

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Comportamiento Agronómico de la Fresa Cultivada en Sistema NFT y
Suplementada con Nps de Yodo

Por:

JUAN PABLO VELASCO LEPE

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México,

Junio, 2025

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMIA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Comportamiento Agronómico de la Fresa Cultivada en Sistema NFT y
Suplementada con Nps de Yodo

Por:

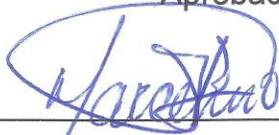
JUAN PABLO VELASCO LEPE

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente
Asesor Principal



Dra. Rocío Maricela Peralta Manjarrez
Asesor Principal Externo



Dr. Antonio Juárez Maldonado
Coasesor



Ing. Gerardo Rodríguez Galindo
Coasesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2025

DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

DERECHO 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.

Atentamente.

Alma Terra Mater



Juan Pablo Velasco Lepe

Autor Principal



Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente

Asesor Principal

DEDICATORIAS

Dedico este trabajo con todo mi amor a mis padres, **Marina Lepe y José Velasco**, por ser el pilar de mi vida, por enseñarme con su ejemplo, por su amor incondicional y por nunca dejarme rendir.

A mis hermanos **Cristóbal, Ana Cristina y Ana Paula**, por su compañía, cariño y por estar siempre presentes, aún en la distancia. Cada uno, a su manera, ha sido una fuente de inspiración y fortaleza para mí.

Y, con todo mi corazón, a mi amada **Arianne Guiselle Chávez**, por creer en mí incluso cuando yo dudaba, por su amor, su espera, paciencia y apoyo incondicional. Esta meta también es tuya.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco profundamente a **Dios** por haberme guiado hasta esta carrera que hoy culmino, por brindarme la oportunidad de formarme en una universidad tan maravillosa y por rodearme de personas tan valiosas a lo largo del camino. También le agradezco por la salud, la paz y la fortaleza que me ha dado en cada etapa de este proceso.

A mis **padres**, Marina Lepe y José Velasco, les agradezco profundamente por darme la vida, por formar en mí los valores que me definen, por sus sabios consejos y también por sus regaños, que siempre fueron muestra de su amor y preocupación.

A mis **hermanos**, Cristóbal, por ser siempre un ejemplo a seguir y por brindarme su apoyo incondicional; Ana Cristina, por acompañarme en esta etapa lejos de casa y por mantener siempre nuestro lazo familiar fuerte y cercano; y, finalmente, a la pequeña de la casa, Ana Paula, por alegrarme los días con su ternura y por su bondad hacia todos.

Al Dr. **Marcelino Cabrera De la Fuente**, por sus valiosos consejos, enseñanzas y por ser un ejemplo de dedicación y compromiso. Le agradezco sinceramente su apoyo constante a lo largo de toda la carrera y, en especial, durante el desarrollo de esta tesis.

A mis amigos **Fabián González, Daniel Cruz, Christian Hdz., Luis Mario Hdz., Isaid Reséndiz, Emilio X., Ángel 'paisa', Yocelin C., Angelica M., Mariana O., Carolina H., Ricardo Saldaña, David Alcázar, José Alfredo y Ángel 'Bocho'**, gracias por formar parte de esta etapa tan importante de mi vida. Agradezco profundamente su compañía, su apoyo en los momentos difíciles y, sobre todo, las sonrisas y buenos momentos compartidos que hicieron este camino más llevadero y significativo.

Y a todas las personas con las que tuve la dicha de coincidir en este camino, gracias por aportar, de una u otra forma, a esta etapa de mi vida.

Índice General	
DECLARACIÓN DE NO PLAGIO.....	III
DEDICATORIAS.....	IV
AGRADECIMIENTOS	V
Índice de Tablas	3
Tabla 1 Requerimientos nutricionales recomendados 10.....	3
Tabla 2. Efecto de aplicaciones foliares de Nanopartículas (Nps) de Yodo sobre el rendimiento agronómico del cultivo de Fresa establecida en sistema NFT.....	17
.....	3
Tabla 3 Efecto de aplicaciones foliares de Nanopartículas (Nps) de Yodo sobre la producción del cultivo de Fresa establecida en sistema NFT.....	19
.....	3
I. RESUMEN.....	4
II. INTRODUCCIÓN.....	5
1.1 Objetivo General	6
1.2 Objetivos específicos	6
1.3 Hipótesis	6
1.4 Justificación	6
II. LITERATURA REVISADA	7
2.1 Antecedentes	7
2.2 Origen e Historia del Cultivo	7
2.3 Requerimientos Edafológicos.....	7
2.4 Tipo de Suelo	7
2.5 Medios de Cultivo.....	8

2.6 Sustratos.....	8
2.7 Acuaponía.....	8
2.8 NFT.....	8
2.9 Conductividad Eléctrica.....	9
2.10 Influencia del pH.....	9
2.11 Requerimientos Climáticos.....	9
2.12 Radiación.....	9
2.13 Temperatura.....	10
2.14 Requerimientos Hídricos.....	10
2.15 Calidad de Agua para el riego.....	10
2.16 Condiciones Físico – Químicas del agua.....	11
2.17 Manejo Nutricional del Cultivo.....	11
2.18 Efecto del Yodo en los Cultivos.....	12
2.19 Efecto de las Nanopartículas de Yodo.....	12
2.20 Efecto del Quitosano en los cultivos.....	12
2.20 Fenología del Cultivo.....	13
2.21 Rendimiento Biológico.....	13
2.22 Rendimiento Económico.....	13
2.23 Parámetros de Calidad Comercial.....	14
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
3.1 Ubicación del experimento.....	15
3.2 Material Vegetal Utilizado.....	15
3.3 Descripción del Sistema Productivo.....	15
3.4 Tratamientos Evaluados.....	16
3.5 Variables de Respuesta.....	16

