%. Finalmente evaluamos la variable longitud de raíz, obteniendo 48.25 cm en el tratamiento NPsZnO, superando al C en un 34.02%.

Según la investigación de Morales *et al.*, (2023), la aplicación de nanopartículas de óxido de zinc a concentraciones de 0.50 y 250 mg L⁻¹ en el cultivo de tomate generó diferencias significativas en el desarrollo de las plantas. Estas diferencias se reflejaron en aspectos como el crecimiento de las raíces, el peso y la biomasa de las hojas. Además, la aplicación del bioestimulante demostró tener un impacto positivo en el crecimiento vegetativo general de las plantas.

De acuerdo con Pérez *et al.*, (2019) menciona que las nanopartículas de cobre (Cu) aplicadas de manera foliar en las plantas de tomate, a una concentración de 250 mg L⁻¹ disminuyen el estrés salino ya que mejora la relación Na⁺ /K⁺ e incrementa sus compuestos fenológicos; en consecuencia, se observa un incremento en el tejido vegetal del tomate.

Un estudio realizado en lechuga tuvo como objetivo evaluar la influencia del poliacrilato de potasio en el rendimiento del cultivo, cuantificar la eficiencia del uso del agua y determinar la rentabilidad económica de los niveles evaluados. Los resultados muestran un incremento significativo en el área foliar cuando se utilizó una concentración de 0.25g, logrando un rendimiento de 39g por planta (Rivera, 2020).

Tabla 5. Variables agronómicas en plantas de pimiento morrón

Tratamiento	A (cm planta ⁻¹)	DT (cm planta ⁻¹)	BFA (g planta ⁻¹)	BSA (g planta ⁻¹)	PFR (g planta ⁻¹)	PSR (g planta ⁻¹)	LGR (cm planta ⁻¹)
PDP+NPsZnO	76.88 a	1.63 ab	389.13 a	64.25 a	133.75 a	23.75 a	39.25 ab
PDP	78.75 a	1.58 ab	413.25 a	67.00 a	124.75 a	32.00 a	40.75 ab
NPsZnO	80.63 a	1.65 a	381.38 a	59.75 ab	177.00 a	41.25 a	48.25 a
C	75.38 a	1.43 b	370.00 a	42.00 b	118.00 a	31.25 a	36.00 b
C.V. (%)	5.38	6.40	9.74	14.01	21.22	32.05	12.62
ANOVA	0.3707	0.0450	0.4623	0.0078	0.0731	0.1928	0.0458

De acuerdo con Tukey ($\alpha \leq 0.05$) medias con la misma letra por columna son estadísticamente iguales. Altura (A), Diámetro de tallo (DT), Biomasa fresca aérea (BFA), Biomasa seca aérea (BSA), Peso fresco de raíz (PFR), Peso seco de raíz (PSR), Longitud de raíz (LGR), control (C), Aplicación foliar de nanopartículas de ZnO a una concentración de 0.5 g/L-1 (NPsZnO), Aplicación de 5 g de una marca comercial de poliacrilato de potasio al sustrato de la maceta (PDP), plantas con la aplicación de nanopartículas de ZnO y poliacrilato de potasio (PDP+ NPsZnO).

5. CONCLUSIONES

La aplicación combinada de PDP+NPsZnO mostró una mayor EUA, evidenciada en el incremento de variables relacionadas con el rendimiento, como RT, P*F y NF. Además, variables agronómicas como DT, BSA y LGR se vieron beneficiadas. De manera similar, la aplicación individual de PDP y NPsZnO aumentó la EUA en relación con el rendimiento de las plantas tratadas, mejorando variables asociadas a su desarrollo. Tanto el PDP como las NPsZnO se presentan como alternativas efectivas para potenciar el desarrollo y la producción del cultivo de pimiento morrón, optimizando el uso del agua de riego suministrada.

