

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA



Efecto de Nanocompuestos en la Calidad y Rendimiento de Frutos
de Calabaza (*Cucúrbita pepo* L.) cv. Grey zucchini

Por:

SHEILA ANGÉLICA PÉREZ GÁMEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA

Efecto de Nanocompuestos en la Calidad y Rendimiento de Frutos
de Calabaza (*Cucúrbita pepo* L.) cv. Grey zucchini

Por:

SHEILA ANGÉLICA PÉREZ GÁMEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Alonso Méndez López
Asesor Principal



Dra. Juana Cruz García Santiago
Asesora Principal Externa



Dra. Rebeca Betancourt Galindo
Coasesor



Dra. Aida Isabel Leal Robles
Coasesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2024

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

Sheila Angélica
Pérez G.
Sheila Angélica Pérez Gámez

Firma y Nombre

Asesor principal


Dr. Alonso Méndez López

Firma y Nombre

DEDICATORIA

A mis queridos y amados padres

Su constante apoyo, aliento y sacrificio han sido la brújula que me guio a lo largo de este arduo viaje académico. Su fe inquebrantable en mí me ha dado la fuerza necesaria para superar todos los desafíos. Este logro no solo es mío, sino también de ustedes. Gracias por ser mi fuerza y mi inspiración en este largo camino. Los amo con toda mi alma.

A mis adorados hermanos

Su presencia alegre y su cariño incondicional han sido mi refugio en los momentos de incertidumbre. Cada una de sus palabras de aliento y su confianza en mí han sido un faro de esperanza en este camino. Agradezco profundamente todo el amor y complicidad en cada paso que he dado.

A mi amado Miguel Ángel

Tu amor y apoyo han sido mi ancla en las tormentas y mi luz en la oscuridad. Tu paciencia infinita y tu comprensión inquebrantable han sido el impulso que necesitaba para seguir adelante incluso en los momentos más difíciles. Este logro también es tuyo, porque cada victoria mía es un triunfo compartido contigo. Gracias por ser mi compañero de vida y mi mayor motivación, te amo.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

Índice

ÍNDICE DE CUADROS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivo general.....	3
1.2. Objetivos específicos.....	3
1.3 . Hipótesis.....	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Cultivo de calabaza cv. Grey Zucchini.....	4
2.2. Taxonomía.....	4
2.3. Características botánicas.....	5
2.3.1 Planta	5
2.3.2 Raíz	5
2.3.4 Hojas	5
2.3.5 Flores.....	6
2.3.6 Fruto	6
2.4. Origen y domesticación	6
2.3. Diversidad genética.....	7
2.4. Importancia mundial y nacional.....	7
2.5. Aporte nutrimental.....	8
2.6. Nanotecnología.....	8
2.7. Nanocompuestos.....	9
2.8. Bioestimulantes	10
2.9. Quitosano	10
2.10. Alginato	11
2.11. Maltodextrina.....	11
3. MATERIALES Y MÉTODOS	13
3.1. Ubicación del experimento.....	13
3.2. Labores culturales	13
3.3. Siembra.....	13
3.4. Material biológico.....	14

3.5.	Manejo del cultivo.....	14
3.6.	Metodología de elaboración de geles	14
3.7.	Tratamientos y diseño experimental	17
3.8.	Variables evaluadas.....	18
3.8.1.	Peso de fruto.....	18
3.8.2.	Longitud del fruto.....	18
3.8.3.	Diámetro del fruto.....	18
3.8.4.	Rendimiento del fruto por planta.....	18
3.8.5.	Firmeza	19
3.8.6.	Conductividad eléctrica y pH.....	19
3.8.7.	Sólidos solubles totales (°Brix).....	19
3.8.8.	Acidez titulable.....	19
3.8.9.	Vitamina C	20
3.9.	Análisis estadístico.....	21
4.	RESULTADOS.....	22
4.1.	Resultados de geles	22
4.2.	Variables agronómicas	27
4.2.1.	Peso de fruto.....	27
4.2.2.	Longitud.....	29
4.2.4.	Rendimiento	30
4.3	Variables fisicoquímicas	31
4.3.1.	Firmeza en fruto.....	31
4.3.2.	Conductividad eléctrica	32
4.3.3.	Potencial de oxidación y reducción	33
4.3.4.	pH.....	34
4.3.5.	Acidez titulable.....	35
4.3.6.	Solidos solubles totales.....	36
4.3	Variables bioquímica.....	36
4.3.1	Vitamina C	36
5.	DISCUSIÓN	38
5.1.	Variables agronómicas	38
5.2.	Variables fisicoquímicas	39
5.3.	Variables bioquímicas.....	40

6. CONCLUSIÓN.....	41
7. LITERATURA CITADA.....	42

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Diseño experimental.....	19
---	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del experimento.....	19
Figura 2. Espectro IR de alginato de sodio, Tpp, quitosano y maltodextrina (MDX).....	22
Figura 3. Espectro IR de las muestras de nanopartículas de quitosano, modificado con maltodextrina.....	23
Figura 4. Espectro de las muestras de NpsQsAlgTpp con diferentes concentraciones de alginato y TPP.....	24
Figura 5. Nanopartículas de quitosano y TPP sin modificar. (A 1 mm, (B 200 µm, (C 50, (D 20 µm de profundidad.....	25
Figura 6. Nanopartículas de quitosano modificado con maltodextrina. (A 1mm, (B 200 µm, (C 50, (D 20 µm de profundidad.....	25
Figura 7. Imágenes obtenidas de la microscopía electrónica de barrido de las muestras de NpsQsAlgTpp.....	27
Figura 8. Imágenes obtenidas de la microscopía electrónica de barrido de las muestras de NpsQsTpp.....	28
Figura 9. Peso del fruto de calabaza de plantas tratadas con los nanocompuestos quitosano + alginato y quitosano + maltodextrina.....	29
Figura 10. Longitud del fruto de calabaza de plantas tratadas con los nanocompuestos quitosano + alginato y quitosano + maltodextrina.....	30
Figura 11. Diámetro de fruto de calabaza de plantas tratadas con los nanocompuestos quitosano + alginato y quitosano + maltodextrina.....	31

Figura 12. Rendimiento de fruto de calabaza por planta tratada con los nanocompuestos quitosano + alginato y quitosano + maltodextrina.....	32
Figura 13. Resistencia en fruto de calabaza de plantas tratadas con quitosano + alginato y quitosano + maltodextrina.....	33
Figura 14. Conductividad eléctrica (CE) en fruto de calabaza de plantas tratadas con los nanocompuestos quitosano + alginato y quitosano + maltodextrina.....	34
Figura 15. Orp (Potencial de Oxidación Y Reducción) en fruto de calabaza de plantas tratadas con los nanocompuestos quitosano + alginato y quitosano + maltodextrina.....	35
Figura 16. pH en fruto de calabaza de plantas tratadas con los nanocompuestos quitosano + alginato y quitosano + maltodextrina.....	35
Figura 17. Acidez titulable en fruto de calabaza de plantas tratadas con los nanocompuestos con aplicación de quitosano + alginato y quitosano + maltodextrina.....	36
Figura 18. Sólidos solubles totales en fruto de calabaza de plantas tratadas con los nanocompuestos quitosano + alginato y quitosano + maltodextrina.....	37
Figura 19. Vitamina C en fruto de calabaza de plantas tratadas con los nanocompuestos quitosano + alginato y quitosano + maltodextrina.....	38

RESUMEN

Cucurbita Pepo L. de variedad *Grey Zucchini* es conocida como “calabacita”, es originaria de Mesoamérica. Es una planta monoica debido a que la planta tiene tanto flores masculinas como femeninas. Es una hortaliza que aporta vitaminas y antioxidantes, principalmente aporta vitamina C. En México se tiene una producción de 131 mil 292 toneladas en una superficie de 7 mil 108 hectáreas, considerando al estado de Sonora como el mayor productor de calabaza. El objetivo de este trabajo fue determinar las dosis adecuadas de quitosano para favorecer el rendimiento y la calidad del fruto de calabacita. El estudio se estableció en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo, Coahuila, México. Se utilizó el diseño de bloques completos al azar. Los tratamientos establecidos fueron tres dosis de Quitosano + Alginato (500, 1000 y 2000 ppm), tres dosis de Quitosano + Maltodextrina (500, 1000 y 200 ppm) y un testigo. Al final del experimento se observó un aumento en las variables de peso de fruto, diámetro de fruto, longitud de fruto, rendimiento por planta, sólidos solubles totales, pH, conductividad eléctrica, vitamina C, acidez titulable, resistencia de fruto y Orp. Se observó que los tratamientos QA 2000 ppm, QM 500 ppm y QM 2000 ppm, mejoraron el rendimiento y la calidad del fruto.

Palabras clave: *Cucurbita Pepo L.*, Quitosano, Alginato, Maltodextrina, Nanocompuesto, Bioestimulante.

1. INTRODUCCIÓN

La calabaza *Cucurbita Pepo L*, de cv. Grey Zuchinni es originaria de Mesoamérica, conocida generalmente como calabacín o zapatillo. Es una hortaliza monoica, ya que tiene flores masculinas y femeninas en la planta, se desarrolla en climas cálidos y suele ser intolerante a heladas (SIAP, 2018).

La calabacita es reconocida como una hortaliza de gran importancia en México, por este motivo la implementación de varias opciones como el uso de los productos de origen biológico pueden ayudar al mejoramiento y al buen desarrollo de utilidad de este cultivo (Aguilar-Carpio *et al.*, 2022).

Existen diferentes investigaciones basadas en la agricultura sustentable en los años más recientes, aparte de estudiar qué efectos tienen los distintos tratamientos para el correcto desarrollo de las plantas y su rendimiento, también implica el efecto que estos tienen en la calidad de los productos durante las postcosecha haciendo un gran énfasis en el quitosano como un agente colaborador en el crecimiento beneficioso de las plantas para el aumento de la producción agrícola (Soriano-Melgar *et al.*, 2020).

El crecimiento, producción y calidad de los frutos dependen de diversos tratamientos agrícolas realizados durante su desarrollo. Actualmente se están realizando esfuerzos en todo el mundo para reducir la cantidad de fertilizantes químicos y pesticidas aplicados a hortalizas con el fin de reducir los costos de producción y la contaminación ambiental sin afectar los rendimientos (Domini, 2018).

Es importante conocer que con la ayuda de la nanotecnología en la agricultura se está empleando el uso día con día de los nanocompuestos (Funes *et al.*, 2016)

Con la ayuda de los nanocompuestos, se ha empezado a utilizar los bioestimulantes en la agricultura, los cuales son productos orgánicos que favorecen el desarrollo y crecimiento de las plantas, ya que la estimulan y no causan daños porque no contienen productos químicos ni reguladores para acelerar el crecimiento (Ruso *et al.*, 2021).

Wang *et al.*, (2020) señalaron que el quitosano es un procedente de la quitina, obtenido primordialmente de crustáceos. Así mismo, estos autores indicaron que el quitosano disminuye el pudrimiento de frutas y verduras, alarga su tiempo de conservación, minimiza la síntesis de CO₂, etileno y disminución de agua, retrasa la pérdida de firmeza y mejora los sólidos solubles totales (SST). Por lo tanto, el quitosano puede ser capaz de complacer los requisitos de una agricultura sustentables. Así mismo, el quitosano actúa como estimulante de plantas, mejorando la germinación y el rendimiento, favorece la absorción de micronutrientes, estimula las defensas de las plantas y crea barreras físicas (López-Corona *et al.*, 2020). Este bioestimulante es importante en la elaboración de películas, en las que, al combinarse con diferentes compuestos, mejoran su biocompatibilidad y algunas propiedades físicas (Espinoza-Cavazos *et al.*, 2020).

López *et al.*, (2009) dieron a conocer que la maltodextrina tiene un efecto positivo el contenido de sólidos solubles totales y la viscosidad de los frutos. La maltodextrina es un polímero utilizada como microencapsulación, ya que permite que los alimentos no presenten cambios en el sabor, olor, textura y su valor nutricional (Córdoba, 2021).

Por otra parte, Pasin *et al.*, (2012) señalaron que el alginato es un biopolímero que se utiliza en la microencapsulación, ya que es biocompatible y no tóxico para la protección de mezclas activas, microorganismos perceptibles al calor, pH, oxígeno y luz, entre otros, a los que son expuestos los alimentos.

1.1. Objetivo general

Determinar la dosis adecuada de nanocompuestos (quitosano + alginato y quitosano + maltodextrina) sobre el rendimiento y calidad de frutos de calabaza.

1.2. Objetivos específicos

Determinar el efecto de cada tratamiento en la calidad del fruto.