Número de hojas	16
Diámetro de corona	16
Longitud de raíz	16
Peso de fruto	16
Número total de frutos	16
Diámetro ecuatorial del fruto.....	16
Diámetro polar del fruto	16
3.6 Toma de Datos	17
3.7 Diseño Estadístico	17
3.8 Análisis de la Información	17
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	18
4.1 Comportamiento Agronómico.....	18
4.3 Comportamiento productivo	20
V. CONCLUSIONES.....	21
VI. BIBLIOGRAFIA	22

Índice de Tablas

Tabla 1 Requerimientos nutricionales recomendados	11
Tabla 2. Efecto de aplicaciones foliares de Nanopartículas (Nps) de Yodo sobre el rendimiento agronómico del cultivo de Fresa establecida en sistema NFT.	18
Tabla 3 Efecto de aplicaciones foliares de Nanopartículas (Nps) de Yodo sobre la producción del cultivo de Fresa establecida en sistema NFT.....	20

I. RESUMEN

El presente trabajo se llevó a cabo durante el periodo primavera-verano de 2024 en un invernadero de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, con el objetivo de evaluar el efecto agronómico de nanopartículas (NPs) de yodo en el cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa*) bajo el sistema NFT. Se aplicaron seis tratamientos de forma foliar, utilizando un diseño completamente al azar con 12 repeticiones por tratamiento. Las soluciones se prepararon en un litro de agua destilada, siendo el testigo absoluto agua purificada. Las variables evaluadas incluyeron número de hojas, diámetro de corona, longitud de raíz, peso y número total de frutos, así como diámetros polar y ecuatorial del fruto. Se encontraron diferencias significativas en el diámetro de la corona con la aplicación de NPs de quitosano, y diferencias altamente significativas ($p < 0.0001$) en la longitud de raíz, destacando el efecto bioestimulante de las NPs de yoduro y yodato de potasio. La aplicación de NPs de yoduro de potasio promovió un incremento del 33.4% en el peso del fruto y del 46.6% en el número de frutos, además de mejorar los diámetros del fruto. Los resultados indican que las NPs de yoduro de potasio tienen un efecto bioestimulante positivo sobre el crecimiento vegetativo y la productividad del cultivo de fresa.

Palabras Clave

Fresa, NFT, Nanopartículas, Yodo, Quitosano, Bioestimulante, Hidroponía.

II. INTRODUCCIÓN

La fresa ha cobrado relevancia en los últimos años, debido a su considerable superficie cultivada en México, lo que ha generado importantes fuentes de empleo en todo el país. Este fruto ocupa el undécimo lugar en la lista de productos agrícolas de exportación de México con más del 98% de sus exportaciones destinadas principalmente a Estados Unidos (FAOSTAT, 2020) y considerado como uno de los principales productores de fresa a nivel mundial durante más de veinte años. Aunque sufrió una caída en 2020 debido a la pandemia de COVID-19, actualmente la producción está en aumento (SIAP, 2023).

La hidroponía es un método de cultivo sin suelo, que permite el crecimiento de plantas en estructuras diseñadas para ofrecer condiciones óptimas, sin importar las dimensiones, el sistema NFT (Nutrient Film Technique) consiste en hacer circular una delgada capa de solución nutritiva a lo largo de las raíces de las plantas, utilizando canales de cultivo (Mazzini, 2023).

Las nanopartículas (Nps) son materiales con dimensiones inferiores a 100 nanómetros, caracterizadas por su bajo volumen y alta superficie activa. Su uso en la agricultura ofrece múltiples beneficios, como el aumento en la tasa de producción, un mejor control de enfermedades y plagas, y una mejora en la salud general de las plantas (Sanchez, 2024).

La utilización de bioestimulantes constituye una estrategia eficaz para el desarrollo de cultivos, ya que su aplicación en las plantas activa procesos naturales que favorecen la absorción de nutrientes, aumentan la tolerancia al estrés biótico y abiótico, mejoran la calidad de los frutos y potencian el rendimiento (Du-Jardin 2015, Tanya y Leiva-Mora 2019).

El yodo es un elemento que generalmente no se incluye en los programas de fertilización de plantas, ya que no se considera esencial para su crecimiento en grandes cantidades (Duborská et al., 2022). Sin embargo, investigaciones recientes han demostrado que la aplicación foliar de yodo puede ser efectiva como promotor de la calidad, especialmente en hortalizas de hoja (Kiferle et al., 2021) y en plantas de fresa (Silva-Marrufo, 2020).

1.1 Objetivo General

Evaluar el efecto agronómico de aplicaciones de Nps de Yodo en el cultivo de Fresa (*Fragaria x ananassa*) establecida en sistema NFT.

1.2 Objetivos específicos

- Comparar el rendimiento agronómico del cultivo de fresa respecto a la fuente de Nps de Yodo en sistema NFT
- Definir el efecto bioestimulante de las nanopartículas de quitosán y yodo como mejorador en el desarrollo y producción del cultivo de fresa en sistema NFT

1.3 Hipótesis

El uso de diferentes fuentes de Nps de Yodo modificará el comportamiento agronómico y productivo de la fresa cultivada en sistema NFT.

