



Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE
DURANGO**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DEL
VALLE DEL GUADIANA**

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



**“RELACIÓN DEL OZONO COMO BIOESTIMULANTE EN EL
CULTIVO DE TOMATE BAJO CONDICIONES DE
INVERNADERO”**

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Maestría en Ingeniería

Presenta:

ING. LUIS RAMÓN CASTILLO MATA

Director de tesis:

M.C. OSCAR GILBERTO ALANIZ VILLANUEVA

Co-Director:

DRA. MERIT CISNEROS GONZÁLEZ

Durango, Dgo. México, noviembre, 2024.



"RELACIÓN DEL OZONO COMO BIOESTIMULANTE EN EL CULTIVO DE TOMATE BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO"

Presenta:

ING. LUIS RAMÓN CASTILLO MATA

COMITÉ TUTORIAL

M.C. OSCAR GILBERTO ALANIZ VILLANUEVA Director	 Firma
DRA. MERIT CISNEROS GONZÁLES Codirector	 Firma
M.C. DARÍO CISNEROS ARREOLA Asesor	 Firma

M.C. Norma Alicia García Vidaña

Coordinadora del programa de la Maestría en Ingeniería.

Dr. Francisco Javier Godínez García

Jefe de la División de Estudios de Posgrado e Investigación

Durango, Dgo. México

NOVIEMBRE de 2024



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Durango
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Victoria de Durango, Dgo., a 26 / Noviembre / 2024

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
DEPI / C / 589 / 2024.
ASUNTO: Autorización de Tema de Tesis de Maestría.

C. LUIS RAMÓN CASTILLO MATA
No. DE CONTROL M14790120
PRESENTE.

Con base en el Reglamento en vigor y teniendo en cuenta el dictamen emitido por el Jurado que le fue asignado, se le autoriza a desarrollar el tema de tesis para obtener el **Grado de Maestro en Ingeniería** cuyo título es:

“RELACIÓN DEL OZONO COMO BIOESTIMULANTE EN EL CULTIVO DE TOMATE BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO”

CONTENIDO:

	RESUMEN
CAPÍTULO I	INTRODUCCIÓN
CAPÍTULO II	MARCO TEÓRICO
CAPÍTULO III	MATERIALES Y MÉTODOS
CAPÍTULO IV	RESULTADOS Y DISCUSIÓN
CAPÍTULO V	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
	REFERENCIAS

ATENTAMENTE.

Excelencia en Educación Tecnológica®
“La Técnica al Servicio de la Patria”

C. FRANCISCO JAVIER GODÍNEZ GARCÍA
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



FJGG'ammc.



2024
Felipe Carrillo
PUERTO
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Durango
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Victoria de Durango, Dgo., a 25 / Noviembre / 2024.

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
DEPI / C / 590 / 2024.

ASUNTO: Autorización de Impresión de Tesis de Maestría.

C. LUIS RAMÓN CASTILLO MATA
No. DE CONTROL MI4790120
PRESENTE.

De acuerdo al reglamento en vigor y tomando en cuenta el dictamen emitido por el jurado que le fue asignado para la revisión de su trabajo de tesis para obtener el **Grado de Maestro en Ingeniería**, esta División de Estudios de Posgrado e Investigación le autoriza la impresión del mismo, cuyo título es:

“RELACIÓN DEL OZONO COMO BIOESTIMULANTE EN EL CULTIVO DE TOMATE BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO”

Sin otro particular de momento, quedo de Usted.

ATENTAMENTE.

Excelencia en Educación Tecnológica®
“La Técnica al Servicio de la Patria”

C. FRANCISCO JAVIER GODÍNEZ GARCÍA
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



FJGG'ammc.



2024
Felipe Carrillo
PUERTO
PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA



AGRADECIMIENTOS

Le agradezco al Consejo Nacional de Humanidades Ciencia y Tecnología (CONAHCyT) por el apoyo económico durante dos años, el cual me permitió realizar mis estudios de Maestría.

Al personal docente del área de posgrado del Instituto Tecnológico del Valle del guadiana y del Instituto Tecnológico de Durango.

Especialmente al M.C. Oscar Gilberto Alaniz Villanueva por ser mi asesor, mi director de tesis, mi maestro, por confiar en mí y apoyarme tanto personal como académicamente para realizar el presente trabajo de tesis.

A la Dra. Ixchel Abby Ortiz Sánchez por la disposición de su tiempo, su amistad, su apoyo y sus consejos en la elaboración del documento.

A la M.C. Felicidad Pérez Saldaña por brindarme su apoyo en la parte estadística para la elaboración de la tesis.

A la Dra. Merit Cisneros González por su apoyo, por ser mi asesora y mi maestra, compartiéndome enseñanzas académicamente para el bien de mi educación y mejoramiento del proyecto.

Al M.C. Darío Cisneros Arreola por ser mi asesor y maestro, aconsejándome para el mejoramiento de mi documento.

Al Ing. Jonatan Granados Santos por su apoyo y disposición con el prototipo del ozonificador.



RESUMEN

El ozono está compuesto por tres átomos de oxígeno y es un desinfectante natural, su ventaja principal es que se descompone en oxígeno cuando ya ha actuado, sin dejar un tipo de residuo químico. Oxigena las raíces de las plantas, previene plagas, enfermedades y mejora su calidad. En un trabajo previo de maestría se determinó la dosis óptima de ozono a (0.9-0.98 ppm) y partiendo de esto en el presente proyecto se evaluó su efecto nutricional en el cultivo de tomate en el área de invernaderos, del Tecnológico Nacional de México campus Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana, ubicado en la carretera a México km 22.5 en el Ejido Villa Montemorelos, Durango. Se trabajo una muestra total de 32 plantas seleccionadas al azar, realizando el mismo manejo técnico para así comparar el desarrollo y rendimiento del tomate con los tratamientos: Biocomplet + Té de compost + Ozono, Nitrobac + Té de compost + Ozono aplicándolos a una dosis del 50% de agua ozonificada y el otro 50% de bioestimulante, así mismo los tratamientos Biocomplet + Té de compost y Nitrobac + Té de compost, se aplicaron a una dosis del 50% de agua sin ozonificar y el otro 50% de bioestimulante. Los resultados mostraron que el uso del ozono en combinación con biofertilizantes incremento de producción entre un 15% - 30% en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero. De los tratamientos evaluados, se determinó que el más efectivo para el desarrollo y producción del tomate en invernadero fue el T2 Nitrobac + Té de compost + Ozono, alcanzando una producción notable de 239 toneladas por hectárea. Esta práctica se presenta como una alternativa sostenible que ayuda a prevenir la aparición de



plagas y enfermedades durante todo el ciclo del cultivo. Además, el ozono libera moléculas de oxígeno que actúan como vehículos para el transporte de nutrientes esenciales para las plantas.

Palabras clave

Fertilización, Ozono, Tomate.



ABSTRACT

Ozone is composed of three oxygen atoms and is a natural disinfectant. Its main advantage is that it decomposes into oxygen when it has already acted, without leaving any type of chemical residue. It oxygenates the roots of plants, prevents pests, diseases and improves their quality. In a previous master's degree work, the optimal dose of ozone was determined at (0.9-0.98 ppm) and based on this, in the present project its nutritional effect was evaluated on tomato cultivation in the greenhouse area, on the campus of the Technologic Nacional de Mexico. Guadiana Valley Technological Institute, located on the highway to Mexico km 22.5 in the Ejido Villa Montemorelos, Durango. A total sample of 32 randomly selected plants was worked, carrying out the same technical management to compare the development and yield of the tomato with the treatments: Biocomplet + Compost tea + Ozone, Nitrobac + Compost tea + Ozone applying them at a dose of 50% ozonized water and the other 50% biostimulant, likewise the Biocomplet + Compost Tea and Nitrobac + Compost Tea treatments, were applied to a dose of 50% unozonized water and the other 50% biostimulant. The results showed that the use of ozone in combination with biofertilizers increased production between 15% - 30% in tomato cultivation under greenhouse conditions. Of the treatments evaluated, it was determined that the most effective for the development and production of tomatoes in the greenhouse was T2 Nitrobac + Compost Tea + Ozone, reaching a notable production of 239 tons per hectare. This practice is presented as a sustainable alternative that helps prevent the appearance of pests and diseases throughout the



crop cycle. In addition, ozone releases oxygen molecules that act as vehicles for the transport of essential nutrients for plants.