6. LITERATURA CITADA

- Afrayem, S., & Chaurasia, A. (2017). Effect of zinc oxide nanoparticles on seed germination and seed vigour in chilli (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(5), 1564-1566.
- Aliaga Ordoñez, C. R. (2019). Tratamiento convencional de fungosis del cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.) en Salaverry-La Libertad.
- Andrada, H., & Di Barbaro, G. (2018). Effect of the application of copolymere on lettuce (*Lactuca sativa* L.) crop. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(2), 27-35.
- Bährle, M., & Bährle, M. (2007). *Capsicum annuum*. *Springer Lexikon Kosmetik und Körperpflege*, 89-90.
- Belinchón Moreno, J. (2020). *Evaluación del efecto de la micorrización en plantas de berenjena y pimiento crecidas en condiciones de estrés abiótico* (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
- Bosland, P. W., Votava, E. J., & Votava, E. M. (2012). *Peppers: vegetable and spice capsicums* (Vol. 22). Cabi.
- Bhushan, B. (2017). Introduction to nanotechnology. *Springer handbook of nanotechnology*, 1-19.
- Brito, C. W. D. Q., Rodrigues, F. H., Fernandes, M. V. D. S., da Silva, L. R., Ricardo, N. M., Feitosa, J., & Muniz, E. C. (2013). Síntese e caracterização

de hidrogéis compósitos a partir de copolímeros acrilamida-acrilato e caulim: efeito da constituição de diferentes caulins do nordeste brasileiro. *Química Nova*, 36, 40-45.

Buñay, C. (2017). *Etapas fenológicas del cultivo del pimiento (Capsicum annuum. L) VAR. Verde, bajo las condiciones climáticas del cantón general Antonio Elizalde (Bucay) provincia del Guayas* (Bachelor's thesis).

Calatayud, Á., Penella, C., Penella, V., Marsal, J. I., Bonet, L., Nebauer, S. G., ... & López-Galarza, S. (2015). Respuesta de las plantas injertadas de pimiento en condiciones de estrés hídrico. Influencia del injerto y del patrón. *Agrícola Vergel*, (381), 84-86.

Campaña Chunata, I. A. (2016). Evaluación de la capacidad de retención hídrica en sustratos con poliacrilato de potasio, para cultivo de haba, en ambiente controlado (Bachelor's thesis, Quito: UCE).

Da Silva, S., Olivares, F., & Canellas, L. (2017). The biostimulant manufactured using diazotrophic endophytic bacteria and humates is effective to increase sugarcane yield. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 4, 1-6.

De La, R., & Rosemary, Z. (2022). *Evaluación de dos bioestimulantes sobre el crecimiento inicial de Pimiento Capsicum annuum Var. Marconi en la parroquia Anconcito, provincia de Santa Elena* (Bachelor's thesis, La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena. 2022).

- del C Moreno, E., Mora, R., Sánchez, F., & García, V. (2011). Fenología y rendimiento de híbridos de pimiento morrón (*Capsicum annum* L.) cultivados en hidroponía. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 17(SPE2), 5-18.
- Demitri, C., Scalera, F., Madaghiele, M., Sannino, A., & Maffezzoli, A. (2013). Potential of cellulose-based superabsorbent hydrogels as water reservoir in agriculture. *International Journal of Polymer Science*, 2013.
- Drobek, M., Fraç, M., & Cybulska, J. (2019). Plant biostimulants: Importance of the quality and yield of horticultural crops and the improvement of plant tolerance to abiotic stress—A review. *Agronomy*, 9(6), 335.
- Duarte, C., & Valdés, P. (2018). Predicción de normas netas de riego del frijol común en la zona occidental de Cuba. *Ingeniería Agrícola*, 8(2), 41-47.
- Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia horticulturae*, 196, 3-14.
- Estrada-Arellano, K. L., Vázquez-Vázquez, C., Betancourt-Galindo, R., Muy-Rangel, M. D., Valenzuela-Nuñez, L. M., García-Hernández, J. L., & Gallegos-Robles, M. Á. (2023). Fertilización foliar con nanopartículas de ZnO y su efecto en la producción, calidad biofísica y nutraceútica en frutos de nogal pecanero (*Carya illinoensis*). *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 41.