Determinar la mejor dosis de nanocompuestos que permiten obtener el mejor crecimiento y rendimiento de fruto.

1.3. Hipótesis

El uso de nanocompuestos mejora la calidad, crecimiento y rendimiento de los frutos de calabaza.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Cultivo de calabaza cv. Grey Zucchini

La calabacita (*Cucurbita Pepo L.*) cv. Grey Zuchinni es un cultivo originario de Mesoamérica. Es una planta monoica ya que en la planta presentan tanto flores masculinas como femeninas. La temperatura que se necesita para que esta planta germine es de 22 a 25°C (SIAP, 2018).

2.2. Taxonomía

Reino: Plantae

Subreino: Tracheobionta

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Dilleniidae

Orden: Cucurbitales

Familia: Cucurbitaceae

Subfamilia: Cucurbitoideae

Tribu: Cucurbiteae

Género: *Cucurbita*

Especie: *Cucurbita pepo L.*, 1753.

2.3. Características botánicas

Ratnam et al. (2017) propone la siguiente descripción botánica de Cucurbita pepo L.:

2.3.1 Planta

Es una planta anual conocida como rastrera o trepadora.

2.3.2 Raíz

La raíz de esta hortaliza se caracteriza por ser superficial, está ramificada y se desarrolla a partir de una raíz pivotante.

2.3.3 Tallos

Los tallos alcanzan una altura de 6 a 24 cm, están ramificados y cubierto por pequeñas vellosidades. La planta cuenta con zarcillos de 90 grados de la inserción de la hoja y suelen estar poco desarrollados. Los tallos generalmente están firmes durante las primeras etapas de crecimiento

2.3.4 Hojas

Las hojas son simples, alternas y anchas, son de base acorazonada, el ápice puntiagudo, palmeadas nervadas, se caracterizan generalmente por ser de 20 a 30 cm de largo y 10 a 35 cm de ancho, suelen tener manchas blancas en la superficie, tienen de 3 a 5 lóbulos apiculados redondos, el más grande se encuentra en el centro de la hoja, ya que los de los laterales son más pequeños.

2.3.5 Flores

La calabaza es una planta monoica ya que esta cuenta en la flor con los dos sexos (masculino y femenino).

La flor masculina es alargada tiene un cáliz de 5 a 10 mm de largor y es similar al del ancho, éste es de 5 a 15 mm. Cuenta con sépalos de 1 a 2 mm y corola tubular más grande que la de la base, mide aproximadamente de 6 a 12 cm de largo, tienen una coloración de naranjo opaco a amarillo.

La flor femenina cuenta con 3 estigma, tiene un pedúnculo grueso y mide aproximadamente de 3 a cm de largo, su ovario cuenta con una forma ovoide a elíptico, los sépalos de las flores femeninas son foliáceos y con una corola más grande a la de la flor masculina.

2.3.6 Fruto

Los frutos generalmente tienen diferentes formas y tamaños, por ejemplo, suelen tener forma cilíndrica, ovalada, aplanada, con un cuello curvo o recto, en las dos extremidades. La cascara del fruto puede variar ya que, algunas veces esta puede ser muy gruesa o delgada, presenta un color de verde opaco a un verde oscuro con algunas manchitas de blanco a verde claro. La pulpa que presenta el fruto tiene una coloración verde claro.

2.4. Origen y domesticación

Existen algunos estudios que sugieren dos centros de domesticación, uno se encuentra en Tamaulipas, México y el otro en el suroeste de Estados Unidos de América Se conoce que en México su domesticación fue hace más de 8,000 años, lo que convierte a la calabaza como una de las principales especies domesticadas en el continente. Las especies domesticadas de calabaza son las siguientes: calabaza pipiana, arota, calabaza pinta, tecomata, chihua (*Cucurbita argyrosperma* subsp. *Argyrosperma*); chilacayote (*Cucurbita ficifolia*), calabaza kabosha, zapallo

(*Cucurbita maxima*); calabaza de pellejo, calabaza de casco, tamalayota, k'uum (*Cucurbita moschata*); calabaza guicha, calabaza de castilla, tsol, calabaza india, calabacita (*Cucurbita pepo subsp. Pepo*) (CONABIO, 2020).

2.3. Diversidad genética

La calabaza del género *Cucurbita*, es perteneciente del continente americano, este incluye 15 tipo de especies con aproximadamente 20 taxas incluyendo especies y subespecies, y en su totalidad se desarrollan en México. Son plantas rastreras y trepadoras en alguna forma cultivadas, cuentan con flores masculinas y femeninas en la misma planta, son polinizadas por diferentes insectos, algunos de ellos abejas y abejorros; lo que ayuda al crecimiento genético y la hibridación de especies silvestres y emparentadas (CONABIO, 2020).

2.4. Importancia mundial y nacional

La calabacita es una de las especies más cultivadas mundialmente, ya que esta es utilizada principalmente como un alimento, se consumen, en algunas partes, las hojas y la raíz como una medicina tradicional; así mismo, es utilizada como una verdura cuando el fruto se encuentra tierno, después de que la fruta se vuelve madura se consume la pulpa, se utilizan las semillas, la flor masculina y las puntas tiernas de los tallos. Tiene un consumo anual de 2 kilogramos por persona debido a que es muy fácil de cocinar y pueden elaborarse diversos platillos (SAGARPA, 2020).

En México se tiene una producción de 131 mil 292 toneladas de calabaza en una superficie de 7 mil 108 hectáreas, en 20 estados (SAGARPA, 2020).

Gracias a que es una hortaliza apta a diferentes climas y suelos se puede cultivar tanto al nivel del mar como en valles muy altos. En el año 2019, el estado de Sonora tuvo una producción de 615 mil toneladas colocándolo como el primer productor con más de 223 mil toneladas, lo que tiene un valor del 36% del total a nivel nacional (SIAP, 2018).

2.5. Aporte nutrimental

De la calabacita se pueden aprovechar grandes propiedades y nutrientes. Contiene grandes cantidades de vitaminas A y C, especialmente los carotenos, los cuales sirven como antioxidantes que ayudan a resguardar las membranas de las células. También poseen un gran contenido de hierro y potasio, los cuales ayudan a tener un control en la presión arterial y a reducir el nivel de sodio que se encuentra en nuestra sangre (SADER, 2020). La vitamina A es primordial para mantener en un mejor estado la piel, el cabello, los huesos y también el sistema inmunológico; mientras que, las vitaminas C y E tienen cualidades antioxidantes y participa en la elaboración de colágeno, glóbulos rojos, huesos y dientes, ayuda a la asimilación de hierro en los alimentos, y favorece al crecimiento de la resistencia hacia infecciones (INIFAP, 2018).

2.6. Nanotecnología

La nanotecnología a lo largo de la historia ha demostrado que es de gran importancia en el sector de la alimentación, ya que, esta favorece las exigencias de los consumidores, tiene la virtud de señalar de otra manera el control y la estructura de los alimentos con principal funcionamientos y valor. En la agricultura sostenible, la nanotecnología tiene una gran participación añadiendo la producción y defensa de los cultivos, con una gran relevancia en los nanofertilizantes, nanopesticidas, nanobiosensores. Los nanomateriales también son fundamentales en el área de la nanotecnología, debido a que ayudan de manera esencial en las remediaciones bióticas y abióticas (Usman *et al.*, 2020).

En la nanotecnología se ha tenido un buen desarrollo en diferentes áreas y la mejor forma de estar cerca de la nanotecnología en la agricultura es comprender los aspectos primordiales de la investigación, ya que, puede proveer distintos nanoproductos comerciales (Kutawa *et al.*, 2021).

La aplicación de la nanotecnología en la agricultura ayuda con la obtención de buenos resultados, debido a que favorece el crecimiento y desarrollo de las plantas y controla las enfermedades de éstas (Kamle *et al.*, 2020).

En la agricultura sustentable el uso de la nanotecnología ha tenido un mayor impacto debido a que el uso de las nanopartículas tiene diferentes cualidades de aplicación (Rajput *et al.*, 2021).

2.7. Nanocompuestos

El avance en la ciencia ha demostrado que los nanomateriales cuentan con características innovadoras las cuales pueden ser utilizadas en la nueva obtención de algunas sustancias. Gracias a sus nanoestructuras se ha demostrado la eficiencia en su aplicación y sus efectos positivos a nivel biológico (Cano *et al.*, 2017). La caracterización física-química de los nanocompuestos tienen un importante papel en los cultivos, ya que estos ayudan a la producción y protección de las plantas (Guha *et al.*, 2020).

Las características particulares de los nanocompuestos se basan principalmente en la particularidad de los hidrogeles orgánicos, con un gran contenido de disolvente, suavidad porosidad y permeabilidad, la posibilidad de absorber biomoléculas y su liberación controlada. Los nanocompuestos tienen estudios que se basan en características de gran manera deseables en la conductividad eléctrica, refuerzo mecánico, actividad biocatalica y antimicrobiana, características magnéticas, propiedades anticongelantes y capacidad de autocuración (Kaniewska *et al.*, 2020).

La nanotecnología ayuda con la implementación de nanopartículas y polímeros que son utilizados en nivel planta o semilla cubriendo aspectos biológicos y económicos en la agricultura. Los nanomateriales ofrecen alternativas innovadoras para el buen desarrollo convencional y modificación genética, por ejemplo, en la fisiología de la planta (Loannou *et al.*, 2020).

2.8. Bioestimulantes

Malik *et al.* (2020) dieron a conocer que los bioestimulantes son compuestos orgánicos o de material vegetal que no solamente tienen como función mejorar el nivel nutricional de los cultivos, sino que también influye en el rendimiento y calidad de las semillas. Los bioestimulantes han tenido gran apoyo por parte de los agricultores ya que éstos, estimulan la fisiología y bioquímica de las hortalizas, tales como la cantidad de los pigmentos fotosintéticos que se encuentran en las hojas (carotenoides y clorofilas), un gran aumento de los antioxidantes, el excelente desarrollo del sistema radicular, una elevada eficacia en el uso de nutrientes y la reducción del uso de fertilizantes inorgánicos.

El uso de los bioestimulantes en la agricultura ha tenido un gran avance en los últimos años, como una práctica agroecológica importante (Nuñez-vazquez *et al.*, 2020). Son importantes en la agricultura sustentables ya que son una alternativa al uso de fertilizantes químicos, de cierto modo ayudan al buen crecimiento y desarrollo de las plántulas como al rendimiento del cultivo, la eficacia de los nutrientes y la buena calidad de los frutos (Rouphael *et al.*, 2020). Valero *et al.*, (2023) dieron a conocer que los bioestimulantes vegetales ayudan a las plantas a un mejor desarrollo bajo algunas condiciones de estrés.

La aplicación de estos bioestimulantes ayuda a dar una mejor respuesta en la fisiología de los cultivos y, gracias a ello, se puede favorecer la calidad de las cosechas. Por lo tanto, este tipo de bioestimulantes disminuye el uso de la fertilización sintética o química (Reyes-Pérez *et al.*, 2021).

2.9. Quitosano

El quitosano es un producto procedente de la quitina, esta se encuentra principalmente en la naturaleza y los crustáceos. El quitosano se disuelve fácilmente en agua y en algunos solventes orgánicos (Wang *et al.*, 2020).

Malerba *et al.*, (2016) señalaron que este nanocompuesto protege de forma segura los alimentos e induce la tolerancia a estrés biótico y abiótico en hortalizas. El quitosano es un buen estimulante para las plantas, ya que este contiene diferentes reacciones enzimáticas para desintoxicar especies reactivas de oxígeno, este producto sugiere la participación del peróxido de hidrogeno y el óxido nítrico, también puede relacionarse con la cromatina y alterar directamente la expresión génica. Los nuevos usos más recientes del quitosano involucran la síntesis de nanopartículas como un importante sistema de fertilizantes en la producción y desarrollo de los cultivos.-

2.10. Alginato

Los alginatos son extraídos de las algas pardas, son aditivos que son conocidos como estabilizadores, gelificadores y creadores de películas. Se utiliza principalmente para la formación de películas y conservador de frutas frescas (Avendaño-Romero *et al.*, 2013).

Estos extractos de algas marinas son mezclas dificultosas de bioactivos. La aplicación de los alginatos en los cultivos tiene una gran relación en planta-suelo debido a que se presentan grandes respuestas positivas en el rendimiento, la calidad de los frutos y absorción de nutrientes por la planta (Espinosa-Antón *et al.*, 2020).

En la agricultura moderna, el alginato es empleado como un polímero natural ya que este cuando se desecha no produce efectos negativos al medio ambiente, este material muestra un alto potencial en aplicaciones foliares en las plantas debido a que su utilidad como bioestimulantes son de origen natural (Merino *et al.*, 2022).