Keywords

Fertilization, Ozone, Tomato.



DEDICATORIA

A mis padres **Ramón Castillo Castañeda y Alicia Mata Ramírez**, por apoyarme y guiarme a ser alguien en la vida, por sus consejos para ser mejor persona y salir adelante en mis estudios culminando esta gran etapa, por la confianza que siempre me han dado de que a pesar de situaciones difíciles que se presentan a lo largo del camino me dieron la fuerza para salir adelante y terminar mi grado de maestría.

A mis hermanas **Ma. Guadalupe Castillo Mata y Martha Cecilia Castillo Mata**, pero en especial a mi hermana **Laura Alicia Castillo Mata** por el gran apoyo que siempre me ha brindado y nunca dejarme solo, por todos esos momentos que hemos pasado juntos ya sean buenos o malos, pero siempre ayudándome a ser una mejor persona cada día.

A toda mi familia que ha estado presente en los momentos buenos y sobre todo en los más difíciles, por brindarme su apoyo y salir adelante superando cada obstáculo que se valla presentando y así ir cumpliendo mis metas día con día. A mi abuelita mela^t que, aunque ya no está físicamente en este mundo está en mi corazón le dedico este gran logro que eh conseguido con mucho esfuerzo y dedicación.

A todas las personas que conocí durante esta etapa con las cuales conviví y me apoyaron para lograr el objetivo de terminar mi maestría.



TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN	14
OBJETIVOS	16
Objetivo General	16
Objetivos Específicos	16
HIPÓTESIS	17
Hipótesis alterna	17
Hipótesis nula	17
CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO	18
2.1. Antecedentes	18
2.2. Pesticidas en la agricultura (consecuencias)	24
CAPITULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS	27
3.1. Localización del área experimental	27
3.2. Variables	27
3.3 Establecimiento del proyecto	28
3.4 Desarrollo del proyecto	29
3.5. Diseño experimental	31
CAPITULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	46
REFERENCIAS	49



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Variables a medir.....	32
Figura 2. altura de la planta.....	33
Figura 3. Frutos cuajados por semana	34
Figura 4. Peso de fruto	34
Figura 5. Correlación de variables a medir.....	35
Figura 6. Altura de la planta.....	35
Figura 7. Crecimiento del diámetro del tallo	36
Figura 8. Longitud de hoja.....	36
Figura 9. Número de flores por semana	37
Figura 10. Frutos cuajados por semana	38
Figura 11. Número de flores por tratamiento.....	39
Figura 12. Altura por tratamiento	40
Figura 13. Diámetro del tallo por tratamiento.....	40
Figura 14. Frutos cuajados por tratamiento.....	41
Figura 15. Diámetro polar por tratamiento	42
Figura 16. Diámetro ecuatorial por tratamiento	42
Figura 17. Peso por tratamiento	43
Figura 18. Análisis Bromatológico	44
Figura 19. Enraizamiento.....	45



ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Tratamientos	28
Cuadro 2. Rendimiento del cultivo de tomate	33
Cuadro 3. Comparación de medias	43



CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

El cultivo del tomate, también conocido como jitomate (*Solanum lycopersicum L.*) es de considerable interés ya que tiene una fuerte demanda por los consumidores, en el mercado local, nacional y extranjero, por lo que se posiciona dentro de los cultivos de mayor impacto en el país.

La domesticación del tomate rojo (*Solanum lycopersicum L.*) se realizó en México, aunque tiene su origen en América del Sur, especialmente en países como Chile, Bolivia, Ecuador y Perú. A nivel mundial, los tipos de tomate más comercializados es el bola y saldette y su disponibilidad en el mercado sigue en aumento. (Secretaría de Agricultura, 2016)

A nivel mundial la producción del tomate, basada en datos estadísticos del 2023 es de 205,535,275 toneladas. China produce 50,125,055 toneladas que es equivalente al 27.75% ocupando el primer lugar en producción mundial. Como segundo lugar está la India con una producción de 17,500,000 toneladas lo cual equivale a un 8.29% del total y en tercer lugar esta Estados Unidos con 13,206,950 toneladas que representa el 6.26% de la producción mundial. México tiene el décimo lugar produciendo 3,433,567 toneladas siendo el 1.63% de la producción total de tomate. El Estado de Durango produce alrededor de 49,206 toneladas anuales, ocupando el tercer lugar en productos de exportación en el país. El tomate es el cultivo más exportado por México con 1.5 millones de toneladas anuales que equivale al 50% de la producción del país. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2023)



Las plantas han generado a lo largo de su historia grandes enemigos en forma de insectos, arañas, hongos, virus y bacterias. Entre las principales plagas de tomate se encuentran: Araña roja (*Tetranychus spp*), Mosca blanca (*Bemisia tabaci*), Trips (*Frankliniella occidentalis*), etc.

Existen muchas enfermedades como lo son: Mildiu (*Phytophthora infestans*), Oídio (*Leveillula taurica*), marchitez vascular (*Fusarium oxysporum*), etc. (Mula, 2021). Esto se soluciona con agroquímicos los cuales son dañinos para la salud y el medio ambiente.

Una alternativa ante esta problemática es el uso de ozono (O₃) en el cultivo de tomate, ya que este transforma el agua en un desinfectante poderoso sin dañar el suelo. El sistema de riego mediante agua ozonizada se basa principalmente en la descomposición del ozono en oxígeno que llega hasta la raíz eliminando bacterias, virus, hongos, entre otros microorganismos, así generando un mejor desarrollo en la planta y reduciendo costos en aditivos (abonos, insecticidas), obteniendo una gran cosecha mucho más voluminosa y con una gran calidad del producto (Galindo, 2019).

Por tal motivo el objetivo de este trabajo es la validación de prototipo de producción de ozono y su efecto de bioestimulante en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero.



OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar el ozono y su efecto de bioestimulante en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero.

Objetivos Específicos

- Determinar el rendimiento de cultivo de tomate ($t\ ha^{-1}$) con ozono y diferentes bioestimulantes.
- Evaluar el efecto nutricional por el uso de ozono y sus bioestimulantes en el cultivo de tomate.



HIPÓTESIS

Hipótesis alterna

Ha1. El uso de ozono en dosis de Biocomplet + Té de compost + Ozono y Nitrobac + Té de compost + Ozono incrementa el rendimiento ($t\ ha^{-1}$) de la producción y calidad nutricional del cultivo de tomate.

Hipótesis nula

Ho1. El uso de ozono en dosis de Biocomplet + Té de compost + Ozono y Nitrobac + Té de compost + Ozono, NO incrementa el rendimiento ($t\ ha^{-1}$) de la producción y calidad nutricional del cultivo de tomate.



CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

La importancia en el rendimiento del tomate es un elemento clave que influye en la aceptación y el precio en el mercado. En el caso del tomate fresco, se evalúan aspectos como el aroma, la textura y el sabor. Es relevante señalar que las diferencias en la calidad de los frutos de tomate pueden atribuirse a diversos factores, incluyendo el sistema de producción utilizado. (Hernández, y otros, 2013)

El rendimiento de tomate varía según las condiciones agroclimáticas de la zona donde se cultiva. Así mismo, los avances tecnológicos han hecho posible superar esta restricción mediante el proceso de los frutos. (Rural, 2015)

Los parámetros de tamaño, acidez, sólidos solubles, peso y firmeza pueden emplearse como criterios para determinar la calidad de la hortaliza.

El ozono está compuesto por tres átomos de oxígeno y es un desinfectante natural, su ventaja principal es que se descompone en oxígeno cuando ya ha actuado, sin dejar un tipo de residuo químico.

En la industria de frutas y hortalizas, la ozonización se emplea como una opción para la conservación de hortalizas y frutas, utilizándose como proceso poscosecha en la fase de lavado y el. (Lozowicka, 2016)



El ozono es uno de los oxidantes más poderosos ya que oxida a los metales, excluyendo el oro y los del grupo del platino, al igual que la mayoría de los no metales. En casi todas las reacciones de oxidación de ozono se pierde uno de sus átomos de oxígeno y se modifica en oxígeno molecular. Utilizando su poder oxidante, se logra la desinfección del aire y agua para atacar los virus y bacterias (Cacho, J. & Sainz De Aja, M.j., (1989)).

En los últimos años, gran cantidad de estudios han demostrado el funcionamiento del ozono en la agricultura, teniendo como resultado que su capacidad de descontaminante y oxidante es alrededor de 3.000 veces mayor a la del cloro y otros químicos.

El ozono oxigena las raíces de las plantas, previniendo plagas y enfermedades y mejora su calidad.

Los generadores de ozono pueden eliminar los pesticidas ayudando al sector agrícola en la manipulación de químicos que pueden ocasionar daños a las personas que los utilizan.

Los sistemas de ozono minimizan los costos e incrementan la rentabilidad y eficiencia de la explotación agrícola ya que existe un ahorro en abonos, fitosanitarios y agua de riesgo.

Aplicaciones del ozono en agricultura:

- Inyección de agua ozonizada en el riego: este desinfecta las raíces, deteniendo la aparición de enfermedades ocasionadas por bacterias y



hongos, así mismo limpia los suelos eliminando los restos de pesticidas que aún se encuentran en él.

La desintegración del ozono en oxígeno genera nuevas y sanas raíces.

- Tratamiento foliar: el ozono evita que la planta sea atacada por bacterias, como la podredumbre parda o botritis, mildiu y ceniza.

El agua ozonizada es útil para la desinfección de frutas y verduras evitando la ingesta de residuos de plaguicidas o pesticidas.

Utilización del ozono en cultivo de regadío:

- Riego con agua ozonizada en invernaderos ecológicos e hidropónicos y a cielo abierto.
- Pulverización aplicando foliares con agua ozonizada.
- Higienización y desinfección en diferentes medios de cultivo.
- Riego y tratamiento con agua ozonizada en viveros y semilleros.

Utilización del ozono en postcosecha:

- Desinfección y lavado de frutas y hortalizas.
- Preservación de frutas y hortalizas en cámaras frigoríficas (ozono gas).
- Manejo de etileno con ozono gas.
- Limpieza de envases, maquinaria y salas de manipulación.



El ozono mejora la rentabilidad en la agricultura; ayudando a la calidad de la producción y cuidando la salud del cultivo.

- El agua de riego es un gran desinfectante.
- Útil contra microorganismos indeseados (hongos, virus y bacterias).
- No lastima a la planta al momento de desinfectarla.
- Oxigena las raíces del cultivo.
- Reduce costos (ahorro en químicos).
- Genera mayor producción y calidad en los frutos.
- Ayuda al crecimiento de la planta.

El ozono es un gas levemente azul, muy característico por su olor ya que se distingue posterior a alguna tormenta eléctrica. Es volátil y poco diluyente ya que solo se mantiene unos minutos en agua; en el proceso de aplicación se pierde alrededor de un 10% por volatilización. Los tratamientos de desinfección del agua cambian dependiendo de sus necesidades. (Revista Electrónica de Veterinaria REDVET®, 2006)

El ozono es una técnica eficaz y segura que se puede utilizar antes, durante y después de la plantación. Este elimina los problemas de contaminación del suelo que son generados principalmente por microorganismos e insectos, estos se presentan por la falta de rotación de cultivo en el suelo.

Existen dos tipos de desinfección de suelo agrícola:



- Físicos: son naturales pero muy costosos, ya que se realizan mediante vaporización de agua.
- Químicos: estos se llevan a cabo mediante la utilización de cloropicrina y bromuro de metilio, etc.

Por lo anterior podemos decir que el ozono es un método natural que logra desinfectar el suelo de forma constante.

Inconvenientes de la desinfección tradicional del suelo agrícola:

- Los métodos de desinfección tienen costos muy elevados y requieren de mucho tiempo.
- Minimizan su efectividad, ya que solo se utilizan en ciertas temporadas.
- Se prohíben diferentes sustancias descontaminantes debido al daño que ocasionan al medio ambiente.
- El uso de químicos es peligroso tanto para el fruto como para las personas que los manipulan.
- No se puede aplicar desinfectantes a cultivos ya establecidos.
- Se requiere de técnicas de aplicación laboriosas.

Desinfectante de suelo agrícola a nivel de raíz:

Se pretende que los métodos de desinfección penetren hasta la raíz de la planta, lo cual es difícil si se hace mediante algún método tradicional.



Para alcanzar penetrar hasta la raíz se necesita depositar y mezclar los productos químicos, lo cual ocasiona un incremento en costos y mano de obra.

Inconveniente por insectos y bacterias agrícolas:

Los microorganismos consumen gran parte de materia orgánica, minimizando los nutrientes del suelo necesarios para la calidad de la producción. De igual manera los hongos llegan a dañar los cultivos, puesto que su reproducción es muy acelerada.

Por lo anterior el uso del ozono elimina las bacterias y hongos que dañan el cultivo, siendo una técnica muy efectiva realizándose mediante el riego establecido, ozonizando el agua. Los nematodos o gusanos redondos (aunque muchos de ellos no tienen esa forma) son organismos multicelulares. Se encuentran en animales, plantas y suelos (tanto en su interior como en superficies), así como en materia orgánica en descomposición, aguas dulces y saladas. (Guzmán, 2012)

El ozono no daña las plantaciones solo desinfecta el suelo, el agua y el ambiente. Por medio del riego el agua ozonizada llega hasta la raíz de la planta, convirtiéndose en oxígeno incrementando la calidad de la tierra y destruyendo diferentes microorganismos que se encuentran en ella.

El uso del ozono durante el riego logra la descontaminación constante del suelo. La prevención en la aparición y contagio de enfermedades al igual que desinfección



del ambiente, se lleva a cabo mediante el uso del ozono ya que tiene un efecto oxidante muy efectivo. (Lara-Fernández, 2020)

A través del ozono se obtiene una mayor calidad en el producto, así mismo una minimización de costos de descontaminación y enriquecimiento de suelos (Martínez, 2020).

2.2. Pesticidas en la agricultura (consecuencias)

En la agricultura se utilizan agroquímicos elevadamente tóxicos y perjudiciales puesto que los elementos conforman su estructura química y generan un impacto en el ecosistema al aplicarse de manera excesiva a los diferentes cultivos. Dichos elementos presentan modificaciones después de ser incorporados en el suelo, por lo cual alrededor del 95 % de los herbicidas y el 98% de los insecticidas que se utilizan no llegan de forma directa a la planta y son esparcidos mediante el agua y el viento. Los residuos volátiles son componentes tóxicos que se trasladan a largas distancias, pasando la atmósfera e incorporándose al suelo en forma de lluvia (lixiviación o lavado y escorrentía) para contaminar las fuentes de agua subterránea y superficiales (mares, lagos y ríos). (Geta, 1992)

El ozono desinfecta el agua, aportando a la planta riegos sin presencia de patógenos, eliminando virus, bacterias, nematodos, hongos y esporas que pueden dañar su sano crecimiento. De igual forma fortalece las raíces oxigenándolas, si se



aplica de forma foliar se logran eliminar enfermedades presentes en hojas y tallos; obteniendo una mayor producción de mejor calidad.

