

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIAS SOCIOECONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE ADMINISTRACIÓN AGROPECUARIA



“Efecto de la Aplicación de Bioinsumos de Quitosán con Zinc quelatado en la biofortificación de maíz y su estudio económico”

Por:
JACQUELINE VELASCO

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ADMINISTRADOR

Saltillo, Coahuila, México.

junio, 2026.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIAS SOCIOECONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE ADMINISTRACIÓN AGROPECUARIA

"Efecto de la Aplicación de Bioinsumos de Quitosán con Zinc quelatado en la biofortificación de maíz y su estudio económico"

Por:

JACQUELINE VELASCO

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ADMINISTRADOR

Aprobada por el comité Asesor:



DRA. LYDIA V. GUTIÉRREZ LÓPEZ

Asesor Principal Interno



DRA. HORTENSIA ORTEGA ORTIZ

Asesor Principal Externo



MC. MARÍA GRISELDA GARCÍA PÉREZ

Coasesor



ING. RICARDO A. TREVIÑO LOPEZ

Coasesor



LIC. NURMA E. SANCHEZ GARCIA

Coordinador de la División de Ciencias Socioeconómicas



Saltillo, Coahuila, México.

Junio, 2026

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIAS SOCIOECONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE ADMINISTRACIÓN AGROPECUARIA

"Efecto de la Aplicación de Bioinsumos de Quitosán con Zinc quelatado en la biofortificación de maíz y su estudio económico"

Por:

JACQUELINE VELASCO

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ADMINISTRADOR

Aprobada por el Jurado examinador.



DRA. LYDIA V. GUTIÉRREZ LÓPEZ

Presidenta



DRA. HORTENSIA ORTEGA ORTIZ

Vocal



MC. MARÍA GRISELDA GARCÍA PÉREZ

Vocal



DR. EDUARDO A. TREVIÑO LOPEZ

Vocal suplente



LIC. NORMA E. SÁNCHEZ GARCÍA

Coordinador de la División de Ciencias Socioeconómicas



Saltillo, Coahuila, México.

junio, 2026.

DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

Saltillo, Coahuila, Junio del 2026.

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

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

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

Autor principal



Jacqueline Velasco

Asesor principal



Dra. Lydia Venecia Gutiérrez López

AGRADECIMIENTOS

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

Al **Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA)**, a través del proyecto interno F-6772 para la realización de este trabajo de tesis.

A la **Dra. Hortensia Ortega Ortiz**, mi más sincero agradecimiento por todo el apoyo constante, su orientación y su paciencia durante el desarrollo de esta investigación y durante mi estancia en CIQA.

A la **Dra. Lydia Venecia Gutiérrez**, por su confianza y respaldo, elemento clave para la consolidación de este trabajo.

A la **MC. Fabiola Yaneth Castellanos Padilla** por su valioso apoyo y enseñanza en la determinación de lignina y otras técnicas de análisis en el laboratorio durante mi estancia en el CIQA.

Al **Dr. Eduardo Alfonso Treviño López**, del Departamento de Biociencias y Agrobiotecnología, por su apoyo en la siembra, fertilización, manejo de plagas y enfermedades y acompañamiento diversas técnicas de campo.

Al **LCQ Jesús Alejandro Espinosa Muñoz** del laboratorio de caracterización de Materiales del CIQA, por su asistencia técnica en la determinación de minerales mediante espectroscopía de absorción atómica con plasma inductivo (ICP-OES).

A todos mis profesores, quienes con su dedicación y compromiso formaron parte esencial de mi formación académica. Gracias por cada enseñanza impartida a lo largo de esta etapa universitaria. A mi **Alma Mater la UAAAN**.

DEDICATORIA

A mis padres en esta dedicatoria quiero primero agradecer su amor incondicional que me han brindado durante esta etapa de mi vida, por confiar en que podía cumplir otro logro más en mi vida y por ser mis pilares fundamentales para sostenerme durante este camino. Gracias a ustedes hoy soy la persona que formaron para bien.

A mi papá José Luis Velasco Victoria le doy gracias por enseñarme a ser fuerte y nunca rendirme en este camino, a creer en mí y que podía lograr cumplir un sueño más, gracias por darme ese carácter de seguir persiguiendo metas y nunca conformarme con el camino.

A mi madre, Isabel Montesinos Montesinos, te doy las gracias por siempre alentarme con tus dulces palabras de madre, por impulsarme cuando quería rendirme, por estar conmigo cuando lo necesitaba y por apoyarme, en especial emocionalmente. Gracias por confiar en mí y por estar presente.

A mi hija Alice Natalia Velasco en especial a ella le doy las gracias por hacerme fuerte, por convertirme en una persona completamente diferente, por ser mi principal motivo de inspiración en cada paso, y por recorrer este camino a mi lado, esta meta no es solo mía, es de ambas porque el existieron miles de obstáculos para ambas, pero lo logramos juntas.

A mis hermanos Ángel y José por estar presentes en mi vida, por brindarme sus consejos y su ayuda cuando lo necesitaba a motivare a seguir adelante e inspirándome a cumplir sueños y sobre todo por su confianza hacia mí.

A mis amigos que en algún momento lograron convertir el estrés de la escuela en un día de risas y felicidad, en especial quiero agradecerle a Karen y Ricardo por brindarme una familia nueva en un lugar desconocido, llevare cada recuerdo vivido y agradeceré a la vida de haberlos conocido.

A mi familia quiero agradecer a mis abuelos, tíos, primos, que confiaron en mí y que me alentaron a seguir adelante a nunca rendirme, llevo conmigo cada uno de sus consejos y los he llevado durante este camino. También quiero agradecer a mis cuñadas Nelly y Jazmín por apoyarme y por estar conmigo durante este camino y ser para mí una hermana más. También a las personas que fui conociendo durante el camino y que el día de hoy me acompañan brindándome más amor y apoyo para seguir cumpliendo más metas.

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	
DEDICATORIA	
CONTENIDO	I
ÍNDICE DE TABLAS	II
ÍNDICE DE FIGURAS	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
I. INTRODUCCIÓN	12
1.1 Objetivo general	13
1.2 Objetivos Específicos	13
1.3 Hipótesis	13
II. REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1 Antecedentes del cultivo de maíz	14
2.2 Producción del maíz	15
2.3 Composiciones químicas del maíz	16
2.4 El quitosán como bioestimulante de cultivos	16
2.5 Efectos del quitosán en plantas	17
2.6 Micronutrientes y su uso en las plantas	17
2.7 Funcionamiento del Zinc en las plantas	18
2.8 Bioinsumos de quitosán con zinc	19
2.9 Costos de producción del maíz	20
III. MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1 Materiales requeridos para siembra	22
3.2 Ubicación del experimento	23
3.3 Climatología del lugar del experimento	23

3.4 Proceso del experimento	23
3.5 Evaluación de variedades morfológicas	25
3.6 Evaluación de variables bioquímicas	27
3.7 Diseño experimental	29
3.8 Análisis estadístico	29
3.9 Evaluación de los costos de producción	2
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	
4.1 Análisis morfológicos primer muestreo	30
4.2 Análisis morfológicos ultimo muestreo	31
4.3 Análisis bioquímicos	37
4.4 Análisis de los costos de producción	42
V. CONCLUSIONES	
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Tratamientos.	24
Tabla 2. Fechas de aplicación de tratamientos y volumen de gastos.	24
Tabla 3. Variables morfológicas de plántulas de maíz tratadas con CS, Zn, CSZn, ZnQ, CSZnQ a los 51 días después de la siembra (DDS).	30
Tabla 4. Efecto de la aplicación de los tratamientos Cs, Zn, CSZn, ZnQ, CSZnQ, en plantas de maíz en los análisis de minerales.	42
Tabla 5. Costos de producción por hectárea de maíz.	42
Tabla 6. Costo por tratamientos en una hectárea de maíz.	44

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Efecto de la aplicación foliar de los tratamientos de CS, Zn, CSZn, ZnQ, CSZnQ al maíz a los 113 días en la variable altura.	31
Figura 2. Efecto de la aplicación foliar de los tratamientos de CS, Zn, CSZn, ZnQ, CSZnQ al maíz a los 113 días en la variable diámetro del tallo.	32
Figura 3. Efecto de la aplicación foliar de los tratamientos de CS, Zn, CSZn, ZnQ, CSZnQ al maíz a los 113 días en la variable peso fresco del tallo.	32
Figura 4. Efecto de la aplicación foliar de los tratamientos de CS, Zn, CSZn, ZnQ, CSZnQ al maíz a los 113 días en la variable peso seco del tallo.	33
Figura 5. Efecto de la aplicación foliar de los tratamientos de CS, Zn, CSZn, ZnQ, CSZnQ al maíz a los 113 días en la variable área foliar.	34
Figura 6. Efecto de la aplicación foliar de los tratamientos de CS, Zn, CSZn, ZnQ, CSZnQ al maíz a los 113 días en la variable número de hojas.	34
Figura 7. Efecto de la aplicación foliar de los tratamientos de CS, Zn, CSZn, ZnQ, CSZnQ al maíz a los 113 días en la variable peso fresco de la hoja.	35
Figura 8. Efecto de la aplicación foliar de los tratamientos de CS, Zn, CSZn, ZnQ, CSZnQ al maíz a los 113 días en la variable peso seco de la hoja.	35
Figura 9. Efecto de la aplicación foliar de los tratamientos de CS, Zn, CSZn, ZnQ, CSZnQ al maíz a los 113 días en la variable número de frutos (elote).	36
Figura 10. Efecto de la aplicación foliar de los tratamientos de CS, Zn, CSZn, ZnQ, CSZnQ al maíz a los 113 días en la variable peso fresco de los frutos (elotes).	36
Figura 11. Rendimiento en plantas tratadas con Cs, Zn, CSZn, ZnQ, CSZnQ, las diferentes letras indican diferencias significativas entre tratamientos	37
Figura 12. Efecto de la aplicación foliar de los tratamientos de CS, Zn, CSZn, ZnQ, CSZnQ al maíz en la variable contenido de vitamina C.	38

Figura 13.	Efecto de la aplicación foliar de los tratamientos de CS, Zn, CSZn, ZnQ, CSZnQ al maíz en la variable proteína.	39
Figura 14.	Efecto de la aplicación foliar de los tratamientos de CS, Zn, CSZn, ZnQ, CSZnQ al maíz en la variable lignina de la hoja.	40
Figura 15.	Efecto de la aplicación foliar de los tratamientos de CS, Zn, CSZn, ZnQ, CSZnQ al maíz en la variable lignina total del tallo.	40
Figura 16.	Efecto de la aplicación foliar de los tratamientos de CS, Zn, CSZn, ZnQ, CSZnQ al maíz en la variable lignina total del grano de maíz.	41

RESUMEN

En este estudio se evaluó el efecto de la aplicación foliar de quitosán (CS), zinc (Zn), zinc quelatado (ZnQ), quitosán zinc (CS-Zn) y quitosán con zinc quelatado (CS-ZnQ) sobre las variables morfológicas y bioquímicas del cultivo de maíz (*Zea mays*). Los tratamientos evaluados constaron de un testigo, un control de quitosano, zinc y zinc quelatado en concentraciones de 500 ppm.

En el presente trabajo se evaluó el efecto individual de CS, Zn, ZnQ, y combinado, las aplicaciones se realizaron vía foliar durante el ciclo fisiológico del cultivo de maíz establecido en campo con sistema de riego por goteo, con un diseño experimental de bloques al azar con 4 repeticiones. Los resultados obtenidos muestran que al aplicar el ZnQ mejora las variables de estatura, diámetro de tallos y mejor contenido de lignina en el grano de maíz, mientras que el aplicar quitosán muestra mejores resultados en las variables, pesos de tallo, peso de fruto y un mejor rendimiento sobre el testigo.

Al igual que se muestran los costos que se generaron durante todo el ciclo del maíz en cada uno de los tratamientos, dando una mejor rentabilidad al tratamiento de zinc (Zn), por obtener buen rendimiento y menor costo de producción.

ABSTRACT

This study evaluated the effect of foliar application of chitosan (CS), zinc (Zn), chelated zinc (ZnQ) chitosan zinc (CS-Zn) and chitosan with chelated zinc (CS-ZnQ) on the morphological and biochemical variables of maize (*Zea mays*). The treatments evaluated consisted of an absolute control, a chitosan control, zinc and chelated zinc at concentrations of 500 ppm.