2.11. Maltodextrina

López *et al.* (2009) indicaron que la maltodextrina tiene un resultado importante en el °Brix y la viscosidad de los frutos. La maltodextrina es un polímero utilizada como microencapsulación, ya que, es una técnica en la que se obtienen alimentos vigorizados bajo condiciones de temperatura, acidez, pH, entre otros, sin presentar cambios en el sabor, olor, textura y valor nutricional (Córdoba, 2021).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del experimento

El presente experimento se estableció en el área agrícola del Jardín Botánico “Gustavo Aguirre Benavides”, ubicado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.



Figura 1. Ubicación del experimento.

3.2. Labores culturales

El terreno se preparó primeramente aflojando el suelo, posteriormente se le agregó dos cubetas de estiércol a cada una de las camas y en seguida se cubrió cada una de ellas con plástico negro y este se perforó a una distancia aproximadamente entre agujero de 30 cm.

3.3. Siembra

La siembra se hizo de forma directa al suelo, se usaron dos semillas en cada perforación para asegurar por lo menos una planta. Cuando las plántulas emergieron, 8 días después de la siembra, se hizo un raleo de plantas para dejar solamente una por sitio.

3.4. Material biológico

Se utilizaron semillas de calabacita (*Cucúrbita pepo* L.) cv. Grey Zucchini.

3.5. Manejo del cultivo

La nutrición que se dio fue básicamente lo que se encontraba en el suelo y el estiércol ya aplicado. Se implementó un sistema de riego por goteo, y los riegos se dieron de forma programada.

3.6. Metodología de elaboración de geles

En el siguiente trabajo se realizó la síntesis y caracterización de nano partículas de quitosano modificado con maltodextrina y alginato de sodio. Posteriormente, dichas nanopartículas, serán aplicadas en el área de agricultura, con la función de llevar a cabo una liberación controlada y dosificada de los nutrientes aplicados en las plantas. Finalmente, el producto será probado en instituciones con actividades agrícolas, para evaluar los resultados.

Equipo

Balanza Mettler Toledo AL204Parrilla de agitación thermo scientific super-nuova multi-place Centrifuga Beckman Coulter Allegra 64RDispensor de luz Microtrac Nanotrac Wave IIEspectroscopio infrarrojo thermo scientific nicolet is50 Espectrofotometro UV-Vis Janway 7305MilliQ Advantage A10Congelador de reactivos Liofilizador Labconco 77500Microscopio electrónico JEOLCentrifuga benchmark LC-8 series.

Síntesis de nanopartículas de quitosano con alginato

Para le síntesis de las NpQs-ALG-TPP primeramente se prepararon diferentes soluciones de cada uno de los componentes del sistema. Se preparó una solución

de quitosán al 1% (v/v), en un matraz de aforación de 250 mL se adicionaron 2.5 g de quitosano y 170 mL de ácido acético. Esta solución se dejó en agitación durante 54 h hasta obtener una solución homogénea, enseguida se aforó la solución con ácido acético y se dejó en disolución alrededor de 4 h. Por otra parte, se prepararon soluciones de TPP y ALG utilizando agua Milli-Q, Las soluciones de TPP fueron preparadas a diferentes concentraciones. En un vial se adicionaron 9 mg de TPP en 6 mL de agua Milli-Q, para obtener una concentración 1.5 mg/mL. Por otra parte, se preparó de igual manera la solución de alginato de sodio a la que se agregaron 9 mg del alginato en 6 mL de agua Mili-Q para obtener una concentración de 2 mg/mL.

Síntesis de nanopartículas de quitosano modificadas con alginato de sodio utilizando TPP como agente entrecruzante.

En un matraz bola de 50 mL se agregaron 18 mL de la solución de quitosano al 1 %. El matraz fue expuesto a agitación de 700 rpm a temperatura ambiente. A esta solución se adicionó gota a gota la solución de ALG. Al momento de adicionar la solución se observaron pequeños aglomerados. Una vez que se agregó toda la solución de ALG y manteniendo la agitación constante, se procedió a agregar el agente entrecruzante de igual manera que la solución del ALG, gota a gota. Se adicionaron (solución TPP) 6 mL la muestra resultante se mantuvo en agitación durante 30 minutos hasta terminar el tiempo de la reacción de gelación iónica. La muestra resultante se pasó a viales de 50 mL para su centrifugación a 1000 rpm durante 30 min. Una vez centrifugado el material obtenido se decantó y se dejó el sobrenadante al que se adicionó agua para sus posteriores lavados. Este proceso se realizó 4 veces por cada muestra obtenida, las cuales fueron posteriormente caracterizadas por diferentes técnicas.

Para realizar la síntesis de las nanocápsulas Q – MDX – TPP se colocaron en un Matraz bola de boca ancha 18 mL de solución de quitosano en una parrilla de agitación thermo scientific super-nuova multi-place, posteriormente fue añadida la

solución de maltodextrina y por último la de TPP, ambas en forma de goteo (lentamente). Una vez terminado de adicionar ambas soluciones la solución resultante se dejó en agitación durante 30 min a 700 rpm. Posteriormente las nanopartículas fueron recuperadas y depositadas en viales de plástico para enseguida ponerlos a centrifugar a 10,000 rpm durante 30 min a una temperatura menor a 5 °C, para obtener un producto precipitado, posteriormente se retira el agua excedente y se lleva a cabo el lavado de las nanopartículas, el cual puede ser por centrifugado o lavado por diálisis. Una vez centrifugadas y lavadas las nanopartículas, se realiza la caracterización por dispersión de luz, la cual nos indicará el tamaño de partícula. Seguido de esto, se cambió la muestra de recipiente, para ser congelada y posteriormente se lleva a cabo la liofilización durante 48 h, a una temperatura de – 40 °C. Una vez transcurrido el tiempo de lavados se procedió a realizar la caracterización de las muestras mediante espectroscopia de infrarrojo.

Síntesis de nanopartículas de quitosano con maltodextrina

La experimentación fue llevada a cabo en tres etapas base; en la primera etapa de experimentación se prepararon tres soluciones de Maltodextrina, quitosano y TPP las cuales se mezclaron para la obtención de materiales por el método de gelificación iónica. La muestra se preparó adicionando gota a gota la maltodextrina a 18 mL de quitosano diluido al 1% mediante agitación magnética a 700 rpm, posteriormente fueron agregados 6 mL de tripolifosfato de sodio pentabásico, también a modo de goteo, para evitar la formación de aglomerados en la solución y obtener una buena cantidad de nanopartículas. Una vez agregados todos los componentes, se mantuvo la muestra bajo agitación constante por un lapso de 30 min. Posteriormente la muestra se sometió a centrifugación por 30 min a 10,000 rpm para realizar los lavados correspondientes. Este procedimiento se repitió durante 3 veces. En cada ciclo se realizó el retiro de sobrenadante y se añadió agua milli Q como preparación previa, entre lavados. Posteriormente la muestra fue evaluada mediante diferentes técnicas como DLS para conocer el tamaño de partícula

obtenido de la muestra la cuál contenía 0.5 mg/mL de maltodextrina y 1.5 mg/mL de TPP.

Para la segunda etapa, se realizó la repetición de la muestra, exactamente de la misma forma y fue centrifugada por 30 min a 10,000 rpm realizando una variación en el método de lavado de nanopartículas, en este caso se utilizó el método de diálisis, el cual consistió en someter la muestra en una membrana de diálisis previamente hidratada, cerrar la membrana con hilo nylon y colocar la muestra dentro de un vaso de precipitado, con agua destilada bajo agitación constante, llevando a cabo 10 cambios de agua en total, durante 6 días, posteriormente se recuperó el material y la muestra fue, analizada por dispersión de luz dinámica, congelada y liofilizada durante 48 horas para su análisis y conservación.

3.7. Tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos evaluados fueron tres dosis de **Quitosano + Alginato (QA)**: T₁= QA 500 ppm, T₂= QA 1000 ppm y T₃=QA 2000 ppm); tres dosis de **Quitosano + Maltodextrina (QM)**: T₄= QM 500 ppm, T₅= QM 1000 ppm y T₆=QM 2000 ppm); y el testigo (T₇). El experimento se estableció bajo un diseño experimental de bloques completos al azar, con 4 repeticiones cada uno y 10 plantas por repetición. De cada bloque se seleccionaron 4 plantas, las cuales se marcaron desde el inicio de su desarrollo para que estas durante toda la evaluación fueran las mismas de las que se tomarían las mediciones de producción.

Bloque 1	T ₁	T ₅	T ₆	T ₄	T ₇	T ₃	T ₂
Bloque 2	T ₆	T ₅	T ₄	T ₂	T ₃	T ₁	T ₇
Bloque 3	T ₅	T ₆	T ₃	T ₂	T ₇	T ₁	T ₄
Bloque 4	T ₇	T ₁	T ₂	T ₆	T ₄	T ₅	T ₃

Cuadro 1. Diseño experimental.

Aplicación de los nanocompuestos

La aplicación de los tratamientos fue de manera foliar, la dosis que se preparó fue en ppm las cuales fueron 500, 1000 y 2000. Los nanocompuestos a base de quitosano más maltodextrina y quitosano más alginato fueron aplicados en forma de geles. Se realizaron tres aplicaciones cada 15 días, dando inicio el día 10 de septiembre, posteriormente el 25 de septiembre y finalmente el 09 de octubre.

3.8. Variables evaluadas

3.8.1. Peso de fruto

El peso de fruto se evaluó promediando la cantidad de frutos de cada tratamiento por bloque.

La primera cosecha dio inicio 45 días después de la siembra, se realizaron 12 cortes. Para determinar el corte del fruto se tuvo que tener en cuenta algunos aspectos que mostraran que el fruto ya estuviera maduro, algunos de ellos fueron que la flor que se presenta estuviera en desecación, de igual manera que el fruto tuviera un buen color y tamaño.

3.8.2. Longitud del fruto

La longitud se evaluó con un vernier digital, iniciando del extremo superior al inferior de cada fruto.

3.8.3. Diámetro del fruto

Se tomó con la ayuda de un vernier digital, tomando la parte central del fruto.

3.8.4. Rendimiento del fruto por planta

Este se evaluó de cada bloque, multiplicando la cantidad de frutos por el peso de cada uno de los frutos cosechados.

3.8.5. Firmeza

Esta fue evaluada con un penetrómetro, se tomó un fruto y de este se perforo 3 veces, primero en la parte de arriba, después en la central y al final en la parte inferior. Los resultados obtenidos fueron reportados en Newtons (N).

3.8.6. Conductividad eléctrica y pH

Para determinar esta variable, se obtuvo el jugo del fruto, la cual se filtró a través de un embudo de filtración utilizando un filtro de gasas. Se recibió el filtrado en un matraz Erlenmeyer de 250 ml, posteriormente se tomó la lectura de la conductividad eléctrica y pH con un potenciómetro.

3.8.7. Sólidos solubles totales (°Brix)

Este parámetro se determinó obteniendo el jugo de los frutos de calabaza, después se colocó una gota de la muestra en un refractómetro manual cubriendo completamente el orificio de este, debidamente calibrado con agua destilada. La lectura obtenida se reportó como °Brix.

3.8.8. Acidez titulable

Primeramente, se obtuvo el jugo de la muestra a analizar, se filtró el jugo a través de un embudo de filtración utilizando un filtro, se tomaron 10 ml de jugo y se colocó en un matraz Erlenmeyer de 125 ml (se repitió este mismo procedimiento 3 veces para todas las muestras), después se añadieron 4 gotas de fenolftaleína al 1% (a cada muestra). En una bureta se colocó un volumen conocido de NaOH 0.1 N (Hidróxido de sodio 0.1 N) y se tituló la muestra hasta el punto de viraje (rosa),

finalmente se calcula el porcentaje de ácido presente en la muestra Utilizando la siguiente fórmula:

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

V= Volumen de NaOH gastado en ml.

N= Normalidad del NaOH.

Meq= Miliequivalente del ácido que se encuentra en mayor proporción de la muestra 0.064 para el ácido cítrico, 0.067 para el ácido málico y 0.075 para el ácido tartárico.

Alícuota valorada= Peso en g o volumen de la muestra en ml.