1.4 Justificación

El cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa*), es de gran importancia en la agricultura debido a su alto valor comercial y su demanda creciente en el mercado global. Sin embargo, uno de los principales desafíos en su producción es optimizar los métodos de cultivo para mejorar el rendimiento y la calidad de los frutos, a la vez que se reduce el impacto ambiental y los costos de producción.

II. LITERATURA REVISADA

2.1 Antecedentes

Aunque las fresas han sido consumidas desde tiempos prehistóricos, su cultivo sistemático en Europa comenzó en el siglo XIV, cuando se introdujeron plantas silvestres, especialmente *Fragaria vesca*, en los jardines de la corte francesa. Autores clásicos como Cato, Virgilio, Ovidio y Plinio mencionaron las fresas en sus escritos entre los siglos I y III d.C., resaltando su exquisito sabor y fragancia, así como sus propiedades medicinales (Silva Hernández, 2020).

A lo largo del tiempo, el interés por las fresas ha crecido considerablemente, lo que ha conducido al desarrollo de variedades modernas y a su popularización en la agricultura contemporánea (SADER, 2022).

2.2 Origen e Historia del Cultivo

Fragaria ananassa es un híbrido que se formó a partir del cruce entre *Fragaria chiloensis*, originaria de Chile, y *Fragaria virginiana*, nativa de Estados Unidos. Este cruce resultó en la fresa moderna, que se caracteriza por sus frutos grandes, jugosos y dulces (Edger *et al.*, 2019).

2.3 Requerimientos Edafológicos

Requiere suelos bien drenados, ligeramente ácidos (pH entre 5.5 y 6.5), con buena aireación y textura ligera a media (franco-arenoso o franco-arcilloso), debe ser rico en nutrientes, contar con suficiente materia orgánica para mejorar su estructura y fertilidad. También es importante que retenga agua de manera adecuada sin encharcarse, ya que un exceso de humedad puede afectar las raíces (Lira Ortiz, 2023).

2.4 Tipo de Suelo

La fresa se desarrolla mejor en suelos equilibrados, ricos en materia orgánica, bien aireados y con un buen drenaje. Sin embargo, es importante que estos suelos también cuenten con una adecuada capacidad de retención de agua, lo que garantiza un suministro constante para el desarrollo de la planta (SIAP, 2023).

2.5 Medios de Cultivo

El medio de cultivo para fresas puede variar según el sistema de cultivo (suelo, hidroponía, etc.), pero lo importante es que el medio elegido debe proporcionar las condiciones adecuadas de soporte, aireación, drenaje y retención de humedad (Cerero, 2023).

2.6 Sustratos

Los sustratos son materiales esenciales para el cultivo de fresas, ya que suplieren al suelo y proporcionan anclaje, oxigenación, humedad y nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas. Pueden ser de origen orgánico (como compost, turba, fibra de coco), sintético (como lana de roca en hidroponía) o mineral (como perlita o vermiculita) (Molina y Reconco, 2020).

2.7 Acuaponía

La acuaponía es un sistema de producción sostenible que combina la acuicultura y la hidroponía en un entorno cerrado y recirculante. En este sistema, los desechos generados por los peces se convierten en nutrientes para las plantas, y las plantas, a su vez, ayudan a filtrar y purificar el agua que regresa al sistema para los peces. Este enfoque crea un ciclo simbiótico donde ambos componentes (peces y plantas) se benefician mutuamente, logrando un uso eficiente de los recursos (Somerville, 2022).

2.8 NFT

Una técnica de cultivo hidropónico en la que las raíces de las plantas están expuestas a una delgada capa de solución nutritiva que circula constantemente. Este sistema permite un uso eficiente de los nutrientes y el agua, ya que la solución fluye en una fina película sobre las raíces, proporcionando oxígeno y nutrientes de forma continua (Alipio.2019, Rodríguez Ortega.2019, Zarza, 2018).

El NFT es ideal para cultivos como la fresa, ya que promueve un rápido crecimiento debido a su ambiente controlado (Tovar, 2023).

2.9 Conductividad Eléctrica

La Conductividad Eléctrica (CE) mide la concentración total de sales disueltas en la solución nutritiva, y su unidad de medida es mS/cm. Aunque la CE no proporciona la concentración específica de nutrientes, refleja la cantidad total de sales, lo cual es esencial para monitorear la nutrición de las plantas. El rango óptimo de CE puede variar según el tipo de cultivo, pero para la fresa en sistemas NFT, se recomienda mantener una CE entre 1.8 y 2.5 mS/cm durante las fases de crecimiento, siendo 2 mS/cm un valor ideal para asegurar una nutrición adecuada. Mantener la CE dentro de este rango permite una absorción eficiente de nutrientes y evita el estrés por exceso de sales, lo cual podría afectar negativamente el crecimiento y la producción de las plantas (Ayres, 2022).

2.10 Influencia del pH

El pH es un factor clave en el cultivo de fresa en sistemas NFT, ya que afecta la disponibilidad de nutrientes esenciales para la planta. El rango óptimo de pH para la fresa en NFT es entre 5.5 y 6.5. Fuera de este rango, los nutrientes no se absorben eficientemente, lo que puede causar deficiencias y afectar el crecimiento y el rendimiento de los frutos (Goswami y Yadav, 2022).