In this study, the individual and combined effects of chitosan (CS), zinc (Zn), and zinc quarry (ZnQ) were evaluated. Applications were made via foliar spray during the physiological cycle of a corn crop established in the field with a drip irrigation system, using a randomized complete block design with four replications. The results show that applying ZnQ improves the variables of plant height, stalk diameter, and lignin content in the corn kernel, while applying chitosan shows better results in the variables of stalk weight, fruit weight, and a higher yield compared to the control.

The costs generated during the entire corn cycle for each treatment are also shown, with the zinc (Zn) treatment proving more profitable due to its good yield and lower production costs.

I. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays*) es el cultivo agrícola más importante de México, por ser la fuente principal de la alimentación humana y animal, así como la elaboración de múltiples productos para la industria; y es sembrado en la mayoría de los estados en diversas condiciones climáticas (SIAP, 2017).

El maíz juega un papel central en la agricultura en todas las culturas indígenas mexicanas, debido a su amplia adaptación a distintos ambientes, su tolerancia a plagas y enfermedades y a sus diversos usos, ya sea como alimento o forraje (Paliwal, 2001; Kato et al., 2009).

En los últimos años la agricultura tradicional ha enfrentado diversas crisis en las que se han visto afectadas la seguridad alimentaria, la degradación y pérdida de los suelos, con la dependencia de los insumos químicos que se aplican en diversos cultivos, la crisis hídrica y la contaminación de suelos han sido severamente drásticas y por último la afectación del impacto económico debido a la elevación continua de los precios de fertilizantes sintéticos.

La presente investigación se refiere a la implementación de aplicación vía foliar de bioinsumos de quitosán en plantas de maíz, así como también de otros tratamientos como son el zinc y zinc quelatado, analizando la mejora en su biofortificación agronómica en las prácticas agrícolas.

La característica principal de este tipo de aplicación es una actividad que busca combatir la deficiencia de micronutrientes, aportando mejor calidad en los alimentos que la población consume a diario como alimento básico.

La investigación se realizó por el interés de conocer cómo afecta o influyen los bioestimulantes en el cultivo y sus diferentes variables tanto morfológicas como bioquímicas, esto también permitió conocer si los tratamientos efectuados generan un rendimiento de grano elevado, que en general la mayoría de los agricultores buscan para optar por un nuevo método sostenible.

Es importante establecer estudios de evaluación socioeconómica de los costos generados en la producción, así como también conocer los precios del maíz en diferente época o diferente año, debido a que este llega a estar cambiando constantemente según la disponibilidad del grano.

Por lo tanto, este trabajo de investigación surge de la necesidad de evaluar el comportamiento de las variables morfológicas y químicas de la planta en cada uno de los tratamientos aplicados, incluyendo un estudio económico para conocer su rentabilidad.

OBJETIVOS

Objetivo general:

Estudiar el efecto de la aplicación de los compuestos de quitosán con zinc quelatado (CS-Zn) para biofortificar el cultivo de maíz, aumentar el rendimiento y promover la calidad nutrimental del grano, así como también evaluar los costos de producción.

Objetivos específicos:

- La obtención de un bioinsumo a base de complejos de quitosán con zinc quelatado.
- Determinar la evaluación de Cs- Zn Quelatado en el cultivo de maíz como biortificante del grano, así como bioestimulante del crecimiento.
- Determinación del estudio económico del proyecto para determinar el precio del producto evaluado.

HIPÓTESIS

La aplicación de bioinsumos de quitosán con zinc quelatado en el maíz provocará un efecto biofortificante en el desarrollo de la planta, mejorando la calidad del grano y su crecimiento, así como también su utilización dará mejores resultados en los costos de producción.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Antecedentes del cultivo de maíz

México es parte de Mesoamérica, que es el centro de origen y de diversificación del maíz, se consume de diferentes formas, es parte importante de la dieta, se estima el consumo anual per cápita de 196.4 kg. Se cultiva en sistemas agrícolas contrastantes: de alto insumo y sistemas tradicionales con agricultura familiar de autoconsumo, guardan e intercambian semillas.

Los maíces nativos son seleccionados y diversificados durante miles de años por los pueblos originarios, los campesinos y pequeños productores de México y Mesoamérica. Oficialmente se reconocen 64 razas de maíz nativo, sin embargo, existen otras que aún no han sido clasificadas oficialmente. Por ello, es común mencionar que existen más de 64 razas de maíz nativo en México.

Los maíces transgénicos son obtenidos mediante la técnica de ingeniería genética llamada transgénesis. Se introducen uno o más genes de una especie donante diferente a la del maíz. Ejemplo: virus o bacterias. Se introducen nuevas capacidades, como resistencia a herbicidas, por ejemplo, el glifosato, o a plagas.

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del maíz

Reino	Plantae
División	Traqueófitas
Clase	Magnoliopsida
Superorden	Lilianaes
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Género	<i>Zea</i>
Especie	<i>Zea mays</i>

Fuente: Integrated Taxonomic Information System (2016)

Géneros del maíz.

El maíz, *Zea mays* L., pertenece a la familia de las Poáceas (Gramíneas), tribu Maydeas, es la única especie cultivada de este género. Otras especies del género *Zea*, comúnmente llamadas teosinte, y las especies del género *Tripsacum* conocidas como arrocillo o maicillo son formas salvajes parientes de *Zea mays*. Son clasificadas como del *Nuevo Mundo* porque su centro de origen está en América. En un primer momento, los taxónomos

clasificaron los géneros *Zea* y *Euchlaena*, los cuales pertenecía el teosinte como dos géneros separados. Actualmente, en base a la compatibilidad para la hibridación entre esos grupos de plantas y a estudios citogenéticos, es generalmente aceptado que ambas pertenecen al género *Zea* (Reeves y Mangelsdorf, 1942).

2.2 Producción de maíz

Es una planta C4 con una alta tasa de actividad fotosintética. Considerada individualmente, su tasa de multiplicación es de 1:600-1000 (Aldritch, Scott y Leng, 1975). El maíz tiene el más alto potencial para la producción de carbohidratos por unidad de superficie por día. Fue el primer cereal en ser sometido a rápidas e importantes transformaciones tecnológicas en su forma de cultivo.

Para su desarrollo requiere de temperaturas cálidas entre 25-30 °C; sin embargo, es un cultivo que se puede adaptar hasta 8 °C, asimismo, se puede cultivar en casi todos los tipos de suelo, en especial los ligeramente ácidos, profundos y ricos en materia orgánica con buen drenaje, requiere un suministro alto de agua (aproximadamente 5 mm de lluvia o riego diarios) y muchas horas de sol (SIAP-SAGARPA, 2014).

El rendimiento medio del maíz en los trópicos es de 1 800 kg/ha comparado con una media mundial de más de 4 000 kg/ha. El rendimiento medio del maíz en las zonas templadas es de 7 000 kg/ha (CIMMYT, 1994).

En el 2021 la producción de maíz en México fue de 27 millones de toneladas, dejando a nivel mundial a México en el lugar 7° en producción de este grano, dando una participación del 88.2%, el maíz se cultiva en 32 estados del país en la que los principales productores vienen siendo Sinaloa, Jalisco, Estado de México, Guanajuato y Michoacán. Alrededor del 25% de las cosechas del maíz grano se logran de mayo a julio, el 60% se obtiene de noviembre a enero.

2.3 Composición química del maíz.

Cada uno de los órganos de la planta de maíz tiene un valor nutritivo diferente. La composición química de los principales órganos de la planta de maíz ha sido determinada por diferentes autores (Cuadro 2).

Cuadro 2. Composición química de la planta de maíz (% de peso seco).

Matriz	Hemicelulosa (% PS)	Celulosa (% PS)	Lignina (% PS)	Cenizas (%)	Proteínas (%)	Autores
Tallo	28.41	46.54	20.42	4.62	3	Wang y Chen (2016)
Hojas	22	32	16	7	4	Lee (2007)
Fibra de maíz	67.5	22.5	1.0	1.3	8	Saulnier et al. (1995)

2.4 Quitosán como bioestimulante

¿Qué es un bioestimulante? Son sustancias o microorganismos que, cuando se aplican a las semillas, plantas o a la rizosfera, estimulan procesos naturales que aumentan o benefician la absorción de nutrientes, la eficiencia de nutrientes, la tolerancia al estrés abiótico o la calidad y los rendimientos de los cultivos (Farm Bill 2018).

En la actualidad, desde un punto de vista funcional, se usan como categorías de bioestimulantes los siguientes: ácidos húmicos y fúlvicos, hidrolizados de proteínas con péptidos, aminoácidos y otros compuestos con N, extractos con algas y plantas, biopolímeros como el quitosán, poliácidos acrílicos, oligómeros de celulosa, hongos y bacterias benéficas (Du Jardin 2015).

El quitosán es la forma desacetilada de quitina, un biopolímero que se produce naturalmente como componente de las paredes celulares de hongos, insectos, exoesqueletos y caparzones de crustáceos.

En la agricultura la aplicación de quitosano ha sido estudiada en muchas especies de cultivo, incluidos cereales, ornamentales, frutales y cultivos medicinales. El quitosán afecta varias respuestas en la planta dependiendo su estructura y concentración de las moléculas

de quitosano, la especie de planta, y su etapa de desarrollo (Kananont et al., 2010; Limpanavech et al., 2008; Lin *et al.*, 2005).

Estructura del Quitosáno.

La quitina y el quitosano son copolímeros de N-acetil-d-glucosamina y d-glucosamina, donde la proporción de cada monómero en la cadena polimérica define sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Aunque la quitina se puede encontrar en diversas fuentes en la naturaleza, normalmente se produce a partir de caparazones de camarón o cangrejo mediante desmineralización y desproteización (Rinaudo, 2006; Younes y Rinaudo, 2015).

2.5 Efectos del quitosáno en las plantas.

Algunos de los efectos estudiados del quitosano es que se ha descubierto que actúa como estimulador de las respuestas de defensa de las plantas tanto de heridas como de infecciones de patógenos (Doares et al., 1995).

El quitosán, cuando se aplica en tejidos, desencadena que los fragmentos pécticos de los oligogalacturónidos en la pared celular induzcan la acumulación de especies reactivas de oxígeno y proteínas relacionadas con la patogénesis, para proteger los tejidos vegetales contra la infección por patógenos (Lee et al., 1999; Zhao et al., 2007).

La preparación de semillas con quitosán aumenta la tolerancia al frío en el maíz mejorando el índice de germinación y el tiempo de germinación a bajas temperaturas como también a producir un mayor crecimiento de plántulas en semillas tratadas en comparación con semillas sin tratar (Guan et al., 2009).

2.6 Micronutrientes para plantas.

Las plantas cultivadas requieren 17 nutrientes para complementar su ciclo de vida. Los nutrientes esenciales se dividen en 2 grupos: los macronutrientes y los micronutrientes. En los macronutrientes carbón (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio(Ca), magnesio (Mg) y azufre (S). Los micronutrientes incluyen zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), boro (B), molibdeno (Mo), cloro (Cl) y níquel (Ni) (Fageria, 1992; Brady y Weil, 2002).

Cada fertilizante proporciona un conjunto de macro y micronutrientes, incluidos el nitrógeno, fósforo, potasio, boro, cobre, hierro, manganeso, molibdeno y zinc.

La importancia de la fertilización con micronutrientes en el cultivo ha ido aumentando constantemente, principalmente debido a la introducción de cultivos de alto rendimiento y

que requieren grandes cantidades de minerales que suelen tener una mayor absorción intensiva del suelo.

Las condiciones del suelo limitan la disponibilidad de los nutrientes, la correcta realización de los fertilizantes de nutrientes debe ser hecha conforme la planta lo necesite.

Según Fancelli y Dourado Neto (2000), la cantidad de micronutrientes exportados por el cultivo del maíz para la producción de nueve toneladas de grano es de 340 g de manganeso, 110 g de cobre y 400 g de zinc. Otros minerales importantes, principalmente por la exportación de estos elementos por los granos, siendo éstos en mg/100 g de granos: 287 potasio, 35 sodio, 7 calcio, 210 fósforo, 127 magnesio, 271 hierro, 2,02 zinc, 0,31 cobre, 0,46 manganeso y 0,004 selenio (SAULNIER, 2012).