Mediante el riego en invernaderos con agua ozonificada se logrará la oxidación de sustancias presentes en la misma, convirtiéndolas en desinfectantes. Lo que indica que por donde se traslade el ozono habrá una mayor limpieza.

Raíces. La raíz de la planta aprovecha sus pelos para aspirar del suelo, agua y sales minerales. Cuando el agua ya haya sido ozonizada, se encontrará limpia y la raíz estará libre de hongos, bacterias, virus u otros microorganismos; con lo cual se evitará la presencia de enfermedades.

Una raíz sana es más fuerte y presenta un mayor rendimiento en la producción de cualquier cultivo ozonificado.

Resistencia. La aplicación de riegos con ozono genera raíces abundantes y resistentes. Mediante el crecimiento del sistema radicular se genera mayor absorción de nutrientes del suelo y se incrementa una mayor inserción de la planta, esto hace que se obtengan tallos más gruesos.

Oxigenación. Para tener un crecimiento más rápido de lo común se necesita una gran oxigenación, lo que conlleva a que los cultivos tengan mucha más fuerza, un mejor sabor, un mejor tamaño y una mayor producción de cosecha. (Serenó, 2024)



Tomando en cuenta que los grados Brix miden la dosis de azúcar que se encuentra en las verduras y frutas, mediante los cuales se obtiene el sabor cuanto mayor sea el número de grados Brix más dulce será el fruto. Existen diferentes causas por las cuales pueden variar los grados Brix, desde el tipo de especie y diferente variedad, hasta el tipo de suelo en el que se encuentra la planta. Por lo cual el ozono es muy útil para aumentar este relevante indicador y así mismo mantener la textura y el sabor del fruto.

En el fruto de tomate se puede alargar un 40% más su vida aplicando ozono en cámaras frías. Se puede aumentar incluso 6 días la vida útil, mejorando su frescura, aroma y evitando que aparezcan pudriciones en el fruto. (Serenó, 2024)



CAPITULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del área experimental

El presente proyecto se realizó en el área de invernaderos, del Tecnológico Nacional de México campus Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana, ubicado en la carretera a México km 22.5 en el Ejido Villa Montemorelos, Durango.

3.2. Variables

Las variables a evaluar son las del efecto nutricional:

- Grados Brix
- Materia seca (MS)
- Ceniza (C)
- Proteína cruda (PC)
- Grasa seca (GS)

Variables de respuesta:

- Diámetro polar (mm)
- Ecuatorial (mm)
- Peso de fruto (g)
- Número de frutos
- Rendimiento ($t\ ha^{-1}$)



3.3 Establecimiento del proyecto

Se desarrollo el proyecto en el invernadero contando con una muestra total de treinta y dos 32 plantas, las cuales se dividieron de forma equitativa en cada uno de los cuatro tratamientos establecidos, se preparó el terreno (preparación de cama, instalación del sistema de riego, acolchado, trasplante) realizando un manejo técnico de cultivo (deshoje, deschuponado, polinización y fertilización), se realiza la aplicación ozono vía sistema de riego (0.90 - 0.98 partes por millón) en un intervalo de 8 días de los cuatro tratamientos en las plantas seleccionadas para el proyecto.

Tratamiento	Características	Dosis
T1	Biocomplet + Té de compost + Ozono	50%
T2	Nitrobac + Té de compost + Ozono	50%
T3	Biocomplet + Té de compost	50%
T4	Nitrobac + Té de compost	50%

Cuadro 1. Tratamientos



3.4 Desarrollo del proyecto

La preparación del terreno fue el primer paso del proceso, que incluyó la creación de camas de acolchado negro plateado y la instalación de un sistema de riego por goteo que se activaba cada tres días. Posteriormente, se realizó el trasplante de las plántulas de tomate de la variedad "Benedetti", el cual tuvo lugar el 5 de abril de 2022.

Se utilizó un total de treinta y dos 32 plantas, las cuales se distribuyeron equitativamente entre los cuatro tratamientos previamente establecidos. Las variables que se midieron en cada planta incluyeron el grosor del tallo, que se registró utilizando un calibrador digital; la altura, y la longitud de la hoja intermedia entre el suelo y la punta del tallo, que se midieron con una cinta métrica. Además, el peso de los frutos se determinó con una báscula digital, y los grados Brix se midieron utilizando un refractómetro manual.

Se implementó un manejo técnico del cultivo que comenzó con el deshoje, técnica que consiste en eliminar las hojas más bajas. Este proceso continuó a medida que los primeros racimos comenzaban a madurar y se extendió hasta la cosecha. También se llevó a cabo el deschuponado: una vez que aparecieron los brotes en las axilas de las hojas, se decidió mantener las plantas con doble tallo para favorecer su desarrollo y asegurar una adecuada polinización, la cual ocurre naturalmente gracias a insectos y al viento.



Se realizaba el riego cada tercer día en el total de las treinta y dos plantas. La fertilización fue realizada cada ocho días a cada planta de tomate utilizando un equipo de aspersión con capacidad para 10 litros, la cual consistía en poner a ozonificar una cubeta de agua al 50% y el otro 50% estaba formado por una mezcla de Biocomplet® más té de compost para ser aplicada a las ocho plantas ya establecidas del primer tratamiento T1. De la misma manera el tratamiento T2 consistía en agregar Nitrobac® más Té de compost en un 50% y el agua ozonificada completaba el 50% restante. El tratamiento T3 tenía una dosis del 50% de agua y el otro 50% lo conformaba el Biocomplet® más té de compost. Por último, el tratamiento T4 estaba conformado por un 50% Nitrobac® más Té de compost y un 50% restante de agua.

Cabe mencionar que para llevar a cabo el proceso de ozonificación del 50% de agua se utilizó un ozonificador que requería ser conectado a la red eléctrica entre 5 a 10 minutos, manteniendo una concentración entre 0.90 y 0.98 partes por millón.

Ya una vez preparados los cuatro tratamientos se aplicaban de forma foliar a cada una de las treinta y dos plantas de manera equitativa.

Las variables que se evaluaron en cada una de las plantas incluyeron el grosor del tallo, que se midió con un calibrador digital. La altura de la planta y la longitud de la hoja intermedia, situada entre el suelo y la punta del tallo, se determinaron utilizando una cinta métrica. El peso de los frutos se registró con una báscula digital, mientras que los grados Brix, que indican el contenido de azúcares en los frutos, se obtuvieron mediante un refractómetro manual. Este enfoque multidimensional



permite una evaluación más completa del crecimiento y desarrollo de las plantas, proporcionando datos cruciales para entender su rendimiento y calidad.

Se realizó un monitoreo constante de las plantas para identificar cualquier indicio de plagas o enfermedades que pudieran comprometer el cultivo de tomate. Para analizar los datos obtenidos en cada medición, no presentándose ningún tipo de enfermedad en las plantas.

3.5. Diseño experimental

Se implementó un diseño experimental completamente al azar, con tratamientos múltiples, siendo las plantas las unidades experimentales y se empleó el método de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) para evaluar las diferencias entre los tratamientos. A través del uso del programa RStudio, se llevó a cabo un análisis estadístico avanzado que permitió examinar los datos obtenidos en cada una de las variables. Esto facilitó la determinación de la correlación existente entre las variables a evaluar. Este enfoque no solo garantiza la validez de los resultados, sino que también permite identificar patrones y relaciones significativas que pueden influir en el rendimiento de las plantas, enriqueciendo así el análisis general del experimento.



CAPITULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se llevó a cabo un análisis tanto descriptivo como inferencial de los datos obtenidos en el cultivo de tomate en invernadero en el Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana.

En la figura 1. se observa la base de datos y variables a medir en el proyecto.

	PLANTA <chr>	ALTURA <dbl>	DIAMETRO_TALLO <dbl>	LONGITUD_HOJA <dbl>	TALLO <dbl>	TRATAMIENTO <dbl>	SEMANA <dbl>
1	R1	15	3.7	8.5	1	1	1
2	R2	29	5	14	2	1	1
3	R3	43	7.3	15.5	2	1	1
4	R4	17	2.5	9	1	1	1
5	R5	34	6.6	17	1	1	1
6	R6	28.5	3.6	10.5	2	1	1

Figura 1. Variables a medir

Con base al análisis de los datos obtenidos del programa RStudio se puede determinar que la dosis optima de ozono fue de 0.9 - 0.98 partes por millón esta misma dio un incremento hasta un 12.36% en proteína cruda y el más bajo de 9.41%.



Como se puede observar en el Cuadro 2. el rendimiento de cultivo de tomate ($t\ ha^{-1}$) los tratamientos T1, T2 y T4 no presentan una diferencia significativa, así mismo el tratamiento T3 es significativamente diferente a los demás tratamientos.

Tratamiento		Rendimiento ($t\ ha^{-1}$).
T1	Biocomplet + Té de compost + Ozono	181 a
T2	Nitrobac + Té de compost + Ozono	239 a
T3	Biocomplet + Té de compost	144 b
T4	Nitrobac + Té de compost	191 a

Cuadro 2. Rendimiento del cultivo de tomate

La figura 2. representa la altura de la planta a lo largo de su ciclo, teniendo que el tratamiento T2 exhibió un crecimiento más rápido y uniforme a diferencia del tratamiento T3 que su crecimiento fue el más lento de todos.

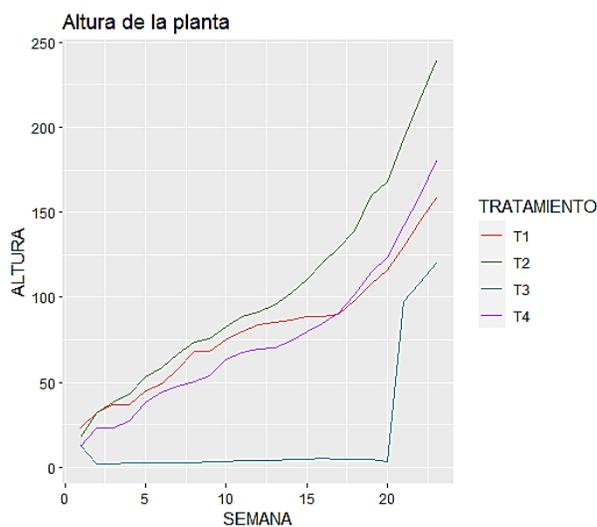


Figura 2. altura de la planta



En la figura 3 se muestra la relación que existe por semana de los frutos cuajados, como se indica el tratamiento T2 tuvo el mayor rendimiento y el tratamiento T3 fue el de menor producción.

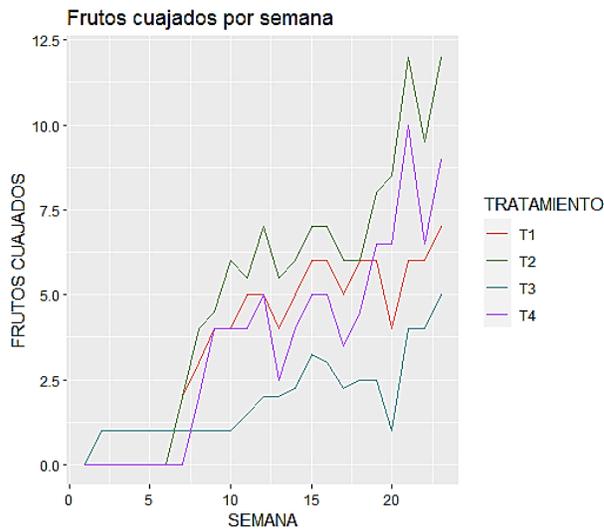
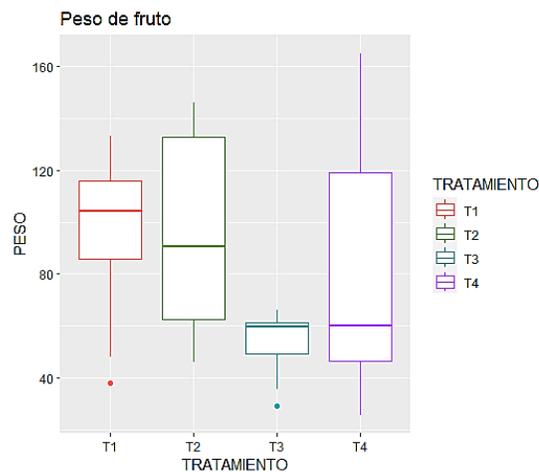


Figura 3. Frutos cuajados por semana

Como se puede observar en la figura 4. los tratamientos T1 y T2 tienen un comportamiento similar, a diferencia del tratamiento T3 y T4 que el peso del fruto



resulto ser menor.

Figura 4. Peso de fruto



En la figura 5. se observa la correlación que existe en las variables de respuesta.

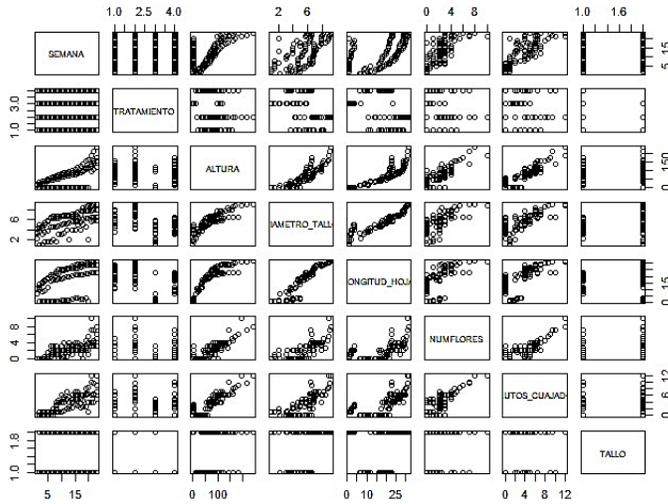


Figura 5. Correlación de variables a medir

Se muestra dentro de la figura 6. que en el tratamiento T3 quedaron plantas muy pequeñas, en relación a los demás tratamientos.

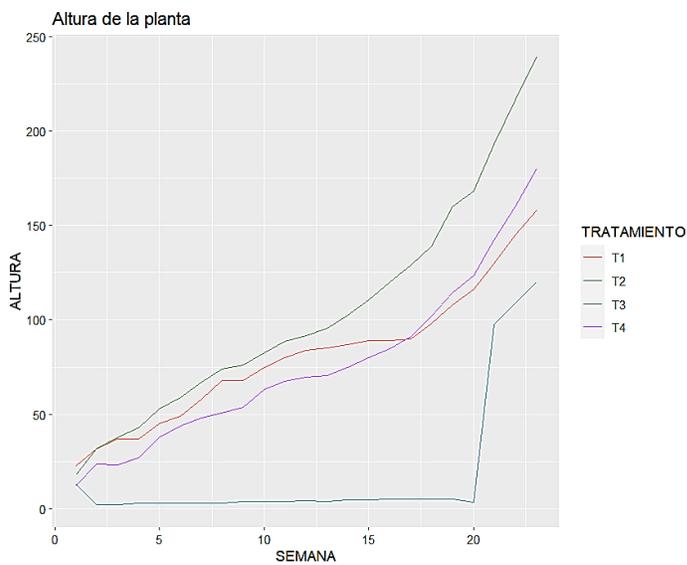


Figura 6. Altura de la planta



Se visualiza en la figura 7. el crecimiento en el diámetro del tallo en cada uno de los tratamientos, existiendo una interacción entre los tratamientos T1 y T2 ya que estos son los que presentaron una medida mayor del diámetro.