3.8.9. Vitamina C

Se pesó 20 g de la muestra y se colocó en un mortero, se agregaron 10 ml de HCL al 2% y se trituro cuidadosamente (hasta obtener una consistencia de papilla), se agregaron 100 ml de agua destilada y se homogeneizo, después se filtró el contenido del mortero a través de una gasa, el filtrado se recibió en una gasa en un matraz Erlenmeyer de 250 ml y se midió el volumen exacto, se tomó un alícuota de 10 ml del filtrado y se colocó en un matraz Erlenmeyer de 125 ml. En una bureta se midió un volumen conocido de reactivo Thielmann, después se tituló hasta la aparición de una coloración rosa que no desapareciera durante 30 segundos y se anotó el volumen utilizado. Finalmente se calculó el contenido de Vitamina C presente en la muestra, mediante la siguiente formula:

$$\frac{mg}{100} \text{ de vitamina C} = \frac{VRT * 0.088 * VT * 100}{VA * P}$$

Donde:

VTR= Volumen gastado en ml del reactivo de Thielmann.

0.088= Miligramos de ácido ascórbico equivalente a 1 ml de reactivo de Thielmann.

VT= Volumen Total en ml del filtrado de vitamina C en HCL.

VA= Volumen en ml de la alícuota valorada.

P= Peso de muestra en gramos.

3.9. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los datos se realizó un análisis de varianza y comparación de medias de Tukey ($\alpha \leq 0.05$) con el programa estadístico Infostat

4. RESULTADOS

4.1. Resultados de geles

En la Figura 2 se pueden observar los espectros de infrarrojo (FTIR) del quitosano, tripolifosfato de sodio pentabásico, la maltodextrina y el alginato de sodio que se utilizaron para la preparación de las muestras de quitosano, TPP y alginato de sodio y de las muestras de quitosano, TPP y MDX.

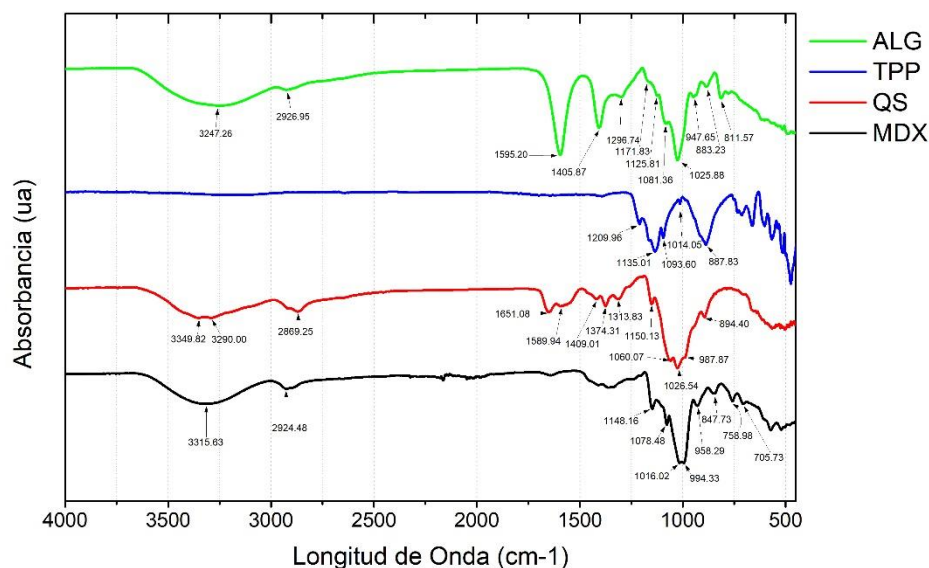


Figura 2. Espectro IR de alginato de sodio, Tpp, quitosano y maltodextrina (MDX).

Realizando la comparación de los resultados de la dispersión de luz, se realizó un análisis IR a las muestras de mayor eficiencia en las distintas etapas de experimentación de modo que se obtuvo el siguiente espectro, en donde se puede observar cada muestra ya modificada con maltodextrina. Se realizó el espectro de FTIR el cual nos permite observar una señal muy intensa entre 1,000 y 1,100 cm⁻¹ la cual representa los enlaces C-O-C de la maltodextrina y del quitosano, posteriormente se observa una señal formada por el grupo amino, dado por la relación del quitosano y la maltodextrina. De modo que podemos comprobar la

interacción entre el quitosano y su modificación con maltodextrina.

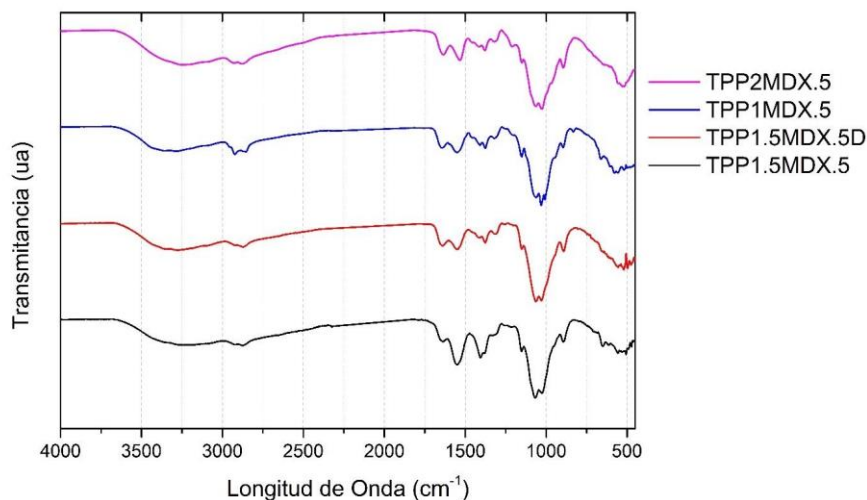


Figura 3. Espectro IR de las muestras de nanopartículas de quitosano, modificado con maltodextrina.

En la Figura 4 se pueden observar los espectros de las muestras con las diferentes concentraciones de quitosano, MDX, TPP y ALG.

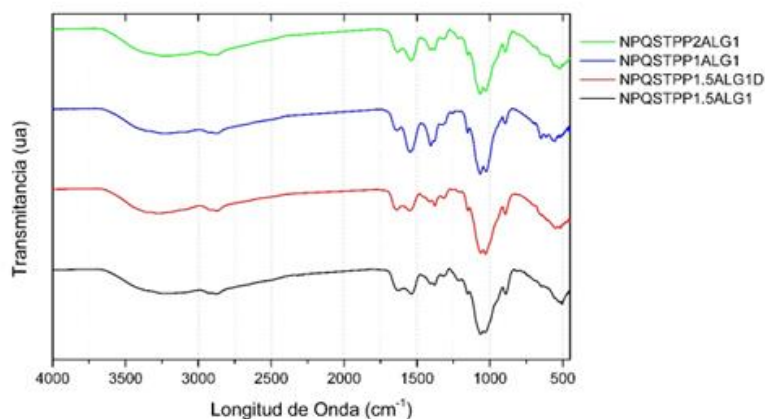


Figura 4. Espectro de las muestras de NpsQsAlgTpp con diferentes concentraciones de alginato y TPP.

Microscopía electrónica de barrido

Se realizó una microscopía electrónica de barrido a la muestra de mejor

rendimiento, así como una muestra de nanopartículas de quitosano, sin modificar, con la finalidad de conocer la morfología presente en la muestra. Las micrografías, fueron capturadas a cuatro profundidades 1mm, 200, 50 y 20 μm , ordenadas de esa forma, en las figuras que se presentan a continuación. Gracias a este análisis de caracterización, se puede observar que las muestras presentan una morfología fibrosa, esto debido a el secado del hidrogel por medio de la técnica de liofilizado, la cual nos dio como resultado un xerogel blanco. En la figura 5, se pueden observar fibras delgadas, que presentan entrelazamientos, sin un orden específico, mientras que en la figura 6, podemos observar que, al modificar con maltodextrina, las fibras se observan con mayor densidad y por lo tanto un menor número de huecos en su estructura.

Cabe mencionar que en esta microscopía sólo pudo observarse la estructura externa del material, debido a que la capacidad del microscopio sólo permitió obtener imágenes a una profundidad de 20 μm .

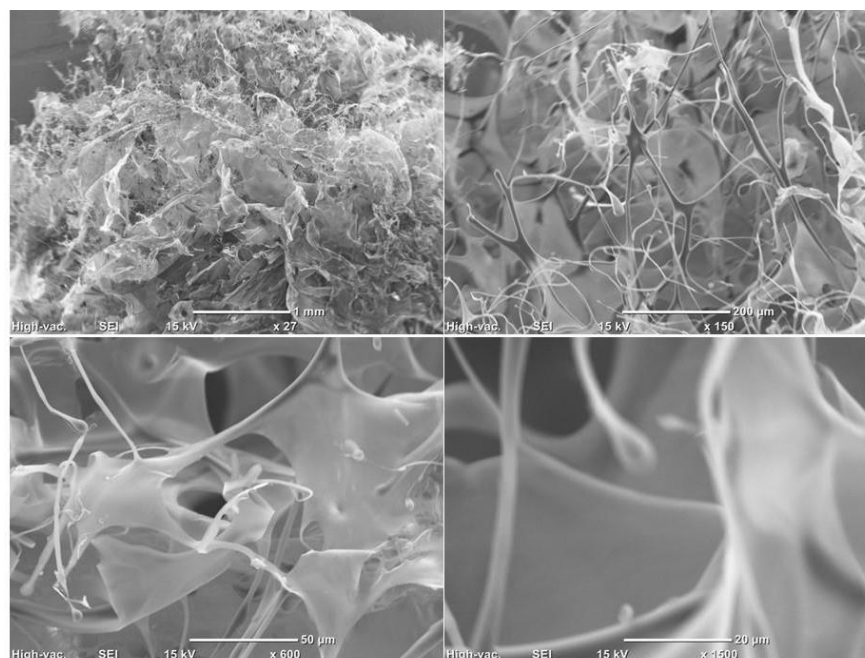


Figura 5. Nanopartículas de quitosano y TPP sin modificar. (A 1 mm, (B 200 μm , (C 50, (D 20 μm de profundidad.

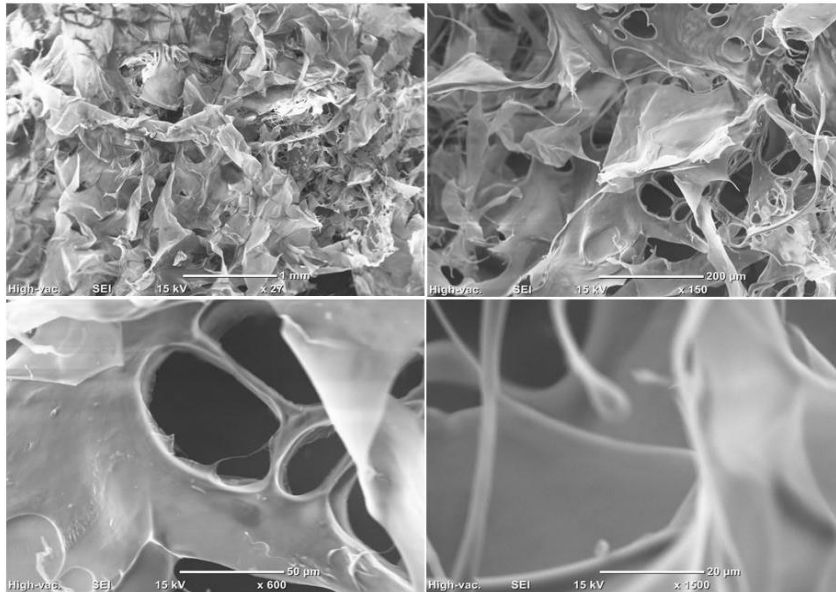


Figura 6. Nanopartículas de quitosano modificado con maltodextrina. (A 1mm, (B 200 μm, (C 50, (D 20 μm de profundidad.

También se realizó un análisis de microscopía electrónica de barrido (SEM) y se observó que el material resultante de los experimentos presenta una estructura de aerogel. El microscopio electrónico de barrido que se utilizó fue posible observar la estructura del producto y no las partículas individualmente.