De acuerdo con Yamada (2004), el uso de micronutrientes en el maíz viene aumentando y la principal formulación utilizada consta de 3,5% de Zn y 3,5% de Mn. El aumento en el uso de micronutrientes se debe a la baja concentración disponible en algunos tipos de suelo y también a controlar algunas enfermedades (TOMAZELA et al., 2006). Autores como Hasegawa et al. (2008) indican que la adición de zinc resultó en un aumento en la frecuencia relativa de *Fusarium verticillioides*, por otra parte, los autores señalan que se debe utilizar de forma equilibrada macronutrientes y micronutrientes, con el fin de no sólo aumentar la producción de granos, sino como una medida de control de los contaminantes naturales, tales como hongos y toxinas.

Adicionalmente, el cultivo de maíz puede jugar un papel importante en la protección de los suelos, mitigando la erosión y contribuyendo al incremento de contenido de nitrógeno en el suelo.

2.7 Zinc en las plantas.

El zinc es considerado un micronutriente crucial para las plantas, desempeña un papel fundamental en su bioquímica y metabolismo debido a su importancia y toxicidad para los sistemas biológicos en concentraciones específicas de Zn, es decir, insuficientes o perjudiciales por encima del rango óptimo.

El zinc es importante en las plantas ya que participa en muchas funciones celulares claves como la metabólica y procesos fisiológicos, activación enzimática y homeostasis (Yang et al., 2020; Alsafran et al., 2022).

Además de su papel como clave factor para la integridad estructural de los ribosomas, el Zn juega un papel en otras funciones biofísicoquímicas importantes en plantas, incluida la regulación y activación de genes, síntesis de proteínas, participación en el metabolismo de los carbohidratos y participación morfológica y anatómica en las biomembranas (Hafeez et al., 2013; Zaheer et al., 2020a).

Deficiencia y toxicidad del zinc en las plantas.

La deficiencia del zinc se convierte en un grave problema agrícola debido a su poca disponibilidad en los suelos cultivables, lo que da como resultado la disminución de la producción agrícola y de la calidad nutricional (Zeng et al., 2021).

Numerosos factores afectan negativamente al zinc disponible en el suelo para las plantas, incluidos los contenidos bajos de zinc, un pH alto, bajo potencial redox, inundaciones prolongadas, comunidades microbianas en la rizosfera, alto contenido de materia orgánica, alto contenido de carbonato de calcio y bicarbonato, altos contenidos de óxido de hierro, alta proporción intercambiable de magnesio/calcio, alto contenido de sodio y disponibilidad de fósforo (Zhang et al., 2012; Moreno-Lora and Delgado, 2020).

2.8 Complejos o bioinsumos de quitosán con zinc.

La aplicación foliar de Quitosán como bioestimulador y ácido húmico mejora el crecimiento de las plantas y en consecuencia mayor cultivo de plantas.

Resultados han revelado que la mayoría de las características morfológicas como son: altura de la planta, número de hojas y atributos de rendimiento como número y tamaño del fruto, se incrementaron aumentando la concentración de quitosano (Shehata et al. 2012).

En estudios se demuestra que el efecto de aplicación foliar de Quitosán con micronutrientes revela que la altura de la planta aumenta significativamente. Algunos de los resultados que obtuvieron mostraron que el efecto de aplicación con micronutrientes el que mejor resultados obtuvo en rendimiento de granos fue por vía foliar con la aplicación con zinc. La aplicación de foliares de micronutrientes y bioestimulantes tuvo muy buen rendimiento de semilla seca en cualquier temporada del año.

2.9 Los costos de producción de maíz.

Los datos sobre Costos de Producción permiten evaluar el efecto que tienen las decisiones de la administración agrícola en términos de eficiencia, ingresos y rentabilidad, que será útil en la ayuda a los agricultores (Carlos et al., 2021).

La Matriz de Análisis de Política (MAP) desarrollada por Monke y Pearson (1989), fue usada para concentrar los costos de producción, diferenciados en:

- 1) Insumos comerciables: son los que poseen un mercado internacional que podrían comercializarse en condiciones de apertura comercial, por lo tanto, tienen una cotización internacional: fertilizantes, herbicidas, insecticidas, semillas, etc.
- 2) Insumos indirectamente comerciables: aquellos productos o insumos que potencialmente se pueden comercializar, pero que en realidad por razones económicas o políticas. Pueden ser también insumos compuestos por partes comerciables y partes no comerciables por lo que estos se deberán desagregar y ser evaluados de acuerdo a su clasificación, dependiendo del bien, por ejemplo: tractor e implementos
- 3) Factores internos de la producción: son aquellos que intervienen en la producción y que bajo ninguna situación son comercializados internacionalmente y, por ello, su precio se determina en el mercado interno: labores manuales, labores mecanizadas, créditos, seguro, agua y tierra. (Monke,1989)

Para cuantificar el costo total de producción es necesario captar todos los desembolsos que se realizan durante el ciclo productivo. Comprende dos grandes apartados a)costos directos, estos se refieren a pagos de renta de maquinaria e insumos, tales como fertilizantes pesticidas, semillas, y retribución de mano de obra; y b)costos indirectos, también denominados costos de oportunidades, que se refieren por una parte, a la ganancia que produciría la inversión (el total de costos directos) e n su mejor alternativa, para su cálculo se toma como referencia una tasa de interés de mercado y por otra parte al costo de la tierra (renta de la tierra). La expresión algebraica para determinar el costo total por unidad de superficie es: $CT=P*X$, CT= costo total, P= precio del insumo o actividad, X= insumo o actividad (Juan Islas et al., 2001).

Rentabilidad

Según Juan Islas et. al (2001), para determinar la rentabilidad se requiere calcular el costo total de producción y el ingreso total de cultivo.

El ingreso total por hectárea se obtiene de multiplicando el rendimiento del cultivo por su precio de mercado. Su expresión es: $IT=P*Y$, donde IT =Ingreso total, P =Precio del mercado del cultivo (\$ t), y Y =Rendimiento del cultivo (t ha).

De acuerdo con Rodríguez et al. (1999), la rentabilidad es el cociente de la ganancia obtenida por hectárea entre el costo total de producción, expresados a valores corrientes; está determinada en función de la ganancia obtenida por cada unidad monetaria erogada en el proceso de producción. Esta relación se puede expresar en términos porcentuales, es decir, lo que representa la ganancia con respecto al costo total. Algebraicamente, es: $R = \pi CT/100$, donde R = Rentabilidad y CT = Costo total.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales requeridos en la siembra del maíz.

El genotipo de la semilla utilizado para la siembra del cultivo, fue de la formuladora de Bayer denominada ASGROW 7573 Elotero, el costal contiene 50 mil semillas con un peso de 23.5 kg.

Como bioinsumos se utilizaron el quitosán de la marca Marine Chemicals con un peso molecular de 200,000 g/mol, sulfato de zinc de la marca Fermont y zinc quelatado de la marca Ultrasol micro Rexene ZN15.

La Fertilización de base que se aplicó en todos los tratamientos fue una solución nutritiva en base a Steiner por hectárea con la formula (300 110 240) 40 azufre y 5 de Zinc; Crucial en maíz con suelos de pH elevado. La fertilización consto: de Fosfato Monoamónico, 11-52-0, Sulfato de Potasio (0-0-50 + 18S), Sulfato de Zinc (35% Zn), Sulfato de Amonio (21-0-0 + 24S), Cloruro de Potasio (0-0-60), Bioestimulante a base de aminoácidos, Quelato de Zinc EDTA, Quelato de Hierro EDTA o EDDHA, Fertilizante foliar balanceado con alto contenido de Boro y Molibdeno para mejorar la viabilidad del polen, Quelato de Manganeso (0.5 kg/ha), al igual se incluyó un agroquímico de control que fue un insecticida con ingrediente activo de Flubendiamide con el nombre comercial de Belt de la casa comercial La parcela experimental consistió en área de 500 metros cuadrados en los cuales se realizaron 8 camas de 30 metros de largo con en ancho de 60 centímetros a una distancia de 1.8 metros de separación entre centro de cada una, la cual se acolcho de manera manual con plástico coextruido negro- blanco con la cara blanca al exterior del surco, se realizaron perforaciones a doble hilera para la siembra de 15 cm entre plantas y 40cm de separación entre plantas dando una densidad de 14 plantas por metro lineal, por los tanto dando una densidad de 14 plantas en cada metro por 100 metros por 55 surcos en una hectárea darían 77000 plantas por hectárea asimismo se instaló un sistema de riego por goteo de la cual se ocuparon 5500 metros de cinta de riego de 5/8 calibre la marca toro con una distancia de 7500 ft, para prevenir la maleza se utilizó el plástico blanco, con la finalidad de prever maleza, ahuyentar insectos e incrementar la fotosíntesis, de la marca Agro Bolder de 1.20 de ancho x 915 metros de largo con un calibre de 90 liso.

El agua de riego con el que se regaron las plantas fue del pozo de las instalaciones del CIQA Bayer.

3.2 Ubicación del experimento.

Este experimento fue realizado en los campos experimentales de las instalaciones del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA). Se encuentra ubicada en Blvd. Enrique Reyna Hermosillo #140, Colonia San José de los Cerritos, C.P 25294 en el municipio de Saltillo, Estado de Coahuila, México.

3.3 Climatología del lugar de experimento.

Se caracteriza por una fuerte variación en su temperatura que presenta más de 14°C de diferencia entre el mes más cálido que es junio al mes más frío, enero. Las escasas precipitaciones pluviales, que promedian anualmente entre 100 a 400 mm, se presentan en su gran mayoría en verano, manifestándose en escasos aguaceros y es relativamente común la condición de canícula o sequía. El porcentaje de lluvias invernales es entre 5 y 10.2 %. La temperatura media anual es de unos 18 a 22° C. La media mensual más alta llega a rebasar los 30°C y la mínima es menor a 12°C.

3.4 Proceso del experimento:

Etapa 1. Preparación del terreno.

A principios del mes de abril del año 2025 se comenzaron a realizar las labores del preparado de la tierra, como son barbecho, rastreo, las realizaciones de las camas, así como el preparado del acolchado y cintilla, así como también se calcularon las distancias que llevaría cada planta para realizar los hoyos en donde se colocó la semilla.

Etapa 2. Siembra

El 25 de Abril del 2025 se realizó la siembra del maíz en las instalaciones del CIQA, se optó por sembrar la semilla de la formuladora de Bayer de la variedad de ASGROW 7573 elotero. La siembra se realizó a mano, tirando una semilla por hoyo realizado en el surco.

Etapa 3. Tratamientos

Este experimento se realizó bajo un diseño de bloques completos al azar que fueron diferenciadas en la parcela con 7 cartulinas de diferentes colores debido a que se evaluaron 6 tratamientos y 1 testigo, de cada una se tomaron en cuenta 4 unidades o plantas experimentales.

Los tratamientos fueron preparados a base de Quitosán (Cs) de la marca Marine Chemicals con un peso molecular de 200,000 g/mol, con sulfato de zinc (Zn) de la marca Fermont del proveedor Productos Químicos Monterrey PQM.

Tabla 1. Tratamientos aplicados a las plantas de maíz.

Tratamiento	Descripción
T0	Testigo
T1	Quitosan (CS)
T2	Zinc (Zn)
T3	Quitosan zinc (CS-Zn)
T4	Zinc quelatado (ZnQ)
T5	Quitosan Zinc Quelatado (CS-ZnQ)

La aplicación de los tratamientos se fue realizando en un intervalo de 7-15 días, dando un total de 5 aplicaciones por cada bloque comenzando el 12 de mayo del 2025 a los 17 dds y terminando la última el día 18 de julio de 2025 a los 122 días, estas aplicaciones se realizaron de manera foliar, aplicándolo sobre el haz de las hojas con atomizadores, donde el número de disparos del rociador dependía del tamaño de la planta, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 2. Cantidad de aplicación de los tratamientos aplicados a las plantas de maíz.

Aplicación	Fecha de aplicación	Cantidad (mL/planta)
1°	12 de Mayo del 2025	5
2°	20 de Mayo del 2025	13
3°	4 de Junio del 2025	18
4°	18 de Junio del 2025	20
5°	2 de Julio del 2025	23

Etapa 4. Manejo agronómico.