2.11 Requerimientos Climáticos

El cultivo de fresa se desarrolla mejor en zonas Templadas ubicadas entre los 1,300 y 2,000 metros sobre el nivel del mar (msnm), donde se presentan condiciones óptimas de temperatura, luz y humedad para un buen rendimiento de la planta y la calidad de los frutos (SIAP, 2023).

2.12 Radiación

Las fresas tienen un comportamiento fotoperiódico específico, lo que significa que responden de manera diferente según la duración de la luz que reciben cada día, las variedades de días largos (más de 12 horas de luz) favorecen el crecimiento de hojas y estolones, mientras que las de días cortos (8-11 horas de luz) promueven la formación de flores y frutos (Morales, 2017).

2.13 Temperatura

Requieren temperaturas específicas para su desarrollo, durante la fase de letargo, necesitan temperaturas inferiores a 6°C. En la fase vegetativa, la temperatura óptima es de 20°C durante el día y 12°C por la noche. Las fresas toleran el frío sin daño, pero temperaturas por debajo de 0°C pueden causar heladas. Durante la fructificación 18°C y 22°C y ya superiores a 30°C pueden afectar la calidad del fruto (Romantchik, 2018).

2.14 Requerimientos Hídricos

La necesidad de agua de un cultivo es la cantidad de agua requerida para cubrir la tasa de evapotranspiración, que es el agua perdida hacia la atmósfera desde las hojas de la planta y la superficie del suelo. Según Castro (2008), para estimar las necesidades hídricas de un cultivo, es fundamental medir esta tasa. En el caso de las fresas, estas plantas requieren riego abundante especialmente durante el crecimiento vegetativo y la formación de frutos, ya que el estrés hídrico en estas etapas puede afectar su desarrollo y la calidad de los frutos (Ordóñez, 2018).

El consumo de agua para el cultivo de fresa varía entre 400 y 600 mm (equivalente a 4,000 a 6,000 m³ por hectárea), dependiendo de las condiciones climáticas y la ubicación de la plantación (Pérez, 2020).

2.15 Calidad de Agua para el riego

La calidad del agua para riego depende de la concentración y composición de los constituyentes disueltos, esta calidad es esencial al evaluar las condiciones de salinidad o el contenido de sodio intercambiable en las zonas de riego. Las principales características son: la concentración total de sales solubles, la relación de sodio con otros cationes, la concentración de boro u otros elementos tóxicos, y la relación entre bicarbonatos y los niveles de calcio y magnesio (Camacho, 2023).

2.16 Condiciones Físico – Químicas del agua

El pH óptimo es entre 5.5 y 6.0, CE de 0.5 – 1.0 dS/m, ya con la solución de fertilizantes incorporada. El contenido de calcio y magnesio en el agua (dureza) debe ser moderado. Se recomienda que el agua tenga una dureza menor a 200 mg/L de calcio y de Mg menor a 100 mg/L (Martínez, 2018).

2.17 Manejo Nutricional del Cultivo

Existen numerosas recomendaciones sobre los requerimientos nutricionales del cultivo de fresa, provenientes de distintos autores. La siguiente tabla presenta datos que, si bien son similares a los utilizados en otras fuentes, pueden variar según la variedad cultivada, la experiencia del productor y la fuente consultada.

Tabla 1 Requerimientos nutricionales recomendados

Periodo	Semana	N	P	K	Ca	Mg
Plantación	1-6	110	33	140	106	50
Vegetativo	7-14	200	90	170	106	50
Floración	15-21	150	45	100	85-110	50
Cuaje y maduración	22-25	120	20	100	85-110	30
Recolección	26-33	100	20	100	85-110	30
Recolección	34-35	100	20	100	85-110	30
Recolección	36-39	70	17	80	85-110	30

(HAIFA, 2020).

2.18 Efecto del Yodo en los Cultivos

Aunque el yodo no es considerado un nutriente esencial para las plantas en los programas de fertilización, su presencia natural en el suelo y el agua puede tener efectos positivos, como el aumento de la tolerancia al estrés y la mejora en la calidad de los cultivos, siempre que se maneje en concentraciones adecuadas, en soluciones hidropónicas suelen estar en el rango de 0.05 a 0.1 mg/L (Laguaquiza, 2023).

2.19 Efecto de las Nanopartículas de Yodo

Son un área de investigación emergente que busca aprovechar las propiedades únicas de los materiales a escala nanométrica generalmente menores a 100 nanómetros, para mejorar diversos aspectos de la producción agrícola, al ser absorbidas por las plantas, podrían fortalecer sus mecanismos de defensa y aumentar su tolerancia a factores estresantes como sequías o ataques de plagas (Barranco, 2023).

2.20 Efecto del Quitosano en los cultivos

El quitosano es un biopolímero natural derivado de la quitina, proveniente principalmente de los exoesqueletos de crustáceos. En la agricultura, se utiliza como bioestimulante por sus múltiples beneficios para las plantas. Refuerza sus defensas naturales, aumentando la resistencia a enfermedades y plagas, y mejora la capacidad de adaptación al estrés ambiental, como sequía y temperaturas extremas. Sus propiedades antifúngicas y antibacterianas protegen a las plantas de infecciones, reduciendo la necesidad de fungicidas. (Vargas, 2023). En el cultivo de fresa, favorece su crecimiento y desarrollo, especialmente en el tratamiento postcosecha, al reducir la necesidad de fungicidas y mejorar la calidad de la fruta (Kessel, 2018).