- Faizan, M., Hayat, S., & Pichtel, J. (2020). Effects of zinc oxide nanoparticles on crop plants: A perspective analysis. *Sustainable Agriculture Reviews 41: Nanotechnology for Plant Growth and Development*, 83-99.
- FAO. (2020). Estadísticas de países productores y comercializadores de productos agrícolas. FAOSTAT. Informe Estadístico. (Consultado el 07 de marzo de 2022).
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2002. Manual práctico. Manejo integrado de plagas y enfermedades en cultivos hidropónicos en invernadero. 33 p.
- Flórez, D., & Grajales, H. (2017). Plan de manejo ambiental de la finca Agropecuaria del Campo SAS, ubicada en el corregimiento de la Tulia, en el Municipio de Bolívar en el Valle del Cauca.
- Flores, J. L. R., Moreno, M. T., Moreno, M. A. T., & Brito, J. E. C. (2017). Eficiencia y productividad del cultivo de frijol en un sistema de riego por bombeo en Zacatecas, México. *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 24(2), 152-163.
- Fraceto, L. F., Grillo, R., de Medeiros, G. A., Scognamiglio, V., Rea, G., & Bartolucci, C. (2016). Nanotecnología en la agricultura: ¿qué potencial de innovación tiene. *Fronteras en Ciencias Ambientales*, 4, 20.
- García, A., Ardisana, E., del Valle, G., García, J., & Téllez, O. (2017). Efectos del BIOSTAN® en los índices de crecimiento y los pigmentos fotosintéticos de *Phaseolus vulgaris* L. *La Técnica*, (18), 25-35.

Garza Arizpe, M., Molina Velázquez, M., & Martínez de la Cerda, J. (2009). Manual para la producción de tomate en invernadero en suelo en el Estado de Nuevo León.

Garza Urbina, E., Rivas Monge, A., & Moreno Chávez, G. J. (2007). *Manejo integrado de las plagas del chile y jitomate en el altiplano de San Luis Potosí* (No. 635.6429097244 G3M36).

Hernández, G. (2019). Manejo de alternaria alternata en pimiento con recubrimientos nanoestructurados de quitosano y monoterpenos, y su toxicidad en un modelo murino.

Hernández, L., Chiquito, R., Castillo, D., Chiquito, C., Vidal, L., & Beltrán, F. (2018). Efecto de microcápsulas de *Pseudomonas putida* sobre crecimiento y rendimiento de pimiento morrón. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(SPE20), 4223-4233.

HORTO INFO. (2017). Informe pimiento 2017. <https://www.hortoinfo.es/index.php/informes/cultivos/6011-inf-pim-2017>

Huamán, E. (2016). Producción de doce cultivares de pimiento tipo Guajillo (*Capsicum annum* L.) bajo las condiciones del valle de Casma.

Landero-Valenzuela, N., Lara-Viveros, F. M., Andrade-Hoyos, P., Aguilar-Pérez, L. A., & Aguado Rodríguez, G. J. (2016). Alternativas para el control de *Colletotrichum* spp. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(5), 1189-1198.

- Lenin, M., Selvakumar, G., & Thangadurai, R. (2010). Growth and nutrient content variation of groundnut *Arachis hypogaea* L. under vermicompost application. *Journal of Experimental Sciences*, 1(8).
- Lira, R., Méndez, B., Santos, G., & Vera, I. (2018). Potencial de la nanotecnología en la agricultura. *Acta universitaria*, 28(2), 9-24.
- Liu, R., & Lal, R. (2014). Synthetic apatite nanoparticles as a phosphorus fertilizer for soybean (*Glycine max*). *Scientific reports*, 4(1), 1-6.
- López, E., Ortega, H., Cadenas, G., de Alba, K., Cabrera, M., Benavides, A., & Juárez, A. (2018). Foliar application of copper nanoparticles increases the fruit quality and the content of bioactive compounds in tomatoes. *Applied Sciences*, 8(7), 1020.
- Medina, M. E., Galván, L. E., & Reyes, R. E. (2015). Las nanopartículas y el medio ambiente. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 19(74), 49-58.
- Méndez, B., Vera, I., Mendoza, E., García, L., Puente, B., & Lira, R. (2016). Promoción del crecimiento en plantas de *Capsicum annuum* por nanopartículas de óxido de zinc. *Nova scientia*, 8(17), 140-156.
- Montes, Y. L. C., Torres-García, A., Ardisana, E. F. H., Téllez, O. F., & León-Aguilar, R. (2022). Efectos de bioestimulantes en las clorofilas y el número de hojas en el cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.) en condiciones semiprotegidas. *La Técnica: Revista de las Agrociencias*. ISSN 2477-8982, 15-26.