Riegos. Se realizaron dependiendo la lámina de riego, en el cultivo se colocaron tensiómetros para así saber exactamente cuándo se requería regar, con el fin de no sobrerregar el suelo. El primer riego se realizó después de la siembra el 26 de abril del

2025, dando un total de 39 riegos, el tiempo de riego dependía del tamaño de la planta y de la humedad del suelo, dando un total de 104 hrs de riego. La cinta de riego que se utilizó de la marca Toro con un gasto por emisor de .30 litros por hora, el gasto por cada hora de la unidad experimental fue de 216 litros y el gasto total de agua 22464 litros en el área experimental

Limpieza de las camas. Las limpiezas de las camas se realizaban cada que las camas comenzaban a tener maleza que afectara el crecimiento de la planta de maíz, estas se realizaban con deshierbe a mano y así evitar aplicar algún químico. Estas limpiezas se realizaron a los 19 días después de la siembra, y se tomaron 2 días para llevarlo a cabo, los cuales fueron el 14 y el 16 de mayo del 2025.

Fertilizaciones. Se realizaron fertilizaciones inyectables al agua de riego con los siguientes: La fertilización consto: de Fosfato Monoamónico, 11-52-0, Sulfato de Potasio (0-0-50 + 18S), Sulfato de Zinc (35% Zn), Sulfato de Amonio (21-0-0 + 24S), Cloruro de Potasio (0-0-60), Bioestimulante a base de aminoácidos, Quelato de Zinc EDTA, Quelato de Hierro EDTA o EDDHA, Fertilizante foliar balanceado con alto contenido de Boro y Molibdeno para mejorar la viabilidad del polen, Quelato de Manganeso (0.5 kg/ha), elementos menores como el Grofol, estos se agregaban poco a poco; es decir, poca cantidad cada día en los riegos para evitar que se lixiviaran los productos y no los pudiera asimilar la planta.

Aplicaciones de insecticidas. El cultivo se vio afectado por el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), por lo cual se tuvieron que realizar en total dos controles químicos hacia esta plaga, utilizando el ingrediente activo de flubendiamide o conocido por su nombre comercial como Belt de la casa comercial de Bayer. La aplicación se realizó en mochilas de aspersión de 20 litros con la dosis que se recomienda en la etiqueta.

Etapa 5. Cosecha del maíz. La cosecha del maíz se realizó en las fechas del 25 al 26 de agosto de 2025, esta se realizó a mano, quitando cada fruto de cada planta y separándolos según correspondía su tratamiento, el desgranado del maíz de igual forma fue hecho a mano con la finalidad de tener un resultado más exacto al momento de pesar y verificar su rendimiento.

3.5 Evaluación de variedades morfológicas

Durante la investigación se realizaron varios muestreos a los 34, 51, 71 y 113 dds, evaluando lo siguiente.

Diámetro del tallo. Se utilizó un vernier original de la marca Neikon, dándonos variables en mm, la medición se tomaba a 2 cm de la base del tallo y se tomaban por ambos lados tanto polar como ecuatorial.

Unidades SPAD. El equipo usado es un medidor de clorofila, cuyo modelo es el SPAD 502 Minolta. Este es un instrumento portátil que con solo colocarlo en la hoja nos indica la clorofila de forma rápida en unidades SPAD.

Altura de la planta. Se determinó con una cinta métrica de la marca Trupper con 10 m de largo, se medía desde la base del tallo hasta la punta apical, los datos se registraron en cm.

Número de hojas. El conteo de las hojas se hizo de forma manual y visual, se contaba desde la hoja que se encontraba cerca del tallo hasta la última hoja desarrollada.

Área foliar. El equipo que nos ayudó a medir el área foliar fue el Medidor de área foliar marca LICOR modelo 3100, que funciona escaneando las hojas y calcula su superficie utilizando tecnología óptica o láser.

Peso fresco del tallo. De cada tratamiento se tomaron 4 plantas con doble repetición dando un total de 8 plantas por tratamiento, esas plantas se llevaron al laboratorio de postcosecha en las instalaciones del CIQA para ahí cortar en tallo en trozos y ser pesados en una báscula en donde nos dio los datos en gramos, de ahí los tallos fueron colocados en bolsas de papel.

Peso seco del tallo. Los tallos que se encontraban en bolsas de papel fueron llevados a la cámara de secado que se encuentra en el CIQA a una temperatura de 65°C, se dejaron unos 6-7 días hasta que se encontraran totalmente secos, para registrar el peso en gramos.

Peso fresco de la hoja. De las 8 plantas sacadas del campo se les quitaron las hojas para pesarlas en una báscula y posteriormente se colocaron en bolsas de papel debidamente etiquetadas.

Peso seco de la hoja. Las bolsas que contenían las hojas fueron llevadas a la cámara de secado a una temperatura de 65°C y se dejaron aproximadamente unos 4-5 días de secado y luego se pesaron y se anotó el dato de peso seco.

°Brix del elote. Para medir los °Brix se desgrano un elote, se presionaron los granos y se sacó una muestra del jugo, que se colocó en el refractómetro en el que se observó la lectura a través del ocular o pantalla digital, este dato nos indica la concentración de sacarosa en un líquido basándose en el índice de refracción.

Número de frutos. Al instante en que se sustrajeron las plantas del suelo ahí mismo se contaron y se cortaron los frutos que tenía cada planta y se registraron en la tabla de toma de datos.

Peso fresco del fruto. Se tomaron los elotes ya despegados de tallo para quitarles las hojas que los cubren y así poder pesarlos y obtener datos en gramos; después se etiquetaron los elotes y se pusieron en bolsas para la evaluación de otros datos.

3.6 Evaluación de las variables bioquímicas:

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

Hacer el cálculo de la vitamina C con la siguiente fórmula

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

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

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

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

Posteriormente, se colocan 250 μ L del reactivo de Bradford en cada pocillo de la microplaca, por triplicado para cada punto de la curva. Se añaden 5 μ L de la solución correspondiente a cada estándar, mientras que para el blanco se agregan 5 μ L del regulador de fosfatos 100 mM. La microplaca se deja incubar durante quince minutos a temperatura ambiente y protegida de la luz, periodo en el cual la reacción permanece estable. Finalmente, la lectura se realiza en un lector de placas a una longitud de onda de 595 nm, obteniéndose así los datos necesarios para la construcción de la curva estándar y la determinación de las concentraciones de proteína en las muestras analizadas.

Lignina. Para la determinación de la lignina en hojas, tallos y granos, se utilizó el método TAPPI 222, con este método se logró determinar la lignina insoluble que consistía en pesar 0.250 gramos de una muestra y agregarle 4 ml de ácido sulfúrico al 72 % y 96 ml de agua destilada, esta solución se llevó en agitación por 2 horas y después a 4 horas de ebullición manteniendo un volumen constante de 100 mL mediante la adición de agua caliente. Después de pasar el tiempo se prosiguió a llevarla a filtración, el sólido se lavó con agua destilada caliente para después secarla en un horno a 40 °C para su determinación gravimétrica.

De igual forma se determinó la lignina soluble con el método propuesto por Ehrman, midiendo la absorbancia en 205 nm, del hidrolizado filtrado que salió de la filtración de la lignina insoluble, se utilizó como blanco la solución de H₂SO₄ al 3% (v/v) utilizada en la determinación de lignina insoluble. Se calculó según la fórmula:

$$\text{LAS (\% sobre fibra seca)} = (A \cdot V \cdot d) / (a \cdot m \cdot 10)$$

Dónde: A.-absorbancia a 205 nm, V.-volumen de muestra, d.-Factor de dilución (volumen total tras diluir/volumen de la muestra original), a.-absortividad de la lignina soluble

(coeficiente de extinción) a 110 L/(g*cm), m.-peso de muestra en gramos y 10.-factor de conversión para obtener porcentajes (%).

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

3.7 Diseño experimental.

Se usó un diseño experimental de bloques al azar con 6 tratamientos en el campo experimental, los tratamientos se colocaron al azar, con 4 repeticiones. Después de que cada bloque estuviera marcado con su debido tratamiento, se realizaron las aplicaciones.

3.8 Análisis estadístico de datos.

Para el análisis estadístico se utilizaron dos programas que fueron Excel, INFOSTAT 2017, en donde Excel sirvió para realizar la toma de datos como son: diámetro de tallos, altura, pesos secos y frescos de la planta, etc. como también nos ayudó a graficar los datos obtenidos en INFOSTAT y realizar las tablas de control de gastos durante el ciclo del cultivo del maíz. Por otro lado, el programa INFOSTAT se realizaban los métodos estadísticos que se usó la prueba LSD.

3. 9 Evaluación de los costos de producción.

Se realizó un análisis de costos de un proyecto específico, en este caso tomando en cuenta el proyecto de la aplicación de bioinsumos de quitosán, zinc y zinc quelatado en un cultivo de maíz, con la finalidad de realizar un costo-beneficio para evaluar la factibilidad financiera del proyecto.

Los datos de costos se fueron tomando durante todo el proceso del cultivo, comenzando a partir del preparado de la tierra en la parcela que fue designada para realizar el proyecto, y culminaron con la cosecha y retiro de plásticos, que se utilizaron en dicha siembra.

Los datos que fueron tomados en cuenta para realizar los cálculos de costos fueron los siguientes: costos de preparación del cultivo, acolchado y cintilla para el sistema de riego, fertilizantes, el costo de los tratamientos que se evaluaron, controladores químicos que se utilizaron para combatir plagas, mano de obra utilizada durante todo el proceso, para la cosecha y levantamiento de plásticos utilizados, así como también, los gastos indirectos que llegaron a surgir.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Variables morfológicas del primer muestreo.

En la variable de Unidades Spad que se observa en la **Tabla 3**, el T4 (zinc Quelatado) incremento un 21.64% con respecto al T0 (testigo), siendo uno de los mejores tratamientos con mejor contenido de clorofila, la variable altura el T3 (CS-Zn) mostro un mejor resultado obteniendo un 1.25% de incremento comparado al T0 (testigo), con respecto a la variable diámetro la figura muestra que el T3 (CS-Zn) mostró mejores resultados en el diámetro del tallo, mientras que los tratamientos T4 (ZnQ) y T5 (CS-ZnQ) quedaron con cantidades debajo del T0 (testigo), en las variables obtenidas en peso de tallos el tratamientos que mejor resultado dio sobre encima del testigo fue el T3 (CS-Zn), en las variables de las hojas como son, área foliar, pesos secos y frescos el tratamiento que más sobresalió fue el T3 (CS-Zn) mientras tanto el tratamiento T5 (CS-ZnQ) quedo con datos muy bajos con respecto al T0 (testigo).

Tratamiento	U. Spad	Altura (cm)	Diámetro		Tallo		Hojas			
			Polar	Ecuatorial	Peso fresco (g)	Peso seco (g)	Área foliar	Número de hojas	Peso fresco (g)	Peso seco (g)
Testigo	53.61 B	155.63 AB	35.41 A	31.65 A	537.27 A	59.13 A	6810.10 BC	11.00 DE	232.91 BC	53.40 BC
CS	57.05 B	150.75 AB	35.39 A	31.01 AB	554.88 A	46.90 BC	7554.45 AB	12.88 AB	261.14 AB	60.73 AB
Zn	59.21 B	145.50 B	35.94 A	32.06 A	582.68 A	48.33 ABC	7581.05 AB	12.13 BC	270.31 A	59.36 AB
CS-Zn	55.73 B	156.88 A	35.71 A	32.09 A	590.19 A	58.48 AB	7958.97 A	13.38 A	268.74 A	63.08 A
Zn Q	75.25 A	126.63 C	33.44 AB	28.46 BC	406.85 B	48.49 ABC	6299.41 CD	12.25 BC	212.04 CD	55.78 ABC
CS-ZnQ	60.39 B	121.88 C	32.25 B	27.50 CD	345.42 BC	44.86 C	5638.83 D	11.75 CD	179.79 DE	51.51 C

Tabla 3. Variables morfológicas a los 34 días siembra en plantas tratadas con Cs, Zn, CSZn, ZnQ, CSZnQ, las diferentes letras indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD $p \leq 0.05$).

4.2 Variables morfológicas del segundo muestreo.

En la variable altura de la planta los resultados que se observan en la **Figura 1**, a los 113 días, el T4 (Zinc Quelatado) incrementó un 0.9% con respecto al T0 (testigo), mientras que el T1 (Cs) disminuyó un 7.4% respecto al T0 (testigo), lo que indica que el Cs no tuvo efecto sobre el crecimiento de la planta. Este resultado no concuerda con estudios en donde Guan y colaboradores mencionan que la preparación de semillas con quitosán produce un mayor crecimiento en plántulas tratadas en comparación con semillas que no fueron tratadas.