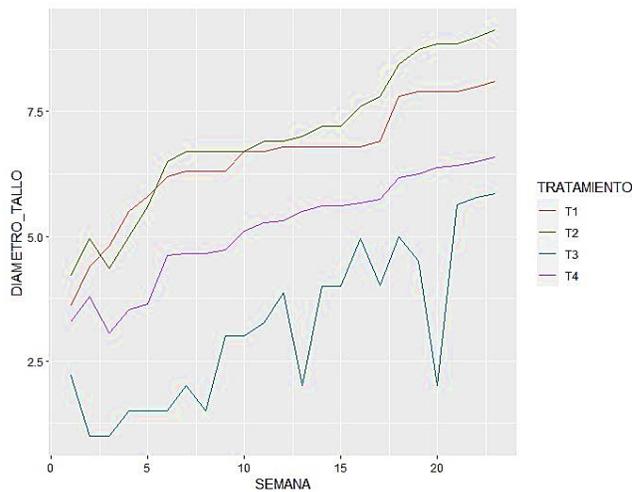


Figura 7. Crecimiento del diámetro del tallo

Conforme pasaron las semanas la longitud de hoja de los tratamientos T1 y T2 fueron creciendo en mayor proporción que el tratamiento T3 y T4 como se puede visualizar en la Figura 8.

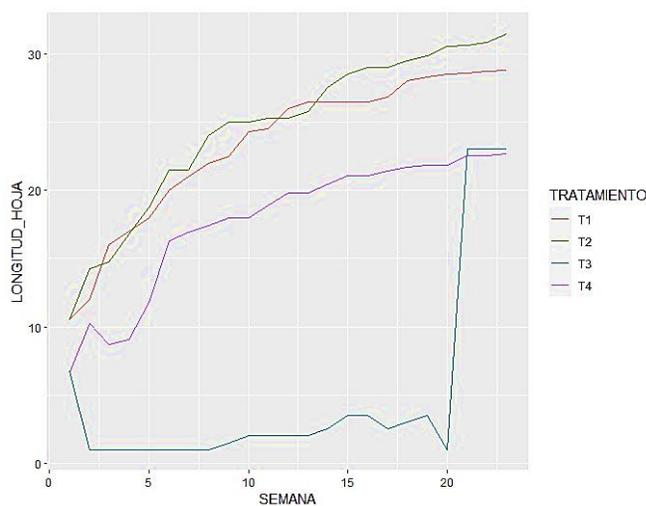


Figura 8. Longitud de hoja



La Figura 9. indica que el número de flores del T3 es menor a pesar que fue el primero que comenzó a florear, el T4 es el que en cierto periodo dio menos número de flores y el T1 y T2 son los que están por encima de los demás.

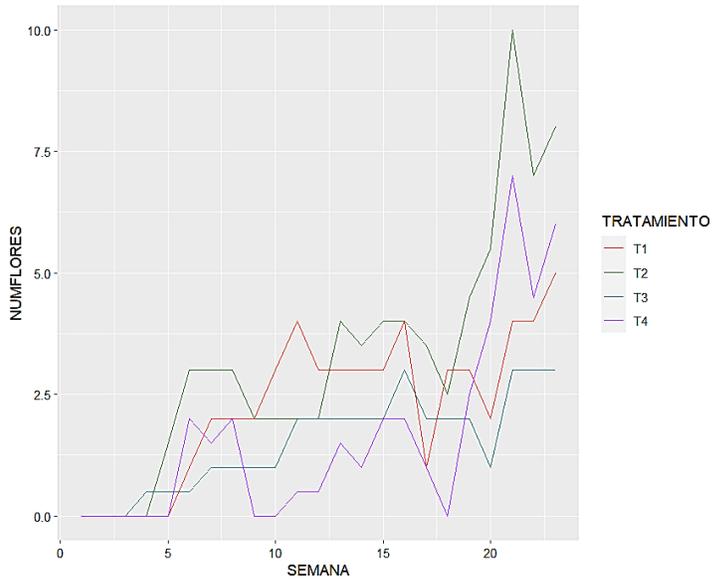


Figura 9. Número de flores por semana



El tratamiento T3 fue el primero que presentó floración y por lo tanto fue el que comenzó a dar frutos cuajados, pero al paso de las semanas el T1 fue el que obtuvo mayor número de frutos cuajados que todos los demás, los T1 y T2 presentaron mayor número de flores, pero el T2 y T4 fueron los que tuvieron mayor número de frutos cuajados es lo que se observa en la figura 10.

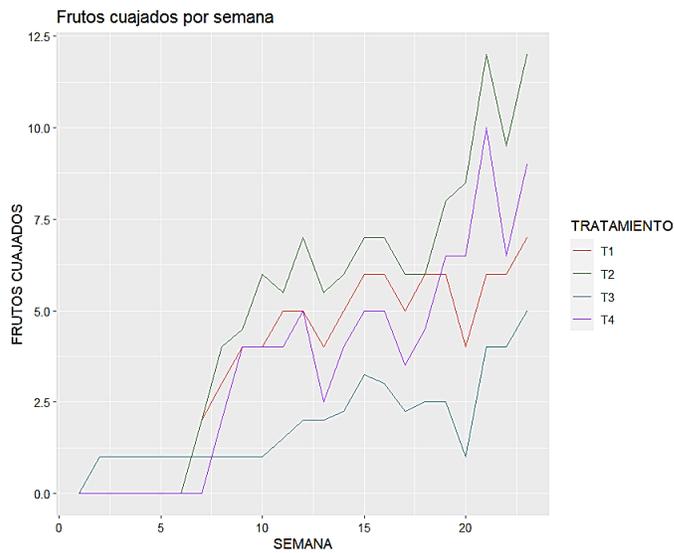


Figura 10. Frutos cuajados por semana



La figura 11 indica el comportamiento de número de flores según los tratamientos, cuando las líneas se traslapan se juntan en un punto y es posible que no haya diferencia significativa entre el número de flores y tratamientos, se observa que los T2 y T4 son atípicos los cuales no se comportan como el total de los datos que se tiene.

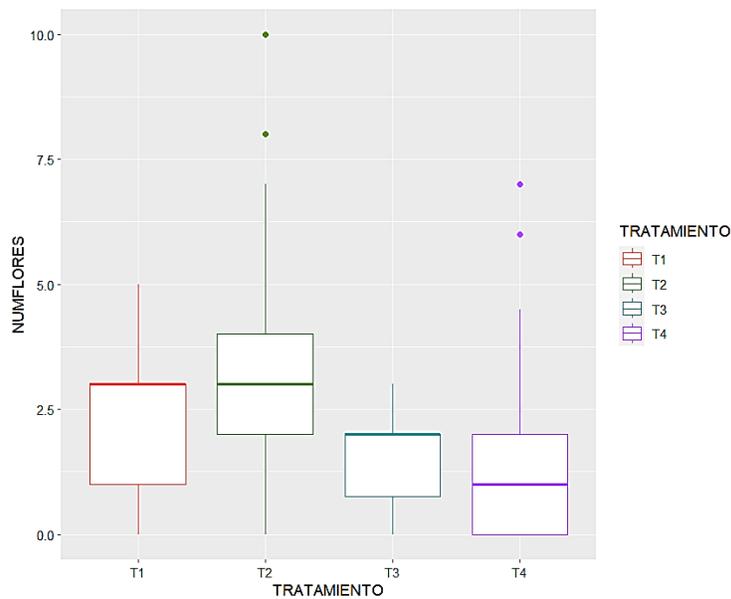


Figura 11. Número de flores por tratamiento



En la figura 12 se observa que el T2 es el que tuvo mayores alturas, no se tiene datos atípicos y el T3 presenta alturas muy pequeñas.