2.20 Fenología del Cultivo

Durante la etapa vegetativa, los brotes comienzan a emerger y las yemas principales inician su crecimiento, se desarrolla la primera serie de hojas (7-30 días), desde las emergentes hasta que la planta despliega nueve o más hojas. También se forman las estructuras vegetativas (30-60 días), como los estolones y coronas nuevas (Loeza, 2018).

En la etapa reproductiva, aparece la primera yema floral (60-90 días), lo que marca el inicio de la floración (90-120 días), que comienza con la apertura de las primeras flores, sigue con la plena floración y culmina con la caída de los pétalos. Finalmente, en la etapa productiva, se da la formación y maduración del fruto (120-150 días), seguido de la senescencia de la planta y el inicio del reposo vegetativo (Gómez, 2024).

2.21 Rendimiento Biológico

En 2023, el rendimiento promedio nacional fue de 42 toneladas por hectárea, obteniendo una producción total de 641,552 toneladas, provenientes de 15,267 hectáreas sembradas (Lira, 2023).

2.22 Rendimiento Económico

Cuenta con un rendimiento promedio de 43.61 toneladas por hectárea y una derrama económica superior a los \$3,423 millones de pesos, con ciclo agrícola otoño-invierno en la modalidad de riego. Aproximadamente el 90% de la producción se destina a la exportación, especialmente a Estados Unidos, lo que genera ingresos importantes para el país, mientras que el 10% restante abastece el mercado nacional (SIAP, 2020).

2.23 Parámetros de Calidad Comercial

En las fresas, la apariencia es un atributo de alto valor, puede describir como forma, color, tamaño y textura, además de determinar el grado de maduración o el estado libre de contaminantes, si no también da indicios a condiciones de almacenamientos prolongado (Santos, 2020).

Los parámetros de calidad de la fresa incluyen el tamaño, la textura y el color, regulados por normativas específicas, como la NMX-FF-062-SCFI-2002.

Tamaño: Según esta norma, los tamaños son: Extragrande: >40 mm, Grande: 35-40 mm, Mediana: 30-35 mm, Pequeña: 25-30mm

Las fresas deben cosecharse con más del 50% de su superficie roja o rosa, y se permite un 10% de frutas fuera del tamaño estándar, siempre ajustándose a los tamaños inmediatos superior o inferior. Textura: La fresa debe ser firme, jugosa y con pulpa compacta, sin signos de blandura ni descomposición. Color: La fresa debe tener un color rojo brillante y uniforme, lo que indica su madurez óptima. Las áreas verdes o blancas indican inmadurez (Mendoza, 2018).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del experimento

El trabajo de investigación se llevó a cabo en el periodo primavera – verano del 2024, en un sistema NFT desarrollado con tubería de PVC, en el cual la solución circulaba mediante bombas de agua con 5W de potencia y contenedores con capacidad de 40 litros. El experimento se realizó en un invernadero de mediana tecnología ubicado en los terrenos del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. El invernadero contaba con ventanas laterales para ventilación natural, pared húmeda para control de la humedad ambiental y extractores de aire para regular la temperatura interna. Estas condiciones ambientales permitieron crear un entorno controlado y adecuado para el desarrollo del sistema. Las coordenadas geográficas del lugar son 25°21'23.6" Latitud Norte y 101°02'09.9" Longitud Oeste, con una altitud de 1,790 msnm.

3.2 Material Vegetal Utilizado

La variedad utilizada fue Monterrey, de tamaño grande, forma cónica y color rojo intenso. Se destaca por su sabor dulce y suave, ideal tanto para el consumo directo como para productos procesados (Ruiz, 2023)

3.3 Descripción del Sistema Productivo

Este sistema productivo, combina un invernadero con cubierta plástica, el uso del sistema hidropónico NFT y aplicaciones de fertilizantes, insecticidas y bioestimulantes. A través de la integración de diversas tecnologías y productos, se logra un alto rendimiento de cultivos de alta calidad, con un manejo adecuado de los recursos y la optimización del uso del agua.

3.4 Tratamientos Evaluados

- T1: Testigo absoluto (H₂O)
- T2: NPsQ5 Nanopartículas de quitosan (250 ppm)
- T3: KI03 Yodato de Potasio (250 ppm)
- T4: KI Yoduro de Potasio (250 ppm)
- T5: KIO3 Nanopartículas de Yodato de Potasio (250 ppm)
- T6: KI NPS Nanopartículas de Yoduro de Potasio (250 ppm)

3.5 Variables de Respuesta

Número de hojas: Se registró mediante conteo visual directo, considerando únicamente las hojas bien desarrolladas en cada planta.

Diámetro de corona (mm): Se midió utilizando un vernier digital. Para asegurar una medición precisa, las plantas fueron extraídas cuidadosamente de su cavidad.

Longitud de raíz (cm): Se determinó con una cinta métrica, extrayendo también las plantas de su cavidad para obtener una medición precisa desde la base del tallo hasta la punta de la raíz más larga.

Peso de fruto (g): Tras la cosecha, cada fruto fue pesado individualmente en un laboratorio utilizando una balanza digital de precisión.

Número total de frutos: Se contabilizó de forma visual después de la cosecha, separando los frutos de cada planta en bolsas Ziploc para evitar mezclas y mantener el orden de las muestras.

Diámetro ecuatorial del fruto (mm): Se midió en el laboratorio después de la cosecha con un vernier digital, tomando la medida en la parte más ancha del fruto.

Diámetro polar del fruto (mm): También se midió con un vernier digital en el laboratorio, registrando la distancia desde la base hasta el extremo del fruto para obtener la dimensión longitudinal.