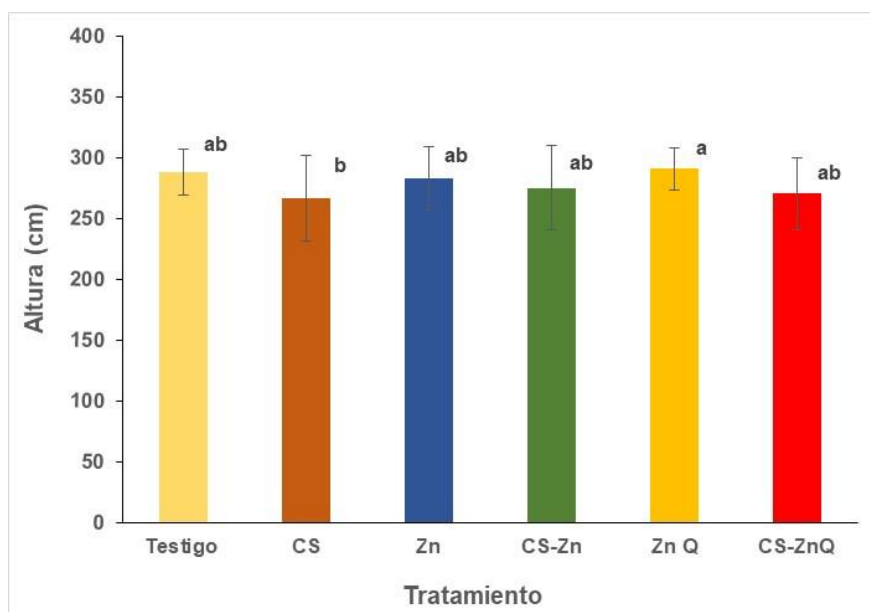


Figura 1. Altura de la planta a los 113 días de siembra en plantas tratadas vía foliar con Cs, Zn, CSZn, ZnQ, CSZnQ, las diferentes letras indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD $p \leq 0.05$).

Al evaluar la variable diámetro del tallo (**Figura 2**), a los 113 días, el T4 (Zinc Quelatado) incrementó un 2.5% con respecto al T0 (testigo), además los demás tratamientos como son el T1 (Quitosán), T2 (Zinc) y T5 (Quitosán-Zinc quelatado) mostraron menor tamaño de diámetro comparado con el testigo. Estos resultados coinciden con un estudio de Tomás Rivas con aplicaciones de bioestimulante de quitosán en plantas de tomate, en donde sus resultados obtenidos de la variable diámetro no mostraron significancias entre los tratamientos en donde aplicó quitosán y la planta control. Mohsin ha demostrado que la aplicación de zinc vía foliar correlaciona positivamente con el diámetro y la longitud de la planta.

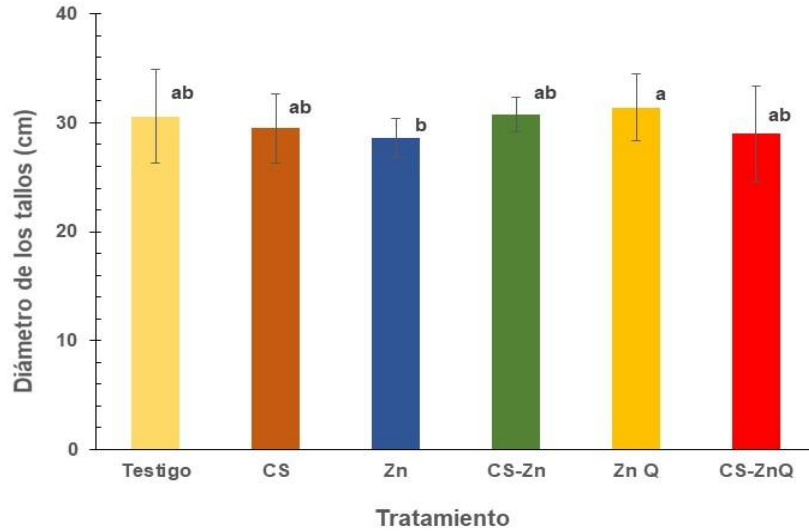


Figura 2. Diámetro del tallo de la planta a los 113 días de siembra en plantas tratadas vía foliar con Cs, Zn, CSZn, ZnQ, CSZnQ, las diferentes letras indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD $p \leq 0.05$).

Al evaluar el peso fresco del tallo (**Figura 3**), a los 113 días, el T1 (CS) obtuvo un mejor resultado sobre el testigo y demás tratamientos, mientras que los tratamientos que contemplaban aplicaciones de zinc vía foliar se mostraron significativos al testigo o con menor peso. La aplicación de quitosán a cormos de fresa (*Freesia Eckl. ex Klatt*) dio lugar a plantas con buen crecimiento, lo que determina parte del peso del tallo.

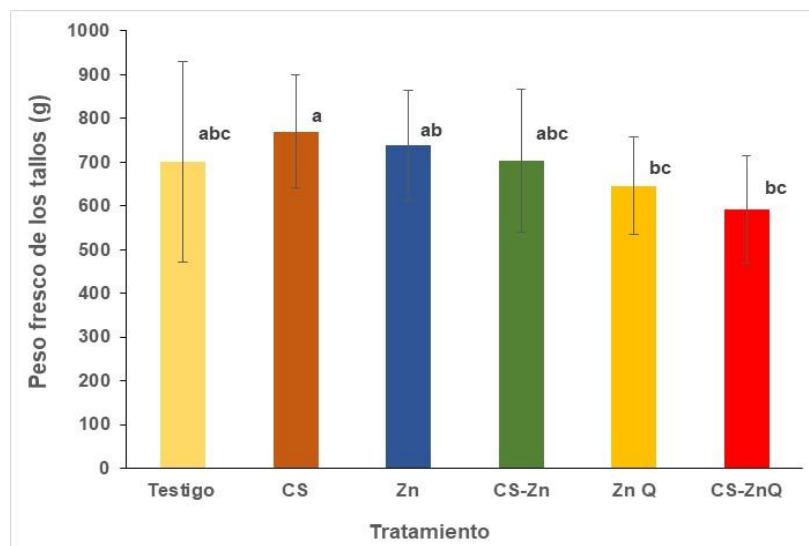


Figura 3. Peso fresco del tallo de la planta a los 113 días de siembra en plantas tratadas vía foliar con Cs, Zn, CSZn, ZnQ, CSZnQ, las diferentes letras indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD $p \leq 0.05$).

En la **Figura 4** se observa el peso seco de los tallos, en donde el T1 sigue obteniendo mayor peso a comparación con los demás tratamientos, así como se observa en la **Figura 3** en donde el peso del tallo se encontrada fresco, por otro lado, en los tratamientos en donde se realizó la combinación de quitosán con otro elemento (Zn-ZnQ), mostro que estos interfieren en el peso de los tallos y dejándolos por debajo del T0 (testigo).

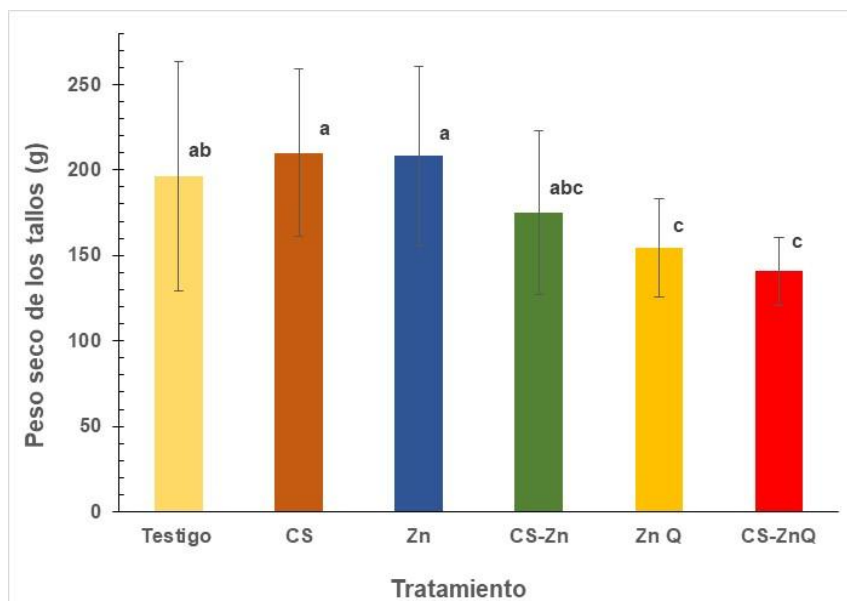


Figura 4. Peso seco del tallo de la planta a los 113 días de siembra en plantas tratadas con Cs, Zn, CSZn, ZnQ, CSZnQ, las diferentes letras indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD $p \leq 0.05$).

En la **Figura 5** se evaluó el área foliar de la hoja, mostrando todos los tratamientos por debajo del testigo, lo que nos indica que tienen un efecto negativo sobre su desarrollo foliar. Este comportamiento es consistente con antecedentes que señalan que el quitosán puede llegar a inhibir el crecimiento vegetativo cuando se aplica en concentraciones elevadas sobre la hoja, respaldadas por Mancilla y Delgado (2025), que en dosis altas puede reducir el brote de hojas, bajo ciertas condiciones, y alterar la formación de estructuras foliares.

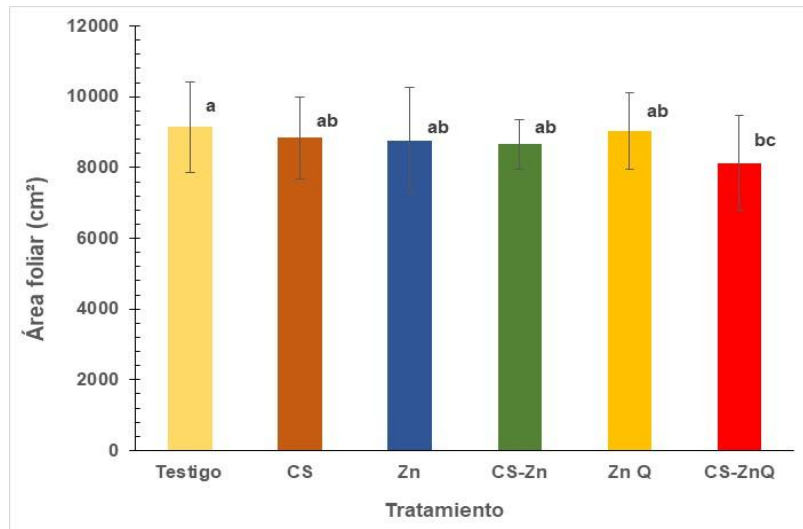


Figura 5. Área foliar de la planta a los 113 días de siembra en plantas tratadas con Cs, Zn, CSZn, ZnQ, CSZnQ, las diferentes letras indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD $p \leq 0.05$).

En la **Figura 6**, se evalúa el número de hojas en donde se detectó que las aplicaciones de T1 (CS), T2 (Zn), T3 (CSZn), T4 (ZnQ), T5 (CSZnQ), redujeron un 4.3%, 3.6%, 8.6%, 7.2% y 5% en comparación con el testigo, lo que genera una negatividad de estos tratamientos sobre el número de hojas.

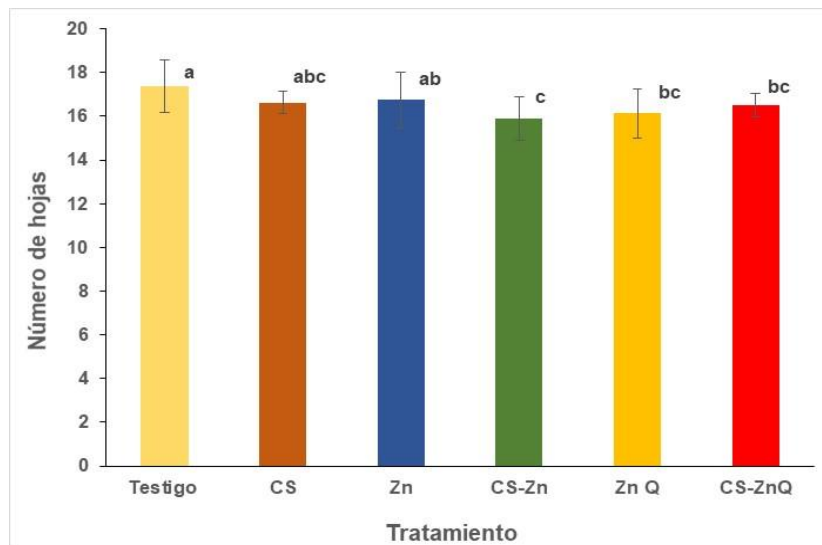


Figura 6. Número de hojas de la planta a los 113 días siembra en plantas tratadas con Cs, Zn, CSZn, ZnQ, CSZnQ, las diferentes letras indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD $p \leq 0.05$).