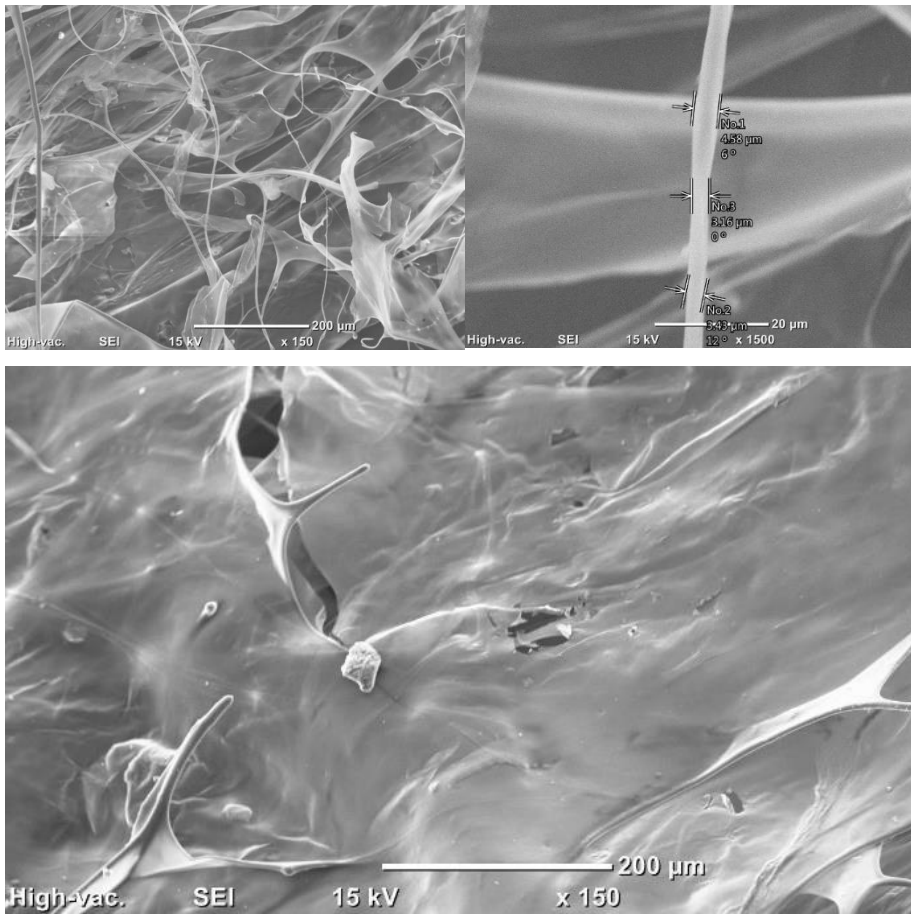


Figura 7. Imágenes obtenidas de la microscopía electrónica de barrido de las muestras de NpsQsAlgTpp.

También se le hizo una microscopía electrónica de barrido al producto de quitosano con TPP sin ser modificado con ALG. Se observó que los resultados fueron similares, teniendo la estructura fibrosa de un aerogel.

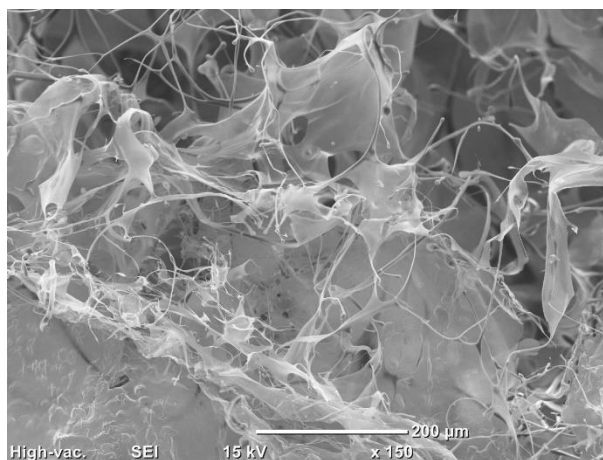


Figura 8. Imágenes obtenidas de la microscopía electrónica de barrido de las muestras de NpsQsTpp.

4.2. Variables agronómicas

4.2.1. Peso de fruto

Los resultados mostraron que las dosis evaluadas de los dos nanocompuestos mejoraron el peso de fruto, superando al testigo (T7), con un mayor valor de esta variable en los tratamientos T1, T2, T4 y T5, siendo similares entre ellos. Sin embargo, el T5 fue el que superó en mayor medida al testigo por un 19.5% (Figura 9).

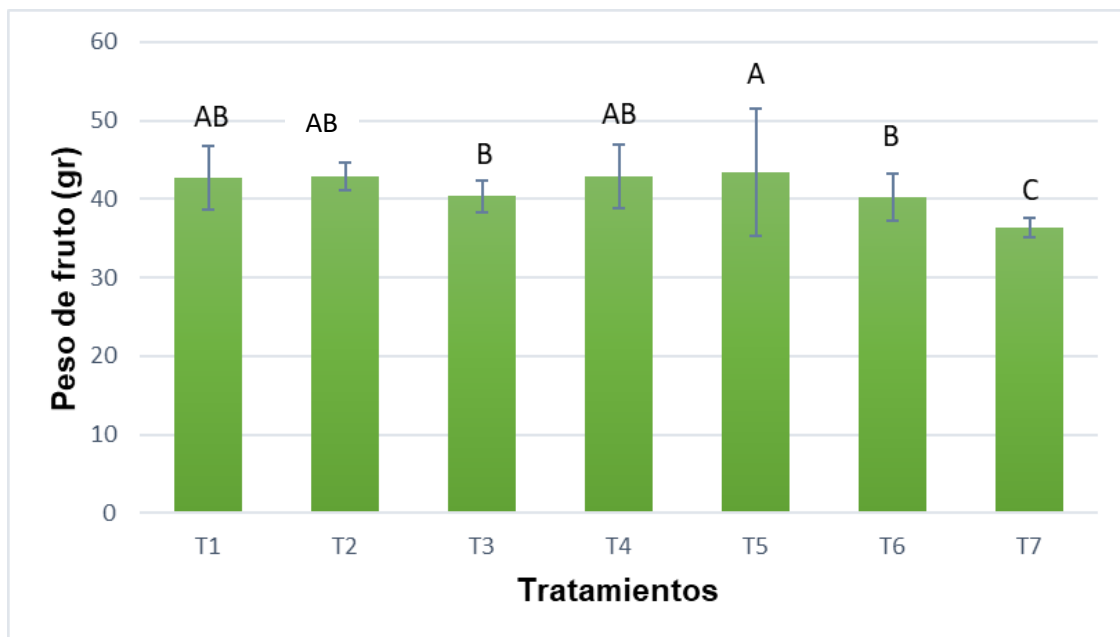


Figura 9. Peso de fruto de calabaza con aplicación de quitosano + alginato y quitosano + maltodextrina. T1= QA 500 ppm; T2= QA 1000 ppm; T3= quitosano + QA 2000 ppm; T4= QM 500 ppm; T5= QM 1000 ppm, T6= QM 2000 ppm; T7= testigo. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo con LSD Fisher ($p \leq 0.05$).

4.2.2. Longitud

La longitud de fruto de calabaza fue mejorada al aplicarles a las plantas los tratamientos T1 y T5, ya que superaron al testigo por un 08.11% ; mientras que el resto de los tratamientos no superaron al testigo (T7) (Figura 10).

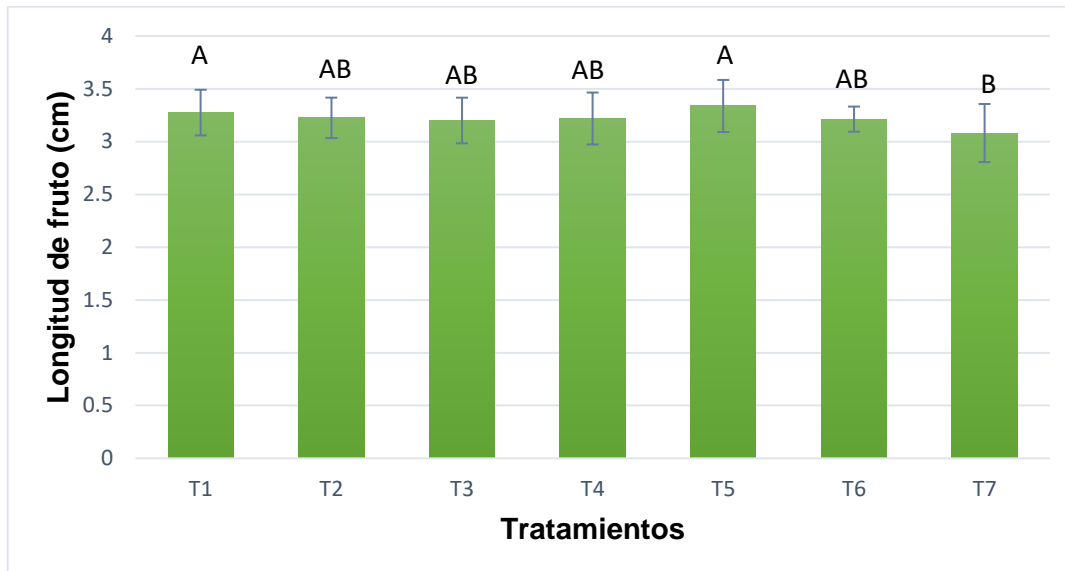


Figura 10. Longitud (cm) en fruto de calabaza con aplicación de quitosano + alginato y quitosano + maltodextrina. T1=QA 500 ppm; T2= QA 1000 ppm; T3= QA 2000 ppm; T4= QM 500 ppm; T5= QM 1000 ppm, T6= QM 2000 ppm; T7 testigo. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo con LSD Fisher ($p \leq 0.05$).

4.2.3 Diámetro de fruto

Los resultados mostraron que el diámetro de fruto de calabaza fue mejorado al aplicar las diferentes dosis de los nanocompuestos, ya que estos superaron estadísticamente al testigo (Figura 11). Entre los nanocompuestos y dosis evaluadas se obtuvo un mayor valor de diámetro de fruto con el tratamiento T3, superando al testigo por un 23.23%; mientras que los tratamientos T1, T2, T4 y T5 tuvieron un aumento de 15.39% superior al testigo, y el tratamiento T6 al testigo (T7) con un 05.83%.

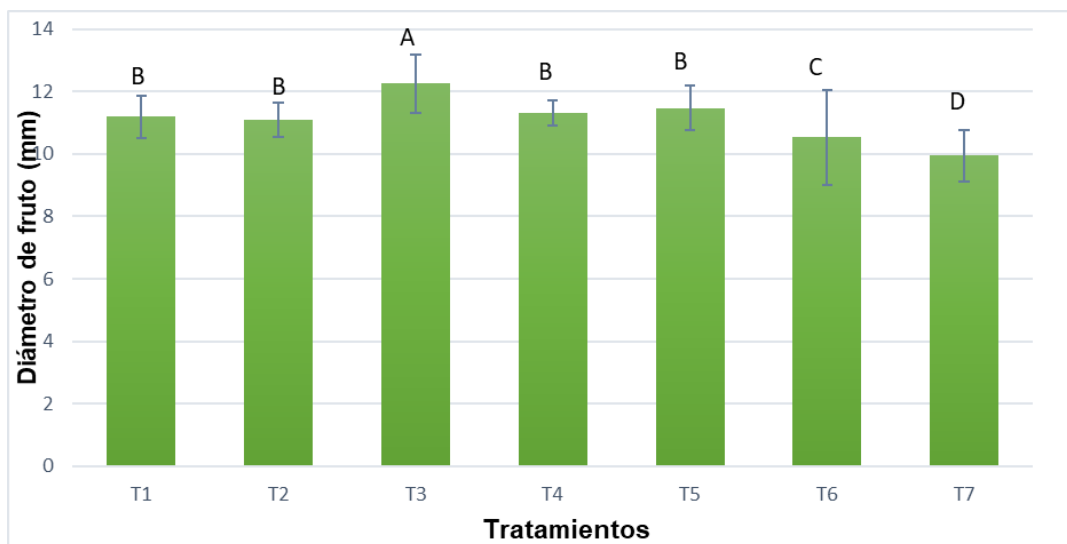


Figura 11. Diámetro de fruto de calabaza con aplicación de quitosano + alginato y quitosano + maltodextrina. T1= QA 500 ppm; T2= QA 1000 ppm; T3= QA 2000 ppm; T4= QM 500 ppm; T5= QM 1000 ppm, T6= QM 2000 ppm; T7 testigo. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo con LSD Fisher ($p \leq 0.05$).

4.2.4. Rendimiento

En la Figura 12 se puede observar que todas las dosis evaluadas de nanocompuestos superaron estadísticamente al testigo (T7). Entre los tratamientos en los que se aplicaron nanocompuestos, se obtuvo un mejor rendimiento de fruto cuando a las plantas se les aplicaron los tratamientos T4 y T5, superando al testigo por un 85%; mientras que el T3 superó al testigo por un 78%, el T1 por un % y el T2 y T6 por un 50.40% (Figura 11).