- Montesano, F. F., Parente, A., Santamaria, P., Sannino, A., & Serio, F. (2015). Biodegradable superabsorbent hydrogel increases water retention properties of growing media and plant growth. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 4, 451-458.
- Morales, R., Betancourt, R., Juárez, A., Hernández, A., González, J., Puente, B., & Méndez, A. (2023). Aplicación de extractos de algas, NP'SZnO y microorganismos sobre la biomasa vegetal en tomate. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 10(2).
- Mundarain, M., & Cañizares, A. (2005). Fenología del crecimiento y desarrollo de plántulas de ají dulce (*Capsicum frutescens* L.). *Revista Científica UDO Agrícola*, 5(1), 62-67.
- Orellana, F., Escobar, J., Morales, A., Méndez, I., Cruz, R. & Catellón, M. (2000). Cultivo de Chile Dulce. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal. El Salvador. 51 pp.
- Pandey, A., Sanjay, S., & Yadav, R. (2010). Application of ZnO nanoparticles in influencing the growth rate of *Cicer arietinum*. *Journal of Experimental nanoscience*, 5(6), 488-497.
- Penella, C., & Calatayud, A. (2018). Pepper crop under climate change: grafting as an environmental friendly strategy. *Climate resilient agriculture: strategies and perspectives*. IntechOpen, London, 129-155.

- Pérez, F., López, E., Ortega, H., Cadenas, G., Benavides, A., & Juárez, A. (2019). Responses of tomato plants under saline stress to foliar application of copper nanoparticles. *Plants*, 8(6), 151.
- Sandoval, R., Martínez, R., Hernández, M., Fernández, E., Arvizu, S., & Soto-Muñoz, L. (2011). Control biológico y químico contra *Fusarium stilboides* en pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) en poscosecha. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 17(2), 161-172.
- SIAP, (2019). Estadística de Producción Agrícola. Recuperado de <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>
- Soto, R., Silvertooth, J., & Galadima, A. (2006). Crop phenology for irrigated chiles (*Capsicum annuum* L.) in Arizona and New Mexico.
- Raskar, S., & Laware, S. (2014). Effect of zinc oxide nanoparticles on cytology and seed germination in onion. *Int J Curr Microbiol App Sci*, 3(2), 467-473.
- Rivera Beltrán, J. F. (2020). *Evaluación del comportamiento del cultivo de lechuga (lactuca sativa l.) y eficiencia del uso de agua utilizando poliácido de potasio en la Granja Experimental La Pradera, Imbabura* (Bachelor's thesis).
- Romanazzi, G., & Feliziani, E. (2014). Botrytis cinerea (gray mold), p 131–146. *Postharvest decay: control strategies. Elsevier, Amsterdam, Netherlands.*
- Salazar, R., Rojano, A., & López, I. (2014). La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada. *Tecnología y ciencias del agua*, 5(2), 177-183.

Sánchez Cohen, I., Catalán Valencia, E., González Cervantes, G., Estrada Avalos, J., & García Arellano, D. (2006). Indicadores comparativos del uso del agua en la agricultura. *Agricultura técnica en México*, 32(3), 333-340.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2022). México, principal exportador mundial de pimientos fresco: Agricultura. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/mexico-principal-exportador-mundial-de-pimientos-frescos-agricultura>

Segura, M., Ramírez, A., García, G., Preciado, P., García, J., Yescas, P., Fortis, M., Orozco, J., Montemayor, J. (2011). Desarrollo de plantas de tomate en un sustrato de arena-pómez con tres diferentes frecuencias de riego. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 17(1): 25–31.

Soto, R., & Silvertooth, J. (2008). A crop phenology model for irrigated New Mexico chile (*Capsicum annuum* L.) type varieties.

Souza, A. J. J., Guimarães, R. J., Dominghetti, A. W., Scalco, M. S., & Rezende, T. T. (2016). Water-retaining polymer and seedling type when planting irrigated coffee. *Revista Ciência Agronômica*, 47, 334-343.

Steiner, A. A. (1961). A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and soil*, 15, 134-154.

Trujillo, E. (2009). Plantines y retenedores de agua. Recuperado de <https://docplayer.es/41925637-Plantines-y-retenedores-de-agua-nuevas-tecnologias-en-la-produccion-y-manejo-de-arboles.html>

Vélez, N. (2016). *Efecto de retenedores de agua en la producción de lechuga (Lactuca sativa L.) variedad cressa salad en la granja experimental Yuyucocha Provincia de Imbabura (Bachelor's thesis).*

Vujinović, T., Zanin, L., Venuti, S., Contin, M., Ceccon, P., Tomasi, N., ... & De Nobili, M. (2020). Biostimulant action of dissolved humic substances from a conventionally and an organically managed soil on nitrate acquisition in maize plants. *Frontiers in plant science*, 10, 1652.