En las variables peso fresco de la hoja (**Figura 7**) y peso seco de la hoja (**Figura 8**) no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos comparándolos con el testigo, esto podría asociarse con la cantidad que se utilizó en la aplicación vía foliar que afecto la biomasa del maíz. En estudios realizados por Massimo Malerba, explica que la aplicación de quitosán en el suelo aumenta el área foliar de la planta *Capsicum annum L.*, (Massimo Malerba 2016) por lo que la mejor manera de aplicación sin alterar la biomasa, sería realizando la aplicación por suelo.

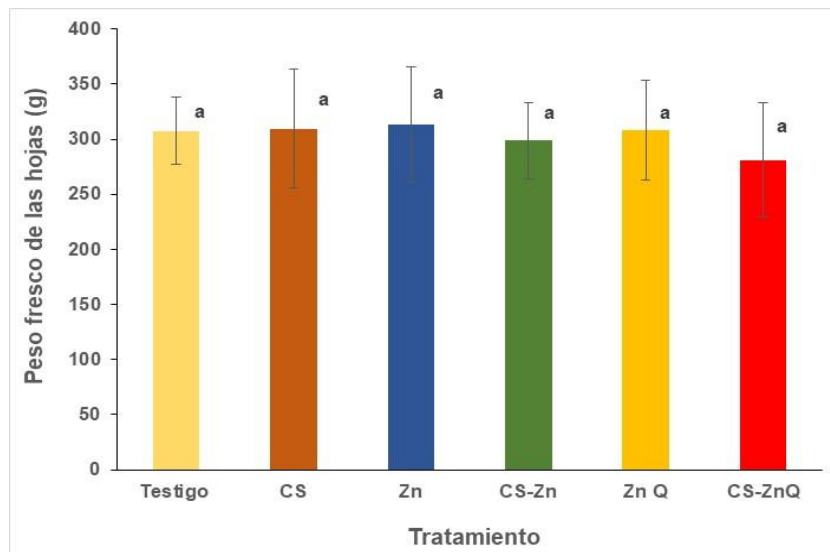


Figura 7. Peso fresco de las hojas de la planta a los 113 días de siembra en plantas tratadas con Cs, Zn, CSZn, ZnQ, CSZnQ, las diferentes letras indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD $p \leq 0.05$).

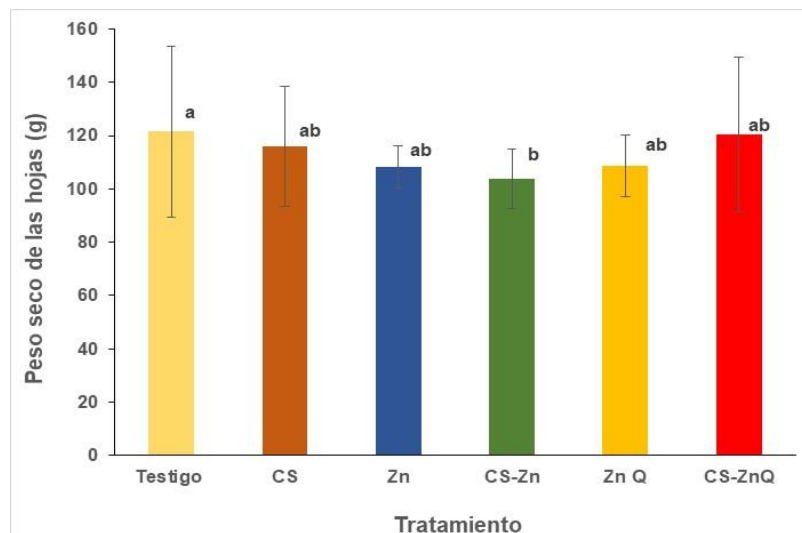


Figura 8. Peso seco de las hojas de la planta a los 113 días de siembra en plantas tratadas con Cs, Zn, CSZn, ZnQ, CSZnQ, las diferentes letras indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD $p \leq 0.05$).

En la variable número de frutos (**Figura 9**) se observa que el T5 (CSZnQ) tiene un 20% de mayor cantidad de frutos con respecto al T0 (testigo), mientras que el T2 y T4 se mantienen significativamente constantes con el testigo, pero al comparar el peso fresco de los frutos (**Figura 10**), el T2 (Zn) tiene un 11.3% de más peso a comparación del T5 (CSZnQ), esto quiere decir que sin importar la cantidad de frutos que tengan, el peso genera una diferencia entre los ellos.

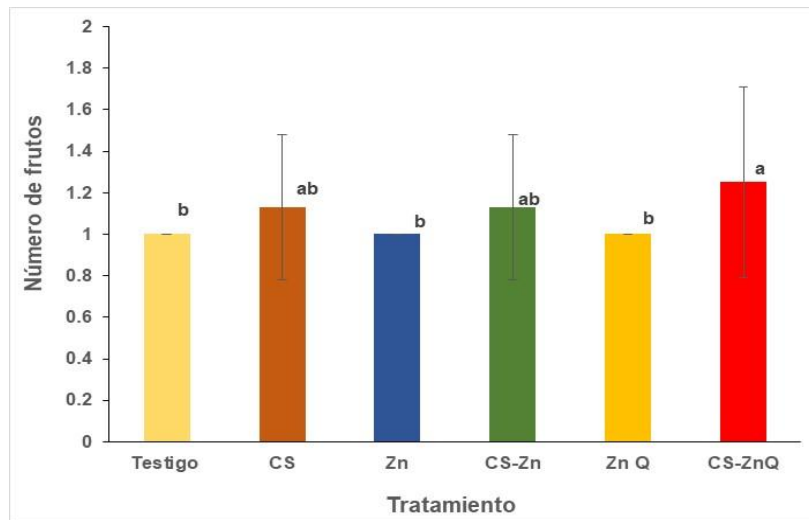


Figura 9. Número de frutos a los 113 días de siembra en plantas tratadas con Cs, Zn, CSZn, ZnQ, CSZnQ, las diferentes letras indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD $p \leq 0.05$).

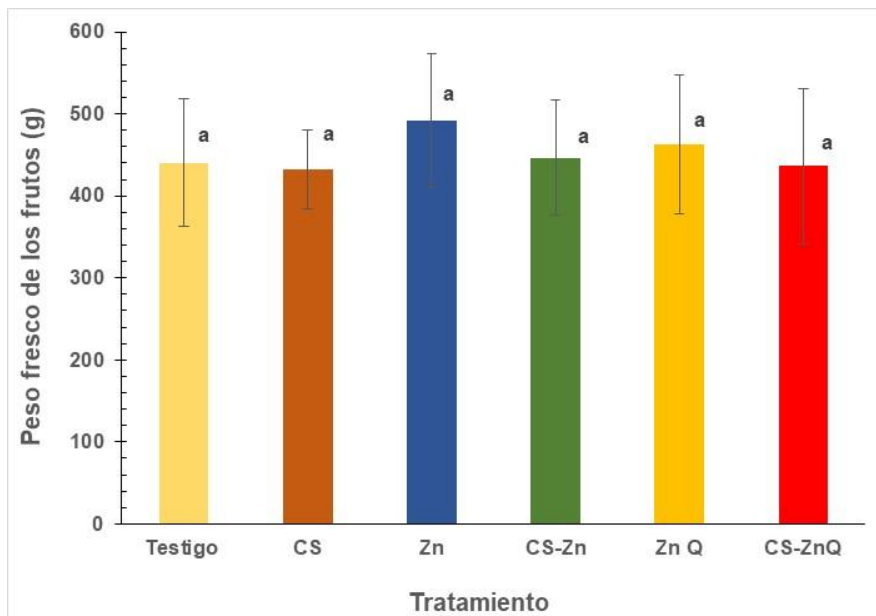


Figura 10. Efecto de la aplicación foliar de los tratamientos de CS, Zn, CSZn, ZnQ, CSZnQ al maíz a los 113 días en la variable peso fresco de los frutos (elotes), (LSD $p \leq 0.05$).

Al evaluar el rendimiento (**Figura 11**) entre los tratamientos se puede observar que el T1 (CS) aumentó un 4%, el T2 (Zn) aumentó un 8%, el T5 (CS-ZnQ) aumentó un 2%, todos con respecto al T0 (testigo), por otro lado, los tratamientos T3 (CS-Zn) y T4 (ZnQ) redujeron el porcentaje de rendimiento con respecto al testigo. Algunos estudios demuestran que el efecto de aplicación vía foliar de quitosán con micronutrientes, revela que las plantas que obtuvieron mejor resultado en rendimiento de granos fueron con zinc (Dimkpa et al., 2016).

Dominic Mutambu (2023) realizó un enfoque estándar para un metaanálisis comparando rendimientos de maíz con aplicaciones de zinc, en este estudio detalla que el rendimiento de maíz varió de $1.02 t ha^{-1}$ y de $0,83$ a $12,49 t ha^{-1}$ en el tratamiento con Zn y en el control.

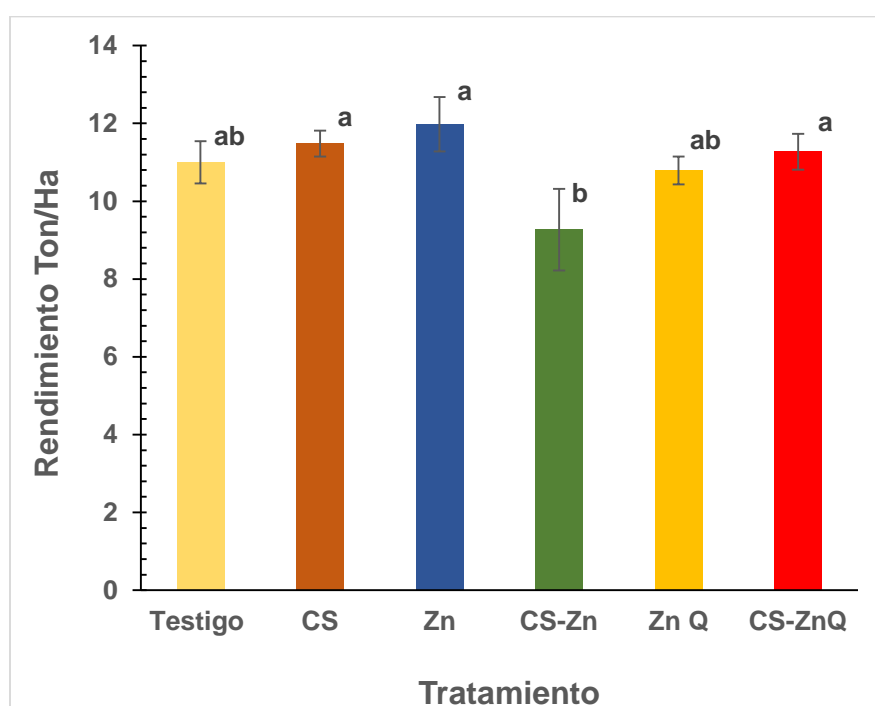


Figura 11. Rendimiento en plantas tratadas con Cs, Zn, CSZn, ZnQ, CSZnQ, las diferentes letras indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD $p \leq 0.05$).

4.3 Variedades bioquímicas de la planta.

En la **figura 12** de la variable contenido de vitamina C no se observan diferencias significativas entre tratamientos, en la mayoría de los tratamientos la vitamina C se encuentra en rangos de 5 – 6 mg/100 g, excepto el tratamiento T5 (CS-ZnQ) que se

encuentra por debajo del tratamiento testigo. Estos resultados coinciden con estudios en donde determinan que el quitosán puede llegar a reducir o a mantener estable el contenido de vitamina C en la planta en concentraciones alteradas. Hernández y demás colaboradores (2022) señalaron que una dosis alta de quitosano redujo significativamente el contenido de vitamina C en plantas de tomate.