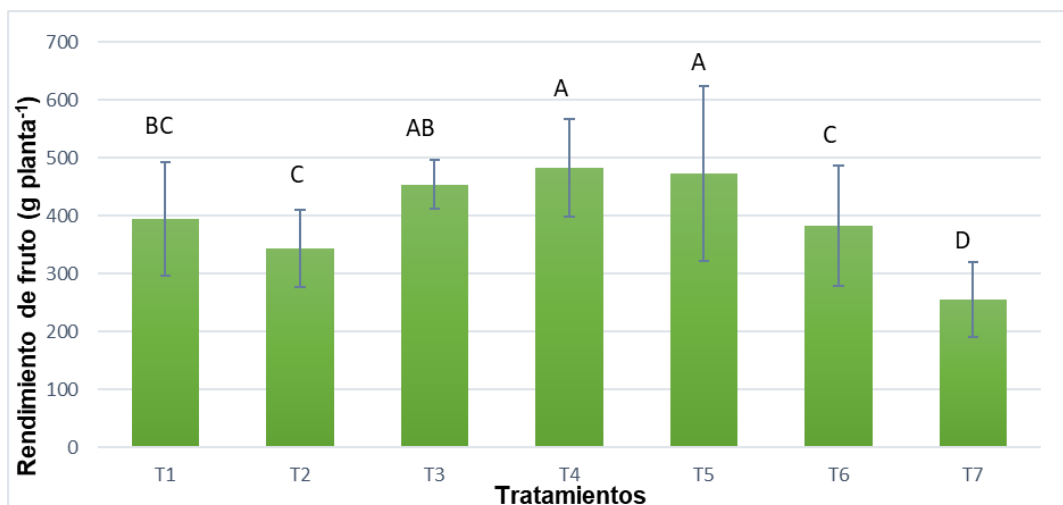


Figura 12. Rendimiento de fruto por planta en fruto de calabaza con aplicación de quitosano + alginato y quitosano + maltodextrina. T1= QA 500 ppm; T2= QA 1000 ppm; T3= QA 2000 pmm; T4= QM 500 ppm; T5= QM 1000 ppm, T6= QM 2000 ppm; T7 testigo. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo con LSD Fisher ($p \leq 0.05$).

4.3 Variables fisicoquímicas

4.3.1. Firmeza en fruto

En este parámetro, a excepción del tratamiento T1, se observó que los nanocompuestos mejoraron la firmeza de fruto, ya que estos superaron al testigo (T7). Los resultados obtenidos en los tratamientos T2, T3, T4, T5 y T6 superaron al T7 por un 09.90% (Figura 13).

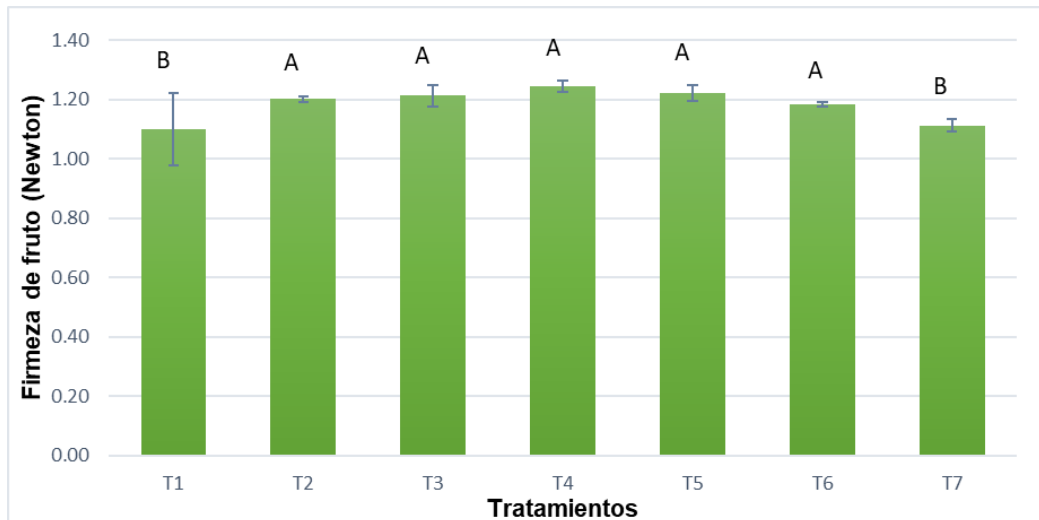


Figura 13. Firmeza de fruto de calabaza con aplicación de quitosano + alginato y quitosano + maltodextrina. T1= QA 500 ppm; T2= QA 1000 ppm; T3= QA 2000 ppm; T4= QM 500 ppm; T5= QM 1000 ppm, T6= QM 2000 ppm; T7 testigo. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo con LSD Fisher ($p \leq 0.05$).

4.3.2. Conductividad eléctrica

En la gráfica siguiente se muestra el comportamiento de la CE en el jugo de los frutos de calabaza, en el que se observa que sólo el T4 superó la CE obtenida con el testigo (T7), superándolo por un 20.27%. Los tratamientos con menor CE fue el T3, T5, T6 y T7 (testigo) (Figura 14).

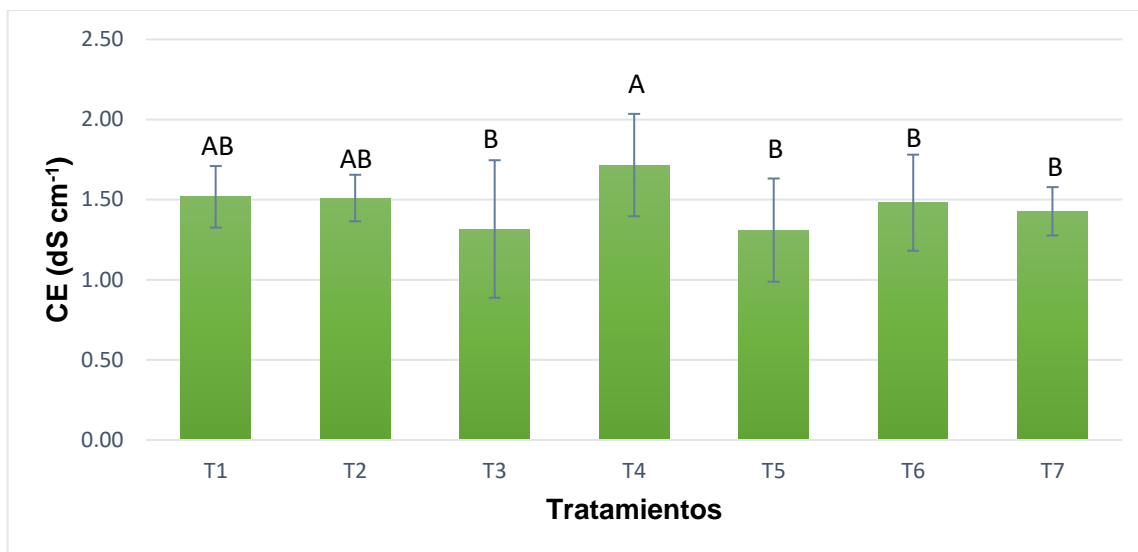


Figura 14. Conductividad eléctrica (CE) en frutos de calabaza con aplicación de quitosano + alginato y quitosano + maltodextrina. T1= QA 500 ppm; T2= QA 1000 ppm; T3= QA 2000 ppm; T4= QM 500 ppm; T5= QM 1000 ppm, T6= QM 2000 ppm; T7 testigo. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo con LSD Fisher ($p \leq 0.05$).

4.3.3. Potencial de oxidación y reducción

En la siguiente figura se puede observar que los nanocompuestos y dosis evaluadas de cada uno afectaron de manera diferente los ORP en los frutos de calabaza; sin embargo, sólo el T3 presentó un valor superior al testigo (T7), superándolo por un 49.61%; Así mismo, se observó que el T7 (testigo) fue superior a los tratamientos T1 y T4, pero compartió similitud con el T2, T5 y T6 (Figura 15).

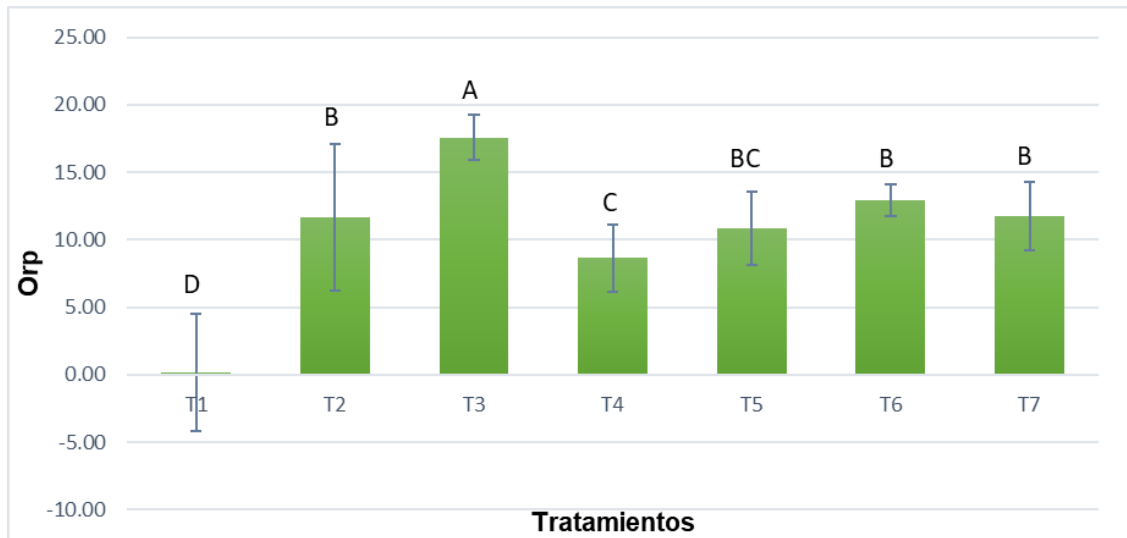


Figura 15. ORP en fruto de calabaza tratados con quitosano + alginato y quitosano + maltodextrina. T1= QA 500 ppm; T2= QA 1000 ppm; T3= QA 2000 ppm; T4= QM 500 ppm; T5= QM 1000 ppm, T6= QM 2000 ppm; T7 testigo. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo con LSD Fisher ($p \leq 0.05$).

4.3.4. pH

El pH en el jugo de los frutos de calabaza, a excepción de los tratamientos T1 y T2, fue similar al obtenido con el testigo (T7) (Figura 16).

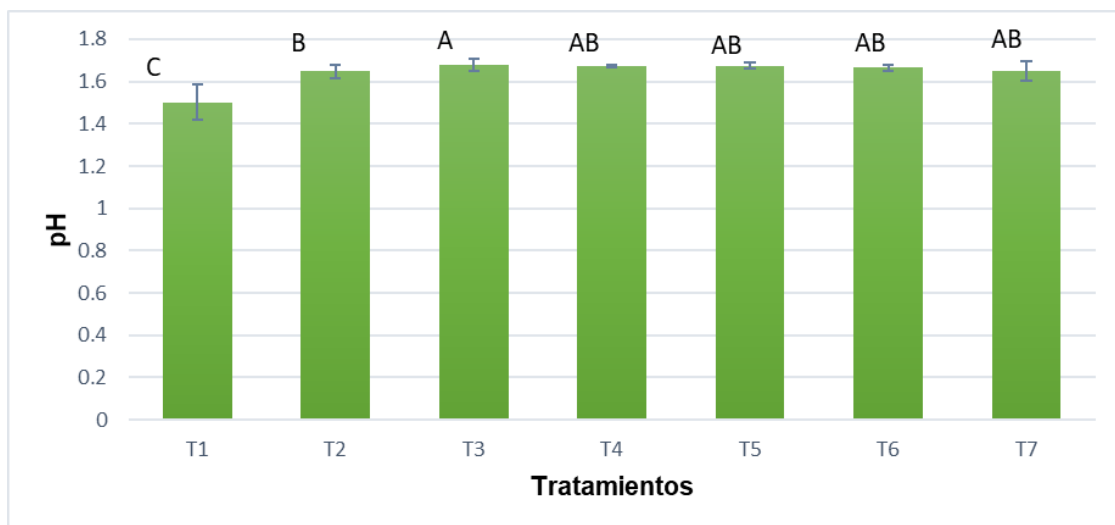


Figura 16. Ph en los fruto de calabaza de plantas tratadas con quitosano + alginato y quitosano + maltodextrina. T1= QA 500 ppm; T2= QA 1000 ppm; T3= QA 2000 ppm; T4= QM 500 ppm; T5= QM 1000 ppm, T6= QM 2000 ppm; T7 testigo. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo con LSD Fisher ($p \leq 0.05$).

4.3.5. Acidez titulable

La acidez titulable en los frutos de calabaza no fue mejorando con la aplicación de los nanocompuestos en sus diferentes dosis, ya que con ninguna dosis se superó la acidez titulable obtenida con el testigo (T1).