3.6 Toma de Datos

La recolección de datos se realizó de forma manual, registrándolos en una libreta durante todo el periodo de establecimiento del cultivo, con una frecuencia semanal. Posteriormente, estos datos fueron digitalizados y registrados en una computadora para su análisis.

3.7 Diseño Estadístico

El experimento fue establecido bajo un diseño completamente al azar, considerando 6 tratamientos con 12 repeticiones cada uno. Los tratamientos se asignaron de manera aleatoria a las unidades experimentales, garantizando así la igualdad de condiciones y reduciendo el sesgo en la variabilidad de los resultados.

3.8 Análisis de la Información

Para el procesamiento de los datos obtenidos, se empleó un análisis de varianza (ANOVA) con el objetivo de determinar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. Cuando se detectaron diferencias estadísticas, se aplicó la prueba de comparación de medias LSD de Fisher, utilizando un nivel de significancia del 5% ($\alpha = 0.05$). Todo el análisis estadístico fue realizado mediante el software SAS, el cual permitió una evaluación precisa y confiable de los datos experimentales.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Comportamiento Agronómico

En la Tabla 2 se muestran variables de crecimiento y desarrollo vegetativo de la fresa, donde se obtuvo que, aunque el análisis estadístico (ANOVA) del número de hojas no mostró diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0.05$), en la comparación de medias observamos que con la aplicación de Nps de Yoduro de Potasio se presentó mayor número de hojas donde las plantas mostraron un mayor desarrollo vegetativo (Tabla 1), con un incremento del 31.2% en relación al de Yoduro de Potasio, el cual registró el menor número de hojas. Esto se atribuye a que el yodo puede ayudar a las plantas a absorber otros nutrientes, como el nitrógeno y el fósforo, lo que puede contribuir a un crecimiento más fuerte y vigoroso (Ujowundu et al., 2010). Así mismo, el uso de nanopartículas puede estimular el crecimiento vegetativo en algunas especies al actuar como bioestimulantes, lo que favorecería su desarrollo y crecimiento (Sathiyabama y Manikandan 2021).

Tabla 2. Efecto de aplicaciones foliares de Nanopartículas (Nps) de Yodo sobre el rendimiento agronómico del cultivo de Fresa establecida en sistema NFT.

Tratamiento	Número de hojas	Diámetro de la corona (mm)	Longitud de raíz (mm)
Testigo absoluto (H ₂ O)	8.90 ab	17.46 c	15.60 d
NPsQ5 Nps de quitosan	9.60 ab	27.06 a	16.50 d
KI03 Yodato de Potasio	8.00 ab	22.29 abc	18.18 cd
KI Yoduro de Potasio	7.55 b	20.63 bc	19.91 c
KIO3 Nps de Yodato de Potasio	8.25 ab	22.24 abc	25.00 b
KI NPS Nps de Yoduro de Potasio	9.91 a	26.25 bc	28.64 a
C.V.	30.2	32.3	14.7

C. V= Coeficiente de Variación (%). Medias con la misma letra no son significativamente diferentes LSD ($p < 0.05$).

En la variable de Diámetro de la corona se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos, donde podemos observar en la Tabla 1 que con la aplicación de Nps de quitosan, hay un efecto positivo sobre el diámetro de la corona, con un incremento del diámetro del 31.1%, 2.1% y 54.9% en relación a los tratamientos con yoduro de potasio, Nps de yoduro de potasio y el testigo absoluto respectivamente. El nanoquitosán ha sido utilizado en la agricultura como promotor del crecimiento en plantas (Robusta coffee), protector contra enfermedades fúngicas (arroz) y enfermedades postcosecha (manzana y fresa) (Divya y Jisha 2018).

En la longitud de raíz se encontraron diferencias altamente significativas ($p < 0.0001$) entre tratamientos, donde podemos observar (Tabla 1) que con la aplicación de Nps de yoduro, seguido de las Nps de yodato de potasio se obtiene un efecto bioestimulante sobre el crecimiento de la raíz principal de la planta de fresa con un incremento del 14.5% en relación al tratamiento de Nps de yodato de potasio, 43.8% y 58% en relación al yoduro y yodato de potasio y 83.5% en relación al testigo absoluto. Las NPs de yodato de potasio pueden facilitar la absorción de nutrientes esenciales para el desarrollo de la raíz, como el potasio y el yodo. Al mejorar la absorción de nutrientes y la resistencia al estrés, las NPs de yodato de potasio pueden tener un efecto positivo en el crecimiento de la raíz principal de la planta de fresa (Rivera-Solís et al., 2024).

4.3 Comportamiento productivo

En las variables para determinar el tamaño del fruto se puede observó (Tabla 3) que con la aplicación de Nps de Yoduro de Potasio hay un efecto bioestimulante sobre el diámetro ecuatorial y polar del fruto en relación al resto de los tratamientos, con un incremento del 54.6% y 50.9% respectivamente en relación al testigo. Además, en el diámetro polar con la aplicación yoduro de potasio y con Nps de Yodato de potasio también se presentó un incremento en relación al testigo y el resto de los tratamientos. Las NPs de KI son bioestimulantes porque estimulan los procesos fisiológicos de la planta, mejorando su capacidad para absorber nutrientes y asimilarlos (Rivera-Solis et al., 2024) y por lo tanto, su efecto en el diámetro ecuatorial y polar del fruto también puede estar relacionado con la capacidad de estas partículas para mejorar la absorción de agua.