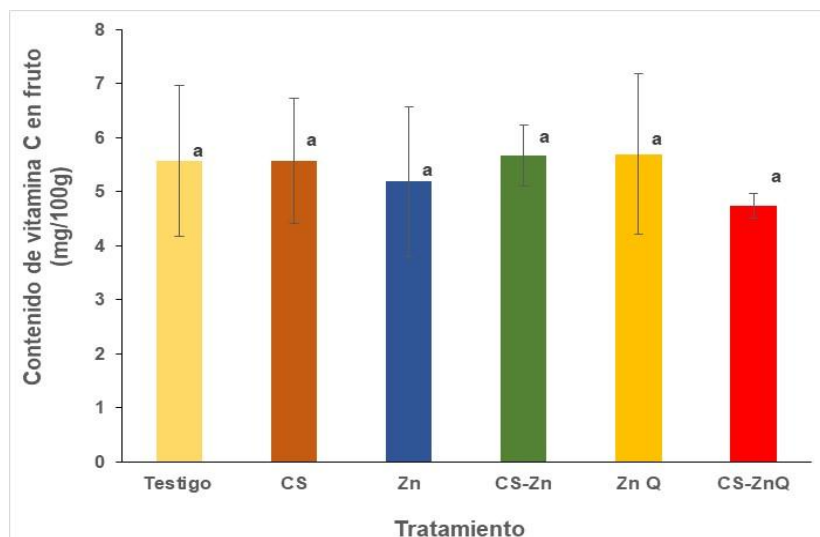


Figura 12. Efecto de la aplicación de los tratamientos Cs, Zn, CSZn, ZnQ, CSZnQ, en plantas de maíz en la variable contenido de vitamina C.

En la variable contenido de proteína (**Figura 13**) se observan diferencias significativas entre los tratamientos, el T3 (CS-Zn) resulta ser el que contiene un 2% de mayor contenido de proteínas con respecto al testigo, mientras que el T5 (CS-ZnQ) tiene un 33% de disminución respecto al testigo. Por lo que los estudios han revelado que el quitosano no altera el contenido de proteínas en el maíz, solo actúa en enlaces físicos.

Asimismo, Liu Feng Wang et al., (2025), demuestran que al mezclar quitosano con maíz, no aparecen nuevos picos. Comprobando que el quitosano no rompe ni modifica los enlaces de la proteína.

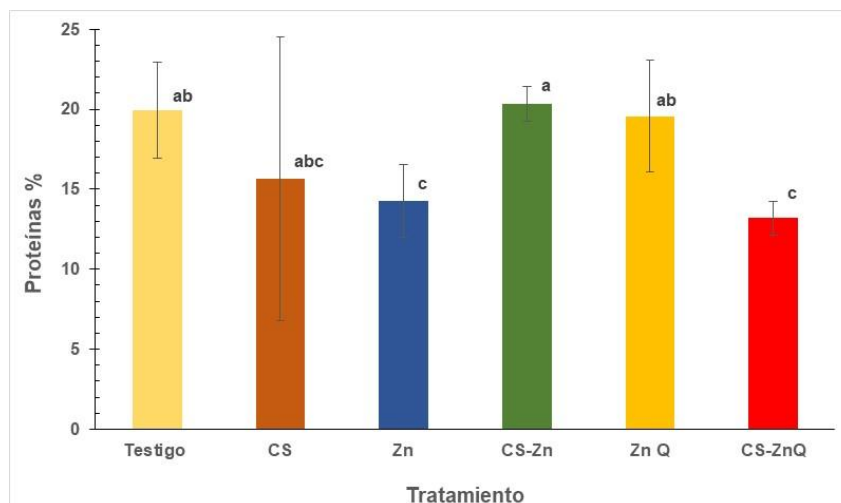


Figura 13. Efecto de la aplicación de los tratamientos Cs, Zn, CSZn, ZnQ, CSZnQ, en plantas de maíz en la variable contenido de proteínas.

En la variable lignina total de la hoja que se puede observar en la **Figura 14** que los tratamientos en donde se aplicó ZnQ demuestran que aumenta significativamente este contenido con respecto al testigo, aumentando un promedio del 30% en donde estudios han demostrado que la adición de zinc en el cultivo de maíz altera positivamente en la planta directamente en las enzimas encargadas de consolidar la lignina.

Por otro lado, el contenido de lignina en el tallo (**Figura 15**) muestra que el quitosán obtuvo un 6.7% de aumento con respecto al testigo debido a que estudios realizados comentan que el quitosán promueve engrosamiento en las paredes celulares del tallo si estos se encuentran bajo estrés, lo que puede hacer que la lignina aumente.

En la variable lignina total en el grano de maíz (**Figura 16**) se observa que el tratamiento T2 (Zn), T3 (Cs-Zn), T4 (ZnQ) y T5 (Cs-ZnQ), obtuvieron un incremento significativo respecto al testigo, mientras que el T1 (Cs) su contenido está por debajo del testigo. Esto indica que la adición de zinc en la planta genera que los contenidos de lignina aumenten mientras que quitosán lo mantiene dentro de sus límites.

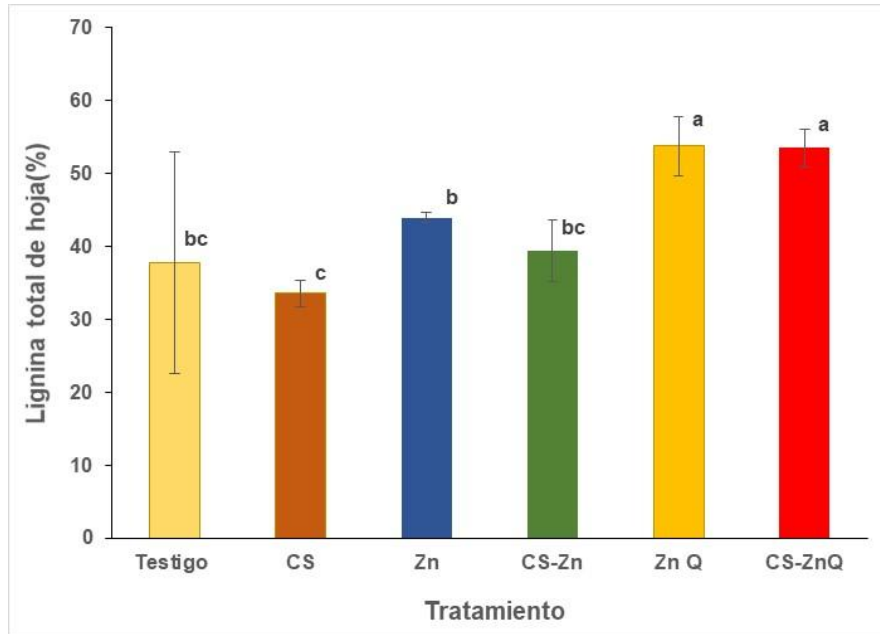


Figura 14. Efecto de la aplicación de los tratamientos Cs, Zn, CSZn, ZnQ, CSZnQ, en plantas de maíz en la variable contenido de lignina en hoja.

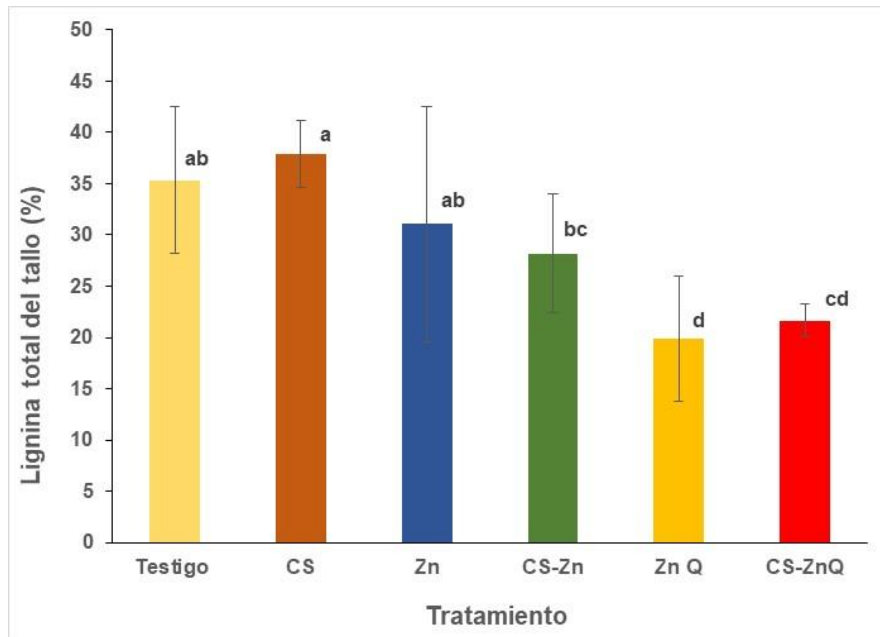


Figura 15. Efecto de la aplicación de los tratamientos Cs, Zn, CSZn, ZnQ, CSZnQ, en plantas de maíz en la variable contenido de lignina en tallo.

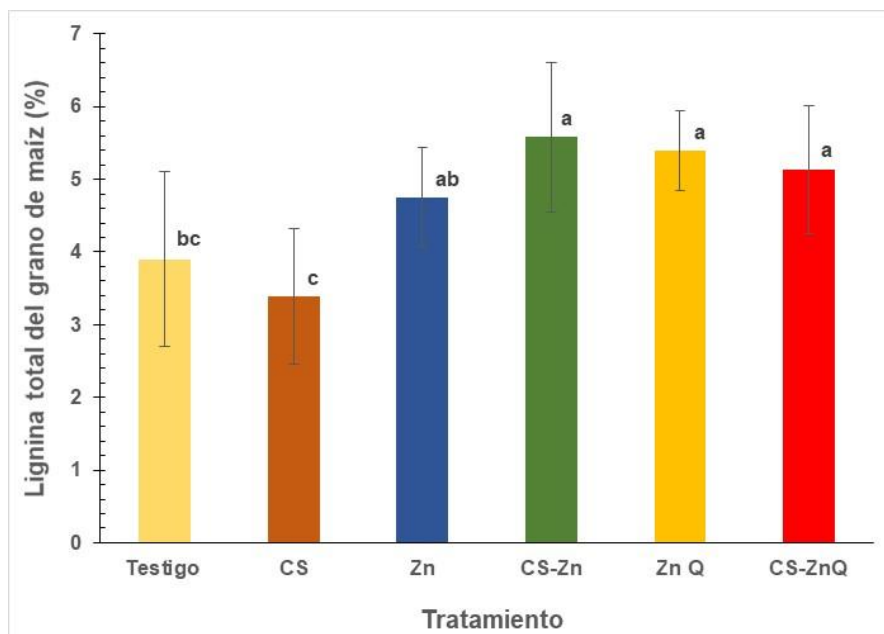


Figura 16. Efecto de la aplicación de los tratamientos Cs, Zn, CSZn, ZnQ, CSZnQ, en plantas de maíz en la variable contenido de lignina en grano.

En el análisis de minerales (**Tabla 4**) muestra que los contenidos de Nitrógeno (N) de los tratamientos se encuentran por encima del tratamiento testigo, al igual que los contenidos de potasio (K) y calcio (Ca) donde los resultados que se obtuvieron están dentro de los parámetros que muestra el tratamiento testigo por lo que no demuestran significancia entre ellos, en comparación con el contenido de molibdeno (Mo) que muestra que el tratamiento que obtuvo un 4 % más alto es el T2 (Zn) en comparación con el testigo, aun así los demás tratamientos obtuvieron contenidos más altos que el testigo. En los contenidos de manganeso (Mn) se observa que el T3 (CS-Zn) aumentó significativamente sobre los demás tratamientos y un 38% sobre el testigo. En los tratamientos se observa que el contenido de hierro (Fe) en la planta se encuentra por encima del tratamiento testigo, excepto el T3 (CS-Zn) que tiene una disminución del 45%, y el T5 (CS-ZnQ) con 32% con respecto al testigo. El contenido de zinc (Zn) en la planta muestra que el T2 (Zn) en donde se aplicó mayor contenido, resulta ser el valor más elevado que se obtiene con un 67% con respecto al testigo, mientras que el T5 (CS-ZnQ) resulta tener niveles hasta el 73.8% más bajo que el testigo. Los contenidos de cobre (Cu) en los tratamientos T3 (CS-Zn) y T4 (ZnQ) tienen resultados más elevados con respecto al testigo, mientras que los tratamientos T1 (CS) y T2 (Zn) resultan estar por debajo.