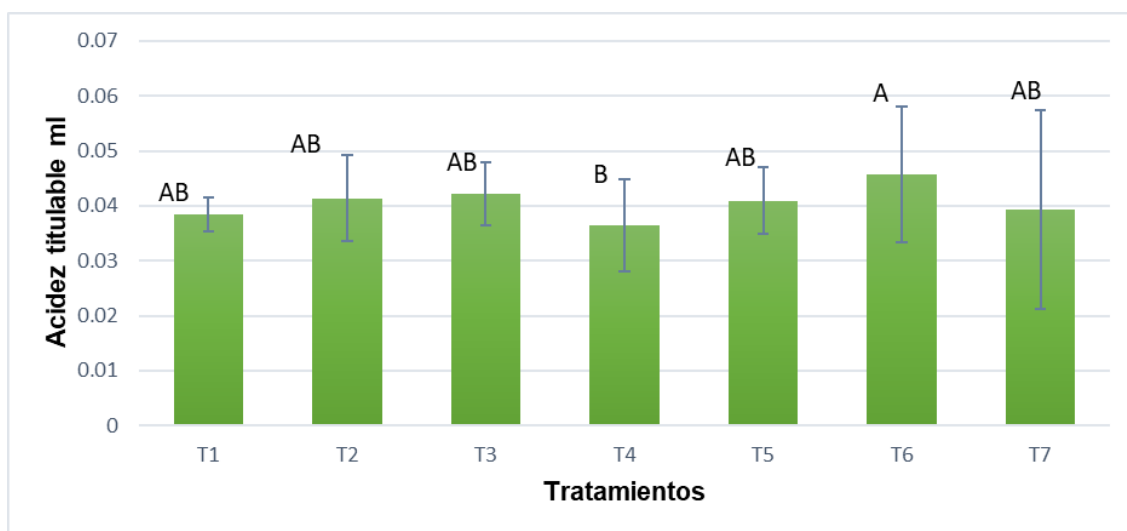


Figura 17. Acidez titulable en fruto de calabaza tratadas con quitosano + alginato y quitosano + maltodextrina. T1= QA 500 ppm; T2= QA 1000 ppm; T3= QA 2000 ppm; T4= QM 500 ppm; T5= QM 1000 ppm, T6= QM 2000 ppm; T7 testigo. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo con LSD Fisher ($p \leq 0.05$).

4.3.6. Sólidos solubles totales

El parámetro de sólidos solubles totales, a salvedad de los T5 y T6, fue afectado negativamente por la aplicación de los nanocompuestos, ya que estos tratamientos (T1, T2, T3 y T4) no superaron al testigo (T7). Sin embargo, el T6 superó estadísticamente al T7 por un 9.89%; mientras que el T5 fue similar estadísticamente al testigo (Figura 18).

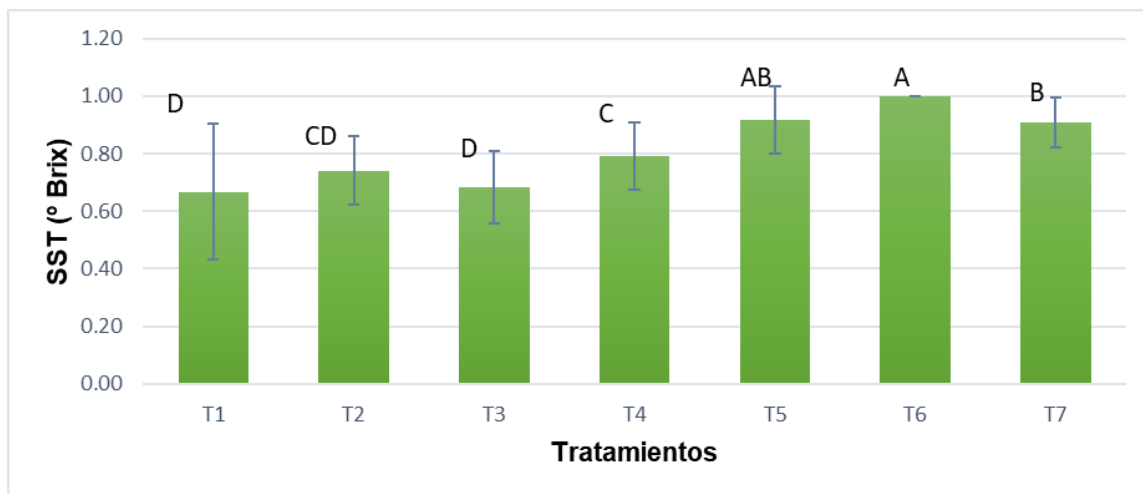


Figura 18. Sólidos Solubles Totales (SST) en fruto de calabaza tratadas con quitosano + alginato y quitosano + maltodextrina. T1= QA 500 ppm; T2= QA 1000 ppm; T3= QA 2000 ppm; T4= QM 500 ppm; T5= QM 1000 ppm, T6= QM 2000 ppm; T7 testigo. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo con LSD Fisher ($p \leq 0.05$).

4.3 Variables bioquímica

4.3.1 Vitamina C

En la siguiente figurase puede observar el comportamiento de la vitamina C en los frutos de calabaza de plantas tratadas con los nanocompuestos en diferentes dosis, en donde ninguno de los tratamientos con nanocompuestos superó el valor obtenido de vitamina C con el testigo (Figura 19).

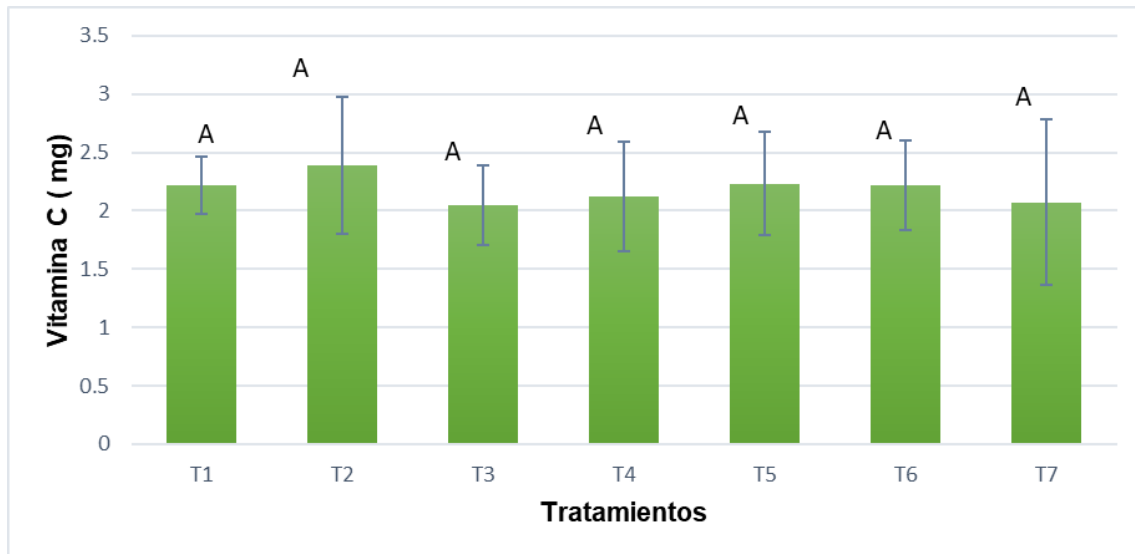


Figura 19. Vitamina C en los fruto de calabaza de plantas tratadas con quitosano + alginato y quitosano + maltodextrina. T1= QA 500 ppm; T2= QA 1000 ppm; T3= QA 2000 ppm; T4= QM 500 ppm; T5= QM 1000 ppm, T6= QM 2000 ppm; T7 testigo. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo con LSD Fisher ($p \leq 0.05$).

5. DISCUSIÓN

5.1. Variables agronómicas

El quitosano en forma de nanocompuesto es utilizado en la agricultura como bioestimulante. López-Corona et al. (2020), indican que en el cultivo de calabaza la aplicación de quitosano mejora la germinación y el rendimiento de las cosechas. Esto es debido a la estimulación que tiene este compuesto al entrar en contacto con la membrana plasmática ya que permite mejorar la absorción de nutrientes y activar diferentes sistemas de defensa contra el estrés biótico y abiótico.

En las variables de peso, longitud, diámetro y rendimiento del fruto, se mostraron diferencias significativas en las figuras 9, 10, 11 y 12, con los tratamientos T4 a 500 ppm de Quitosano + maltodextrina y T5 a 1000 ppm de Quitosano + maltodextrina en rendimiento; T3 a 2000 ppm de Quitosano + maltodextrina en diámetro; T1 a 500 ppm de Quitosano + alginato y T5 a 1000 ppm de Quitosano + maltodextrina en longitud y T5 a 1000 ppm de Quitosano + maltodextrina en Peso del fruto. De acuerdo con Reyes-Pérez et al., (2020) se tuvo un incremento de las variables peso, longitud, diámetro y rendimiento en un cultivo de tomate (*Solanum Lycopersicum L.*) de la variedad *Foradae* seguido de la aplicación de dosis de quitosano de 2 a 3 g L⁻¹. Soriano-Melgar (2020) demostró en un cultivo de calabacita (*Cucurbita Pepo L*) de la variedad *Grey Zucchini* hubo un aumento significativo en las variables anteriores con una dosis de aplicación de 5 mg L⁻¹ de Quitomax + *A. Chroococcum*.

Esto es debido a que el quitosano activa mecanismos bioquímicos y moleculares en las plantas que se trataron, entre estos mecanismos se encuentran de Ca²⁺ citosólico, la activación de MAP-quinasas, la inhibición de H⁺-ATPasa en la membrana plasmática, alteraciones de la cromatina, la síntesis de alcaloides y fitorreguladores como el ácido jasmónico, y el ácido abscísico, este tipo de mecanismos aceleran el metabolismo celular de la planta (Reyes-Pérez et al., 2019).

5.2. Variables fisicoquímicas

La gran parte de las frutas son perecederas mediante el almacenamiento que reciben en la postcosecha es preciso buscar algunas alternativas que sean favorecedoras con el medio ambiente para aumentar la calidad de los frutos en la postcosecha (Zhang *et al.*, 2020).

Algunas de las variables de fisicoquímicas para el mercado son firmeza de fruto, ORP, Ph, conductividad eléctrica (CE), acidez titulable y solidos solubles totales. Los tratamientos aplicados en las variables antes mencionadas se obtuvieron los mejores resultados en los tratamientos T4 Q+ A 500 ppm, T3 Q + A 2000 ppm y T6 Q + M 2000 ppm de las figuras 13, 14, 15, 16, 17 y 18.

Lopez *et al.*, (2009) mostro resultados similares a los obtenidos en las variables de calidad de fruto, haciendo énfasis en el aumento solidos solubles totales, en pulpa de banano con una combinación de maltodextrina de 43.40 g y goma arábica con 11.70 g . De acuerdo con Rodríguez-Núñez *et al.*, (2019) muestra un incremento en Ph, Solidos solubles totales, acidez titulable en cultivo de fresa con una dosis de quitosano puro al 1% y EAHM (extracto de hojas de moringa oleífera) al 1%.

Este comportamiento se debe a que los polímeros ocupados, tales como, quitosano que, influye en la estimulación de hortalizas, facilita material genético para las plantas alterando la cromatina, protege biomoléculas en condiciones adversas al medio ambiente, como son el pH, liberación de ingredientes activos en su matriz, protección de células y tolerancia a estrés biótico y abiótico (Mujtaba *et al.*, 2020). Los alginatos regulan crecimiento vegetal, contienen mezclas de fenoles, polisacáridos, vitaminas, betaínas, aminoácidos, que se relacionan con la planta y el suelo generando respuestas buenas en la calidad del fruto (Espinosa-Antón *et al.*, 2020). Y por último la maltodextrina se utiliza como microencapsulación siendo la forma en que los alimentos se mantienen en buen estado, ya se bajó condiciones de temperatura, acidez, pH, sin presentar cambios de sabor, olor, textura y valor nutricional (Cordoba,2021).

5.3. Variables bioquímicas

La vitamina C en la calabaza actúa como un antioxidante protegiendo las membranas de las células (SADER,2020).

De acuerdo con Alexia, 2022) en un estudio realizado con cascara de naranja y fresa, no se observó algún incremento o diferencia significativa en la variable bioquímica de vitamina C, aplicando una dosis de quitosano al 1 y 3%.

Lo anterior sucede ya que el quitosano actúa como un recubrimiento protector. El quitosano activa el mecanismo de resistencia con los frutos que se tratan durante la postcosecha, en este caso tiene que ver con la etapa de maduración de los frutos lo que impidió el aumento de la vitamina C (Alexia, 2022; Bautista-Baños *et al.*, 2005).