Tabla 3. Efecto de aplicaciones foliares de Nanopartículas (Nps) de Yodo sobre la producción del cultivo de Fresa establecida en sistema NFT.

Tratamiento		Diámetro ecuatorial (mm)	Diámetro polar (mm)	Peso del fruto (g)	Número de frutos por planta	Rendimiento por planta * (g/planta)
Testigo	absoluto (H ₂ O)	2.69 e	3.16 d	10.46 d	2.90 c	30.33
NPsQ5	Nps de quitosan	2.82 e	3.45 c	14.46 bc	3.20 c	46.27
KI03	Yodato de Potasio	3.35 d	4.29 b	13.18 c	4.00 c	52.72
KI	Yoduro de Potasio	3.63 c	4.58 a	13.38 c	5.27 b	70.51
KIO3	Nps de Yodato de Potasio	3.88 b	4.56 a	16.63 ab	6.67 a	110.92
KI	NPS Nps de Yoduro de Potasio	4.16 a	4.77 a	17.85 a	7.73 a	137.98
C.V.		7.36	6.79	18.38	26.25	

C.V.= Coeficiente de Variación (%); *Estimación directa (Peso de fruto X Numero de frutos). Medias con la misma letra no son significativamente diferentes LSD ($p < 0.05$).

De acuerdo con los resultados (Tabla 3) se observó que al aplicar Nps de yoduro de potasio se obtuvo un incremento en el peso del 33.4% y 46.6% en el número de frutos en relación a los tratamientos de yoduro de potasio; también presento un incremento de peso de fruto del 70.6% y en número de frutos del 66.55% en relación al testigo. Por lo tanto, al estimar el rendimiento por planta se encontró que este incrementa con la aplicación de nanopartículas de yoduro y yodato de potasio. El efecto bioestimulante de las Nps también pueden mejorar la resistencia de la planta a condiciones adversas, mejorar la calidad de la cosecha y reducir la dependencia de fertilizantes químicos, lo que facilita su el acceso de agua y nutrientes, en este sentido, las nanopartículas han demostrado mejorar el rendimiento del cultivo (Liu y Lal, 2014).

V. CONCLUSIONES

Las nanopartículas de yoduro de potasio tienen un efecto positivo sobre el rendimiento agronómico, específicamente sobre el crecimiento vegetativo y la producción, que al combinarlo con el sistema productivo NFT, se incrementa el rendimiento de frutos, con lo que se afirma el efecto bioestimulante de las nanopartículas utilizadas en el cultivo de la fresa, lo cual puede ser una estrategia efectiva para optimizar el uso del agua en la producción de fresa.

VI. BIBLIOGRAFIA

Amaro Barranco, R., & Benavides Mendoza, A. (2023). Efecto bioestimulante de complejos de nanopartículas de quitosán yodados en frutos de tomate.

Ayres, J. I., Grasso, R., & Berrueta, C. (2022). Control de la solución nutritiva hidropónica (NFT) basado en el pH y la conductividad: luces y sombras. Hortifruticultura, 71, 108-112.

Baja, A. SIAP (2020). Cultivo de fresa arrojó una producción de 93 mil 007 toneladas en el OI 2020-2021. Gob.mx. <https://www.gob.mx/agricultura%7Cbajacalifornia/articulos/cultivo-de-fresa-arrojo-una-produccion-de-93-mil-007-toneladas-en-el-oi-2020-2021>

Cacoango Cuji, J. G. (2023). Determinación de los requerimientos hídricos y nutricionales de cuatro variedades de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) en semihidroponía bajo cubierta.

Camacho-Ballesteros, A., Ortega-Escobar, H. M., Sánchez-Bernal, E. I., Flores-Magdaleno, H., Gardezi, A. K., Mendoza-Saldivar, I., ... & Avelar-Roblero, J. U. (2023). Hidroquímica y calidad del agua para riego de las RH 21 y 23 costa de Oaxaca y costa de Chiapas, México. Terra Latinoamericana, 41.

Divya K, Jisha M (2018) Chitosan nanoparticles preparation and applications. Environmental Chemistry Letters 16: 101-112. FRESA SIAP Mexicana planeación agrícola nacional. (2020). <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257075/Potencial-Fresa.pdf>

Gamboa-Santos, J. y Campañone, L. (2020). Análisis digital de imágenes para evaluar el encogimiento de fresas sometidas a tecnologías emergentes de procesamiento. Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales. 5(2), 33-51.

García, T. X. T., Pérez, J. H., & Suárez, J. A. C. (2024). Análisis de la producción y exportación de fresa mexicana: 1988-2020. *EDUCATECONCIENCIA*, 32(2).

Gómez S. (2024). Comportamiento Agronómico de Fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) var. Frontera con Nutrición Química y Orgánica en Invernadero. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Lugar de Publicación: Saltillo, Coahuila, México.

Ibadango Ruiz, F. D. (2023). Evaluación de soluciones nutritivas y sustratos en el rendimiento de fresa variedad monterrey (*fragaria x ananassa duch.*) cultivada en un sistema hidropónico vertical.

Jiménez Canseco, J. (2019) Las Concentraciones de Soluciones Nutritivas y Lombricomposta Afectan el Crecimiento Vegetativo y Contenido Relativo de Clorofila en Plantas de Fresa. Repositorio UAAAN

Lira, R., Magali, O., & Rivas, R. (2023). Producción de plantas de fresa con calidad genética, fisiológica y fitosanitaria. Folleto técnico Núm. 37 noviembre de 2023 ISBN:978-607-37-1556-0 Núm. de Registro de Derechos de Autor: 03-2023-100211532400-01

Lucero N. (2023) Evaluación de cuatro mezclas de sustratos para la producción semihidropónica de fresa (*Fragaria x ananassa D.*) variedad Albión en invernadero. Escuela Superior Politecnica.