Dominic Mutambu (2023) en un estudio realizado en donde comparó varios experimentos, dice que la respuesta promedio de la concentración de Zn fue del 25%, y ha demostrado

que el maíz responde al Zn si el contenido de Zn sin fertilizar no supera el umbral de suficiencia, reafirmada recientemente en Argentina.

Tabla 4. Efecto de la aplicación de los tratamientos Cs, Zn, CSZn, ZnQ, CSZnQ, en plantas de maíz en los análisis de minerales.

Tratamiento	N (mg g ⁻¹ PS)	K (mg g ⁻¹ PS)	Ca (mg g ⁻¹ PS)	Mo (mg g ⁻¹ PS)	Mn (mg g ⁻¹ PS)	Fe (µg g ⁻¹ PS)	Zn (µg g ⁻¹ PS)	Cu (µg g ⁻¹ P)
T0 (TESTIGO)	21,78 a	8.31 a	2,92 a	18.00 b	21.25 cd	151.25 a	21.00 bc	13 ab
T1 (Cs)	22.39 a	8.39 a	2,83 a	18.5 b	16.00 d	191.25 a	15.50 bcd	12.75 ab
T2 (Zn)	23.20 a	8,89 a	2,50 a	22.25 a	19.5 cd	199.25 a	65.0 a	12.5 ab
T3 (CS- Zn)	23.20 a	8,89 a	2,50 a	19.75 ab	34.25 a	83.5 a	26.5 b	16.00 a
T4 (Zn-Q)	22.39 a	8.39 a	2,83 a	20.00 ab	26.00 bc	207.00 a	13.5cd	16.75 a
T5 (CS- ZnQ)	22.39 a	8.39 a	2,83 a	19.00 ab	29.5 ab	102.5 a	5.5 d	13.00 ab

4.4 Estudio económico del maíz

La evaluación del estudio económico se inició determinando los costos que se realizaron durante todo el ciclo fenológico del cultivo de maíz, en una superficie de 1 ha, en la **Tabla 5** se observan los costos generales que se produjeron sin incluir el costo de los tratamientos, dando así un total de \$78,090.00 invertidos en 1 hectárea de siembra de maíz.

Tabla 5. Costos de producción por hectárea de maíz.

COSTOS DE PRODUCCIÓN POR HECTÁREA	
ACTIVIDAD	COSTO
Labores mecanizados	
Barbecho (mecanizado)	\$2,500
Rastra (mecanizado)	\$1,500
Formación de camas (mecanizado)	\$1,500
Cosecha (mecanizada)	\$2,600
Insumos	
Acolchado (5,500 mts a \$2.05 c/u)	\$11,275
Cintilla (5,550 mts a \$1.55 c/u)	\$8,602.50
Llaves de paso (55 a \$22)	\$1,210
Semilla	\$5,310
Fertilización	\$14,300
Insecticidas	\$1720
Agua (460 m ³ a \$5 el m ³)	\$2300

Energía eléctrica	\$5000
Mano de obra	
Colocación de sistema de riego (6 jornaleros a \$300 c/u)	\$1,800
Siembra (10 jornaleros a \$300 c/u)	\$3,000
Limpieza de camas	\$6,000
Otros (Riego, revisión de planta, etc)	\$12,600
TOTAL	\$78,090.00

En la **tabla 6** se muestra el total de los costos generados por cada uno de los tratamientos, así como también el costo por tonelada, basándose en el rendimiento que muestra la **Figura 11**, analizando la tabla se puede observar que a pesar de que el tratamiento 4 genera menor costo por hectárea, su rendimiento está por debajo del tratamiento testigo por lo que su costo por tonelada resulta ser más elevado que otros tratamientos.

El tratamiento 2 resulta ser más viable debido a que tiene un mejor rendimiento y su costo por tonelada resulta ser el más bajo en comparación con los demás tratamientos.

La Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2026) fija un precio de \$7,200 por tonelada para agricultores pequeños y en maíces híbridos, conociendo el precio y el rendimiento, se deduce que el ingreso total generado con el Tratamiento 1 (CS) es de \$82,656.00, y en el Tratamiento 2 (Zn) es de \$86,256.00.

La rentabilidad sobre la inversión (ROI) que mide el porcentaje de ganancia en relación con el dinero invertido en ambos tratamientos analizados resulta ser que en el Tratamiento 1 existe una rentabilidad del 2.3 % mientras que en el Tratamiento 2 es del 8%.

Tabla 6. Costo por tratamientos en una hectárea de maíz.

TRATAMIENTO	CANTIDAD POR HA	COSTO DE TRATAMIENTO	COSTO GENERAL	TOTAL	RENDIMIENTO TON/HA	COSTO POR TONELADA
T0		\$0	\$78,090	\$78,090	11	\$7,099
T1	2.2. Kg de Cs a \$1,224 c/u	\$2,692.80	\$78,090	\$80,782.80	11.48	\$7,037
T2	2.2. Kg de Zn a \$800 c/u	\$1,760	\$78,090	\$79,850	11.98	\$6,665
T3	2.2. Kg de Cs y 2.2 Kg de Zn	\$4,452.80	\$78,090	\$82,542.80	9.27	\$8,904
T4	2.2. Kg de ZnQ a \$580 c/u	\$1,276	\$78,090	\$79,366	10.79	\$7,356
T5	2.2. Kg de Cs y 2.2 Kg de ZnQ	\$3,968.80	\$78,090	\$82,058.80	11.27	\$7,281

V. CONCLUSIONES

- La aplicación de Quitosán (T1) obtiene mejores resultados en cuanto a las variables morfológicas evaluadas de peso fresco del tallo y peso seco del tallo a los 113 días después de la siembra.
- La aplicación de zinc (T2) obtiene un mejor resultado en la variable peso fresco del fruto y en el rendimiento del grano.
- El tratamiento con Zinc Quelatado (ZnQ) obtiene mejores resultados en las variables evaluadas de diámetro del tallo y peso fresco de la hoja a los 113 días después de la siembra.
- La combinación de Quitosán con Zinc Quelatado T5 (CS-ZnQ) obtuvo mejor resultado en el número de frutos.
- Las variables morfológicas evaluadas de número de hojas, área foliar y peso seco de la hoja, resultaron ser más bajas que el tratamiento testigo.
- En las variables bioquímicas el tratamiento 4 (ZnQ) obtuvo mejor contenido de vitamina C y contenido de lignina en la hoja. El tratamiento 3 (CS-Zn) obtuvo mejores respuestas en el contenido de proteínas y lignina del grano, mientras que la concentración de quitosán y el zinc redujeron dicho contenido. El tratamiento 1 (Cs) obtuvo mejores resultados en el contenido de lignina en el tallo.
- En el contenido de minerales el N aumentó en todos los tratamientos al igual que el K y el Mo. Con respecto al Ca todos los tratamientos redujeron con respecto al tratamiento testigo. En el Mn el quitosán combinado con zinc y los tratamientos con zinc quelatado aumentaron el contenido, mientras que en el Fe lo disminuyeron. El Zn aumentó en los tratamientos con aplicación de zinc y disminuyó en las aplicaciones con zinc quelatado.
- Aunque el tratamiento menos elevado en costos es el tratamiento 4, su rendimiento es muy poco, por lo que termina siendo más rentable el tratamiento 1 y 2.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aldrich, S. S. (1975). Modern corn production, 2nd ed. *Champaign, IL, USA, A & L Publications*.
- Bill, F. (2018). *Makes Way for Plant Biostimulants*. Obtenido de Growing Produce: <https://www.growingproduce.com/fruits/new-farm-bill-makes-way-for-plant-biostimulants/>
- CIMMYT. (1994). *Datos y tendencias mundiales del maíz 1993/94* . . Ciudad de México.
- Doares, S. S. (1995). Oligogalacturonides and Chitosan activate plant defensive genes through the octadecanoid pathway. 92.
- Dominic Mutambu, D. (2023). Maize grain yield and grain zinc concentration response to zinc. *Elsevier Ltd.*, 11.
- DURVAL DOURADO NETO, T. N. (6 de Abril de 2015). EL TRATAMIENTO DE SEMILLAS DE MAÍZ CON MICRONUTRIENTES. *Periodicos Ufersa* , págs. 86-92.
- FANCELLI, A. L., & DOURADO NETO. (2000). *Agropecuaria. A produção de milho*, 360.
- Guan, Y.-J. H.-J.-X. (2009). Seed priming with chitosan improves maize germination and seedling growth in relation to physiological changes under low temperature stress. *Zhejiang Univ. Sci. B* 10, 427–433.
- Hafeez, B. K. (2013). Role of zinc in plant nutrition: A review. *Am. J. Exp. Agric.* 3, 374. doi: 10.9734/AJEA/2013/2746
- Islas Gutiérrez, J., & Islas Gutiérrez, F. (2001). Rentabilidad de los cultivos de amaranto y maíz para grano en la zona Central de México. *Agricultura Técnica en México*, vol. 27, 143-151.

- Jardin, P. d. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and. by Elsevier B.V., 3-14.
- Kananont, N., Pichyangkura, R., Chanprame, S., Chadchawan, S., & Limpanavech, P. (2010). Chitosan specificity for the in vitro seed germination of two Dendrobium orchids. *Sci. Hortic.*, 239–247.
- Kato Y., T. A. (2009). Origen y diversificación del maíz, una revisión analítica. *Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México*,, 116.
- Lee, S. C. (1999). Oligogalacturonic acid and chitosan reduce stomatal aperture by inducing the evolution of reactive oxygen species from guard cells of tomato and *Commelina communis*. *Plant Physiol.* 121, 147–152.
- Monke, E. A. (10 de Enero de 1989). *The policy analysis matrix for agricultural development*. Obtenido de <http://web.stanford.edu/group/FRI/indonesia/documents/pambook/pambook.pdf>
- N. K. Fageria, M. P. (2008). Foliar Fertilization of Crop Plants. *Journal of Plant Nutrition*, 15-46.
- Paliwal R., L. (2001). El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). *Roma, Italia.*, 376.
- Rafaella, M. M. (2016). Chitosan Effects on Plant Systems. *Molecular Scienses*, 3-15.
- Reeves, R. &. (1942). A proposed taxonomic change in the tribe Maydeae. *Am. J. Bot*, 815-817.
- Rinaudo, M. (2006). Chitin and chitosan: Properties and applications. *Prog. Polym.*, 603–632.

Rodríguez G., J., & García M., y. G. (1999). Rentabilidad y competitividad del arroz en cinco estados de Méxic. *Agrociencia (México)* 33, 235-242.

SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2017. Disponible en: [https:// www.gob.mx/ siap](https://www.gob.mx/siap)

Shehata, S., Fawzy, Z., & El-Ramady, H. (2012). Response of cucumber plants to foliar application of chitosan and yeast under greenhouse conditions. *Aust. J. Basic Appl.*, 63–71.

TOMAZELA, A. L. (2006). Doses de nitrogênio e fontes de Cu e Mn suplementar sobre a severidade da ferrugem e atributos morfológicos do milho. . *Revista Brasileira de Milho e Sorgo, Sete Lagoas*, 192-201.

YAMADA, T. (2004). Deficiências de micronutrientes. *informações Agronômicas* 105, 12.

Yang, M. L. (2020). A high activity zinc transporter OsZIP9 mediates zinc uptake in rice. *Plant Journal* 103, 1695–1709. doi: 10.1111/tpj.14855.

Zambrano, C. E. (2021). COSTOS DE PRODUCCIÓN DURANTE LA PANDEMIA Y SU INCIDENCIA EN LA PRODUCTIVIDAD DEL CULTIVO DE MAIZ. *Published by: Edwards Deming Institute*, 3-17.

Zeng, H. Z. (2021). Integrated analyses of miRNAome and transcriptome reveal zinc deficiency responses in rice seedlings. . *BMC Plant Biol.* 19 , 1-18. doi: 10.1186/s12870-019-2203-2

Zhang, Y. X. (2012). Vacuolar membranetransporters OsVIT1 and OsVIT2 modulate iron translocation between flag leaves and seeds in rice. *Plant J.* 72, 400–410.