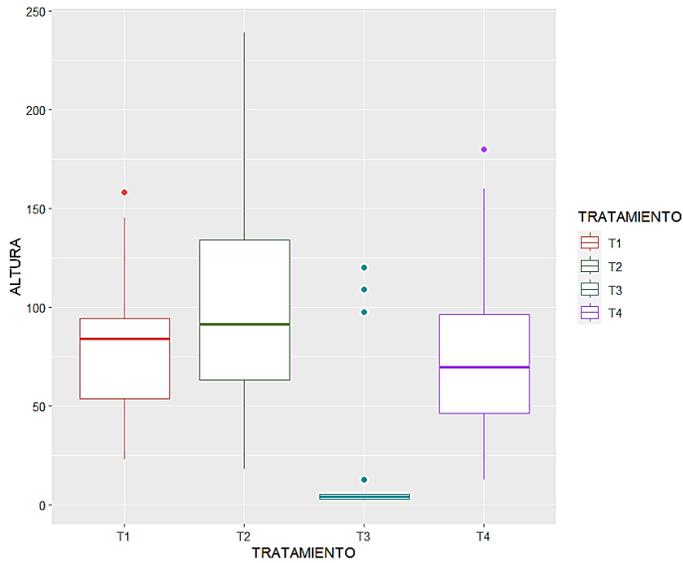


Figura 12. Altura por tratamiento

Se muestra en la figura 13 que el T1 y T2 tienen datos atípicos inferiores en el diámetro del tallo.

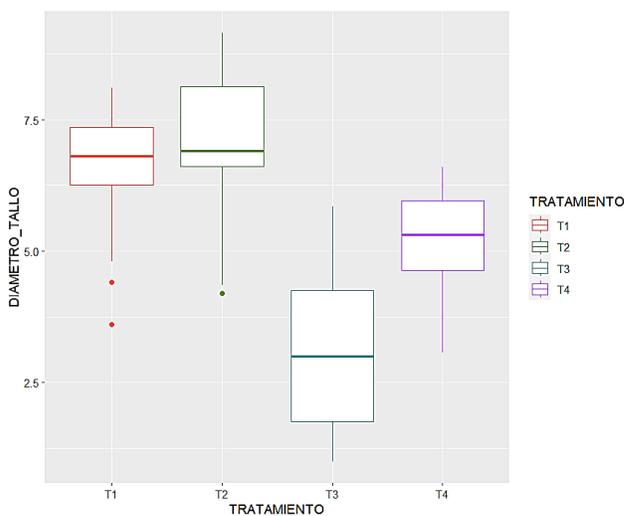


Figura 13. Diámetro del tallo por tratamiento



La figura 14 nos dice que no hay diferencia significativa entre el número de frutos cuajados y los tratamientos.

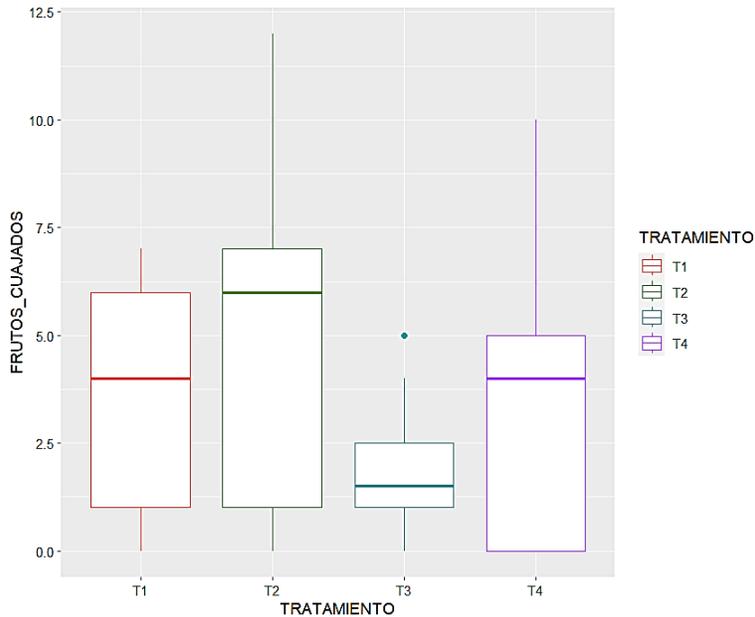


Figura 14. Frutos cuajados por tratamiento

Los datos se evaluaron con un ANOVA, y se aplicaron pruebas de medias Tukey ($P \leq 0.05$). Teniendo como resultado para la variable de número de frutos cuajados los tratamientos T2 y T3 son diferentes significativamente según el número de frutos cuajados.

La prueba de pruebas de medias Tukey ($P \leq 0.05$) nos indica que el tratamiento T3 es diferente significativamente con los tratamientos T1, T2 y T4, en la variable del rendimiento del tomate.



La figura 15 nos dice que según el número de frutos por tratamiento del diámetro polar del T3 está más abajo que los demás tratamientos.

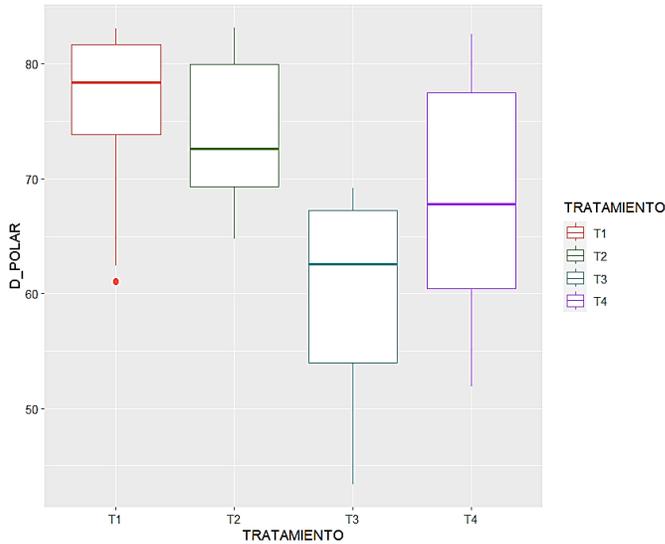


Figura 15. Diámetro polar por tratamiento

No existe una diferencia entre el diámetro ecuatorial de cada uno de los tratamientos, basandonos es lo que indica la Figura 16.

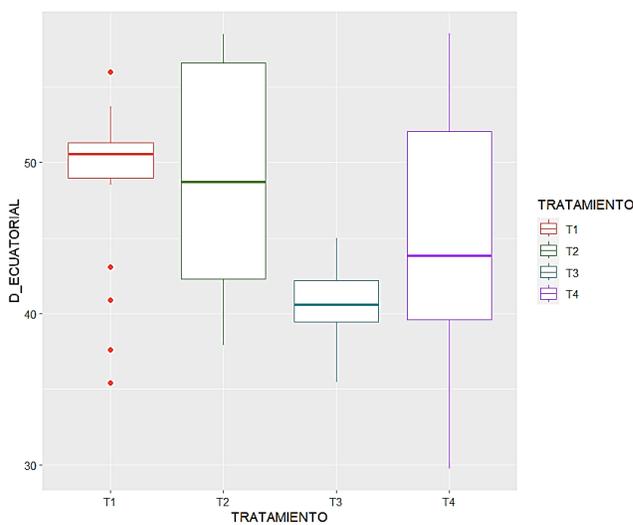


Figura 16. Diámetro ecuatorial por tratamiento



En la figura 17 se encuentra una diferecia significativa entre el peso según el tratamiento.