Liu, R. y Lal, R. (2014). Synthetic apatite nanoparticles as a phosphorus fertilizer for soybean (*Glycine max*). Scientific Reports, 4(1): 5686.

Mazzini, A., Ortega, F., Solana Mendez, M., & Kuzman, M. G. (2024). Sistema IoT para control y mantenimiento de cultivos hidropónicos NFT. In XXIX Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC) (Luján, 9 al 12 de octubre de 2023).

Martinez, J. (2018). Uso de Soluciones nutritivas en la Calidad de la fresa variedad "Camino Real" en condiciones Protegidas. Repositorio UAAAN.

Mendoza, T. (2018). Evaluación del rendimiento de fresa (*Fragaria spp. L.*) variedad San Andreas, con diferentes concentraciones de *Trichoderma spp.* UAAAN, Saltillo, Coahuila.

Ordóñez G. (2018). DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS DEL CULTIVO DE FRESA (FRAGARIA VESCAL.) EN EL SECTOR EL PORVENIR. Loja-Ecuador.

Ortiz Lira, R. Ruiz Rivas, M. (2023). PRODUCCIÓN DE PLANTAS DE FRESA CON CALIDAD GENÉTICA, FISIOLÓGICA Y FITOSANITARIA. Centro de Investigación Regional Pacífico Centro Campo Experimental Uruapan. Uruapan, Michoacán, México. ISBN:978-607-37-1556-0.

Ortiz López, E. M., & Rivera Chalapud, L. H. (2024). *Estudio de Correlación Entre Variables Principales Presentes en un Sistema de Cultivo Hidropónico NFT* (Doctoral dissertation, San Juan de Pasto-Nariño [Colombia]: Universidad CESMAG).

Palchisaca Doncon, M. J. (2018). Evaluación de soluciones nutritivas con cinco dosis de calcio en el cultivo de fresa (*Fragaria ananassa*) cultivar albión mediante fertirriego en la parroquia San Luis cantón Riobamba (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).

Rivera-Solís, Luz Leticia, Ortega-Ortiz, Hortensia, Benavides-Mendoza, Adalberto, Flores-López, María Liliana, Robledo-Olivo, Armando, & González-Morales, Susana. (2024). Efecto bioestimulante de nanoquitosán-yodo en el crecimiento y vigor de plantas de tomate. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 11(2), e3623. Epub 23 de agosto de 2024. <https://doi.org/10.19136/era.a11n2.3623>

Romantchik Kriuchkova, E., López Cañens, G., Chávez Aguilera, N., & Flores, D. E. (2018). Diseño e instalación de un sistema de control automático de malla sombra, caso cultivo de fresa (*Fragaria sp.*). *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(SPE21), 4328-4340.

Rural, S. de A. y D. (2024). **SIAP** ¿Qué quiere la niña fresa? México y su producción nacional. Gob.mx.

Sánchez-Valdés, S., Rodríguez-González, J. A., Sánchez-Martínez, A. C., Bustos, K., Cruz, M. V., Martínez, L. C., ... & Ramírez-Barron, S. N. (2024).

Tendencias en el uso de nanopartículas en la agricultura. Revista Latinoamericana de Difusión Científica, 6(11), 20-39.

Sathiyabama M, Manikandan A (2021) Foliar application of chitosan nanoparticle improves yield, mineral content and boost innate immunity in finger millet plants. Carbohydrate Polymers 258: 117691. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.117691>

SIAP (2025). Ninguna como la muy fresa. Gob.mx. <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/ninguna-como-la-muy-fresa>

Silva Hernández, E. (02 – 2020). Comportamiento de fulvatos y reguladores de crecimiento en la producción y calidad de fresa (Fragaria x ananassa). Repositorio UAAAN

Somerville Ch., Cochen M., Pantanella E., Stankus A. (2022) Producción de Alimentos en acuaponía a pequeña escala. Cultivo Integral de Peses y Plantas. FAO Documento Técnico de Pesca y Acuicultura.

Tomar González, E. (06 – 2023). Efecto del calcio en el rendimiento y calidad del fruto en fresa (Fragaria x ananassa Duch.) en ambiente controlado bajo diferentes intensidades de luz. Repositorio UAAAN

Treviño-Ruiz, K. S., Ortega-Ortiz, H., Benavides-Mendoza, A., & González-Morales, S. (2024). Aplicación de nanoquitosán-yodo en lechuga y su efecto en la biofortificación, crecimiento y rendimiento. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 11(2).

Ujowundu, C. O., Ukoha, A. I., Agha, C. N., Nwachukwu, N., Igwe, K. O., & Kalu, F. N. (2010). Effects of potassium iodate application on the biomass and iodine concentration of selected indigenous Nigerian vegetables. African Journal of Biotechnology, 9(42), 7141-7147.

Vargas, F. (2023) Bioestimulantes En El Cultivo de Fresa. Monografía, Repositorio UAAAN.

Velasco Laguaquiza, M. P. (2023). Evaluación de yodo agrícola y ácido salícico como biofortificantes en el desarrollo vegetativo de plantas de fresa (*Fragaria ananassa*) (Bachelor's thesis).