6. CONCLUSIÓN

El quitosano influye en la estimulación de *Cucurbita Pepo L* de la variedad *Grey Zucchini*, ya que este es un nanocompuesto orgánico, que favorece la producción y la calidad de los frutos. También es utilizado como un bioestimulante orgánico con múltiples beneficios, ya que, con su aplicación activa mecanismos bioquímicos y moleculares en las plantas mejorando el crecimiento y desarrollo del cultivo.

La nanotecnología es algo innovador en la agricultura sustentable siendo que con la ayuda de esta misma se hace uso de nanomateriales para influir en el buen desarrollo y crecimiento de las plantas ya sean que actúen de manera fisiológica o físicamente, el uso de estos compuestos de material vegetal sustituyen los fertilizantes químicos evitando la contaminación ambiental, y de este modo ayuda al buen crecimiento de las plántulas como a tener un mejor rendimiento del cultivo debido a que favorecen a que la plantas sean tolerantes al estrés biótico y abiótico.

De acuerdo con las variables evaluadas en los resultados anteriores arrojaron que las dosis adecuadas de quitosano con la influencia de alginato y maltodextrina a una dosis de 500 ppm y 2000 ppm son buenas para tener un cultivo con un buen rendimiento y una excelente calidad en los frutos.

7. LITERATURA CITADA

1. Aguilar-Carpio, C., Cervantes-Adame, Y. F., Sorza-Aguilar, P. J., & Escalante-Estrada, J. A. S. (2022). Crecimiento, rendimiento y rentabilidad de calabacita (*Cucurbita pepo* L.) fertilizada con fuentes químicas y biológicas. *Terra Latinoamericana*, 40. DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1059>
2. ALEXIA, B. M. K. (2022). EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA PECTINA OBTENIDA DE LA CÁSCARA DE NARANJA Y DEL QUITOSANO COMO RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES PARA FRESAS (Doctoral dissertation, UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR).
3. Avendaño-Romero, G. C., López-Malo, A., & Palou, E. (2013). Propiedades del alginato y aplicaciones en alimentos. *Temas selectos de Ingeniería de Alimentos*, 7(1), 87-96.
4. Bautista-Baños, S., Hernández-Lauzardo, A. N., del Valle, M. V., Bosquez-Molina, E., & Sánchez-Domínguez, D. (2005). Quitosano: una alternativa natural para reducir microorganismos postcosecha y mantener la vida de anaquel de productos hortofrutícolas. *Revista Iberoamericana de tecnología postcosecha*, 7(1), 1-6.
5. Cano Robles, F. K., & Mendoza Cantú, A. (2017). Nanopesticides, a real breakthrough for agriculture? *Nanoplaguicidas, ¿ un verdadero avance para la agricultura?* *Revista Bio Ciencias*, 4(3), 164-178. <http://dx.doi.org/10.15741/revbio.04.03.03>
6. Córdoba Leyton, M. M (2021). Análisis de la estabilidad de micro-cápsulas elaboradas con diferentes combinaciones de material de pared, incorporadas en matrices alimentarias.
7. Domini, A. K. (2018). Potencialidades del quitosano para la fresa. Usos en la mejora y conservación de los frutos. *Cultivos Tropicales*, 39(1), 134-142. ISSN digital: 1819-4087

8. Espinosa-Antón, A. A., Hernández-Herrera, R. M., & González-González, M. (2020). Extractos bioactivos de algas marinas como bioestimulantes del crecimiento y la protección de las plantas. *Biotecnología Vegetal*, 20(4), 257-282. ISSN 2074-8647
9. Espinosa-Cavazos, K. G., Sáenz-Galindo, A., & Castañeda-Facio, A. O. (2020). Películas de quitosano propiedades y aplicaciones. *Afinidad*, 77(591).
10. Fúnez, A. Á., Duaso, AIH, y Gómez, PM (2016). Nanotecnología en la industria alimentaria ii: Evaluación del riesgo y legislación/nanotecnología en la industria alimentaria ii: Evaluación del riesgo y legislación. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias* , 10 (2), 18. http://dx.doi.org/10.5209/rev_RCCV.2016
11. Guha, T., Gopal, G., Kundu, R., y Mukherjee, A. (2020). Nanocomposites for delivering agrochemicals: A comprehensive review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(12), 3691-3702. <https://dx.doi.org/10.1021/acs.jafc.9b06982>
12. Kamle, M., Mahato, D. K., Devi, S., Soni, R., Tripathi, V., Mishra, A. K., y Kumar, P. (2020). Nanotechnological interventions for plant health improvement and sustainable agriculture. *3 Biotech*, 10, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s13205-020-2152-3>
13. Kaniewska, K., Karbarz, M., & Katz, E. (2020). Nanocomposite hydrogel films and coatings—Features and applications. *Applied Materials Today*, 20, 100776. <https://doi.org/10.1016/j.apmt.2020.100776>
14. Kutawa, A. B., Ahmad, K., Ali, A., Hussein, M. Z., Abdul Wahab, M. A., Adamu, A., ... & Hossain, M. I. (2021). Trends in nanotechnology and its potentialities to control plant pathogenic fungi: A review. *Biology*, 10(9), 881. <https://doi.org/10.3390/biology10090881>
15. Ioannou, A., Gohari, G., Papaphilippou, P., Panahirad, S., Akbari, A., Dadpour, M. R., ... & Fotopoulos, V. (2020). Advanced nanomaterials in agriculture under a changing climate: the way to the future?.

- Environmental and Experimental Botany, 176, 104048.
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104048>
16. López, b. E., & Millan, L. D. J. (2009). Establecimiento de condiciones de la mezcla de pulpa de banano (*Musa paradisiaca* L.) para someter a secado por aspersion. *Vitae*, 16(3), 287-296. ISSN 0121-4004
 17. López-Corona, B. E., Mondaca-Fernández, I., Gortáres-Moroyoqui, P., Meza-Montenegro, M. M., Balderas-Cortés, J. D. J., Ruíz Alvarado, C., & Rueda-Puente, E. O. (2020). Ecophysiology and biochemistry of *Salicornia bigelovii* (Torr.) by effect of chitosan-aib effect under Sonora desert conditions. *Polibotánica*, (49), 75-92. DOI: <https://doi.or/10.18387/polibotanica.49.5>
 18. Malerba, M., & Cerana, R. (2016). Chitosan effects on plant systems. *International journal of molecular sciences*, 17(7), 996. <https://doi.org/10.3390/ijms17070996>
 19. Malik, A., Mor, V. S., Tokas, J., Punia, H., Malik, S., Malik, K., ... & Karwasra, A. (2020). Biostimulant-treated seedlings under sustainable agriculture: A global perspective facing climate change. *Agronomy*, 11(1), 14. <https://doi.org/10.3390/agronomy11010014>
 20. Merino, D., Mansilla, Y. A., Salcedo, M. F., Iglesias, M. J., Gutiérrez, T. J., Casalongué, C. A., & Álvarez, V. A. (2022) Desarrollo de bioinsumos para su aplicación en la agricultura moderna.
 21. Mujtaba, M., Khawar, K. M., Camara, M. C., Carvalho, L. B., Fraceto, L. F., Morsi, R. E., ... & Wang, D. (2020). Chitosan-based delivery systems for plants: A brief overview of recent advances and future directions. *International journal of biological macromolecules*, 154, 683-697. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.03.128>
 22. Núñez-Vázquez, M. D. L. C., Delgado-Acosta, C., López-Padrón, I., Martínez-González, L., Reyes-Guerrero, Y., Pérez-Domínguez, G., & Brito-Sánchez, D. (2020). Nuevo bioestimulante y su influencia en la producción del frijol común. *Cultivos Tropicales*, 41(4). ISSN digital: 1819-4087

23. Pasin, B. L., Azón, C. G., & Garriga, A. M. (2012). Microencapsulación con alginato en alimentos. Técnicas y aplicaciones. *Revista venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 3(1), 130-151. ISSN: 2218-4384
24. Rajput, V. D., Singh, A., Minkina, T., Rawat, S., Mandzhieva, S., Sushkova, S., ... & Upadhyay, S. K. (2021). Nano-enabled products: challenges and opportunities for sustainable agriculture. *Plants*, 10(12), 2727. <https://doi.org/10.3390/plants10122727>
25. Ratnam, N., Najibullah, M. e Ibrahim, MD (2017). Una revisión sobre Cucurbita pepo. *Int J Pharm Phytochem Res*, 9, 1190-1194. <https://doi.org/10.25258/phyto.v9i09.10305>
26. Reyes-Pérez, J. J., Ramos-Remache, R. A., Falcón-Rodríguez, A., Ramírez-Arrebato, M. Á., Rodríguez-Pedroso, A. T., Rivero-Herrada, M., & Llerena-Ramos, L. T. (2019). Efecto del quitosano sobre variables del crecimiento, absorción de nutrientes y rendimiento de *Cucumis sativus*. *Centro Agrícola*, 46(4), 53-60. ISSN on line: 2072-2001
27. Reyes-Pérez, J. J., Rivero-Herrada, M., García-Bustamante, E. L., Beltran-Morales, F. A., & Ruiz-Espinoza, F. H. (2020). Aplicación de quitosano incrementa la emergencia, crecimiento y rendimiento del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en condiciones de invernadero. *Biotecnia*, 22(3), 156-163.
28. Reyes-Pérez, J. J., Rivero-Herrada, M., Solórzano-Cedeño, A. E., Carballo-Méndez, F. D. J., Lucero-Vega, G., & Ruiz-Espinoza, F. H. (2021). Application of humic acids, chitosan and mycorrhizal fungus influence pepper growth and development. *Terra Latinoamericana*, 39. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.833>
29. Rodríguez-Núñez, J. R., Madera-Santana, J. T., De Dios-Aguilar, M. A., Colín-Chávez, C., Mariscal-Amaro, L. A., Núñez-Colín, C. A., ... & Grijalva-Verdugo, C. P. (2019). Recubrimiento a base de quitosano y extracto acuoso de hoja de *Moringa oleífera* obtenido por UMAE y su efecto en las propiedades fisicoquímicas de fresa (*Fragaria x ananassa*). *Biotecnia*, 21(2), 155-163.

30. Roupshael, Y. y Colla, G. (2020). Hacia una agricultura sostenible a través de bioestimulantes vegetales: De los datos experimentales a las aplicaciones prácticas. *Agronomía*, 10 (10), 1461. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101461>
31. Russo, R. O., & Berlyn, G. P. (2021). Agricultural and forestry extension in biostimulants and bioinputs in Costa Rica: a short review. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 4(4), 5290-5296. DOI: <https://doi.org/10.34188/bjaerv4n4-032>
32. Soriano-Melgar, L. D. A. A., Izquierdo-Oviedo, H., Saucedo-Espinosa, Y. A., y Cárdenas-Flores, A. (2020). Efecto de la aplicación de bioestimulantes sobre la calidad y capacidad antioxidante de frutos de calabacita (*Cucurbita pepo* L. var. 'Grey Zucchini'). *Terra Latinoamericana*, 38(1), 17-28. DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v38i1.516>
33. Usman, M., Farooq, M., Wakeel, A., Nawaz, A., Cheema, S. A., ur Rehman, H., ... y Sanallah, M. (2020). Nanotechnology in agriculture: Current status, challenges and future opportunities. *Science of the Total Environment*, 721, 137778. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137778>
34. Valero, N. O. V., Martínez, K. A. C., y Gómez, J. A. G. (2023). Efecto bioestimulante de una chalcona sintética sobre frijol guajiro (*Vigna unguiculata* L. Walp). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*.
35. Wang, W., Meng, Q., Li, Q., Liu, J., Zhou, M., Jin, Z., y Zhao, K. (2020). Chitosan derivatives and their application in biomedicine. *International journal of molecular sciences*, 21(2), 487. Doi: <https://doi.org/10.3390/ijms21020487>
36. Zhang, W., Cao, J., Fan, X., y Jiang, W. (2020). Applications of nitric oxide and melatonin in improving postharvest fruit quality and the separate and crosstalk biochemical mechanisms. *Trends in Food Science & Technology*, 99, 531-541. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.024>
37. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/calabazas-una-dulce-tradicion>

38. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/la-calabacita-que-rica-que-fresca-que-suave?idiom=es>
39. <https://www.gob.mx/siap/articulos/calabacita-hortaliza-versatil-con-la-que-se-pueden-elaborar-diversos-platillos?idiom=es#:~:text=Como%20verdura%20es%20muy%20vers%C3%A1til,mar%20como%20en%20valles%20altos.>