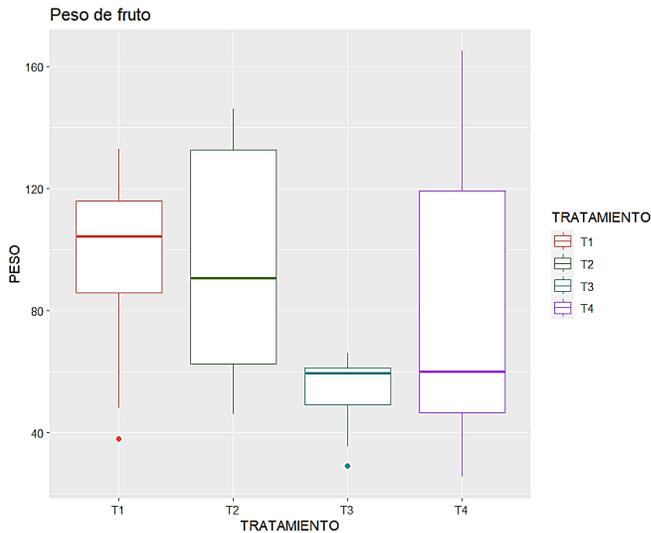


Figura 17. Peso por tratamiento

Cuadro 3. Comparación de medias entre los tratamientos y las variables a medir, en donde se indica que los tratamientos T1 y T2 fueron los de mejor respuesta.

Tratamientos	diámetro polar (mm)	diámetro ecuatorial (mm)	grados brix	peso de fruto (g)
T1 Biocomplet + Té de compost + Ozono	74.4	49.9	4.5	101.7
T2 Nitrobac + Té de compost + Ozono	77.9	50.5	5.0	103.0
T3 Biocomplet + Té de compost	59.5	40.7	3.5	56.0
T4 Nitrobac + Té de compost	68.8	47.00	4.0	88.7

Cuadro 3. Comparación de medias



La figura 18. Muestra el análisis bromatológico de los tratamientos, donde T3 tiene más ceniza, más grasa y más materia base seca, pero menos proteína cruda, T2 presento más proteína cruda.

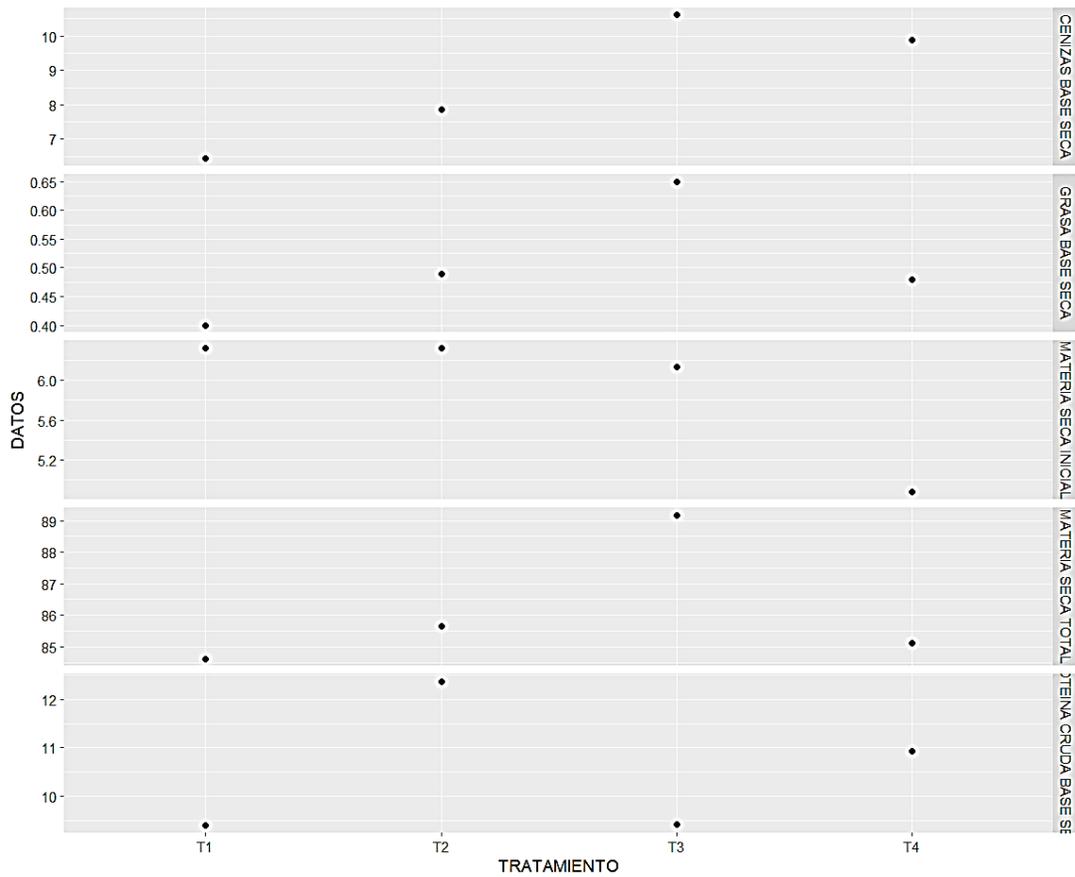


Figura 18. Análisis Bromatológico



Una vez concluida la cosecha de tomate se procedió a retirar las plantas, observando que los tratamientos con ozono presentaron un mejor enraizamiento como se muestra en la figura 19.



Sin Ozono



Con Ozono

Figura 19. Enraizamiento



CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- A partir del análisis de los datos recolectados mediante el programa RStudio, se puede concluir que el prototipo desarrollado por el Ing. Jonatan Granados Santos resulta ser efectivo en la producción de ozono, superando las alternativas comerciales. La dosis óptima identificada se sitúa entre 0.9 y 0.98 partes por millón, lo que permitió un aumento notable de hasta un 12.36% en el contenido de proteína cruda, mientras que el incremento más bajo registrado fue del 9.41%. Esta metodología no solo es eficaz para mejorar la producción, sino que también contribuye a la reducción y/o eliminación del uso de pesticidas, dado que durante todo el ciclo productivo del tomate no se registró ninguna presencia de plagas o enfermedades.
- En la comparación de diferentes tratamientos, se evaluaron las siguientes combinaciones: T1 (Biocomplet® + Té de compost + ozono), T2 (Nitrobak® + Té de compost + ozono), T3 (Biocomplet® + Té de compost) y T4 (Nitrobac® + Té de compost). Los resultados mostraron que el tratamiento T2 (Nitrobak® + Té de compost + ozono) logró una mejor adaptación y un incremento significativo en su rendimiento. Por otro lado, el tratamiento T3 (Biocomplet® + Té de compost) fue el que presentó el menor rendimiento y desarrollo.



- En conclusión, la combinación de ozono con biofertilizantes se establece como una alternativa sostenible para mejorar diversos parámetros agronómicos como el rendimiento, la altura de las plantas, los grados Brix y el tamaño de los frutos. Además, esta combinación previene eficazmente la aparición de plagas y enfermedades a lo largo del ciclo del cultivo. Esto se debe a que la aplicación de ozono genera una molécula de oxígeno que actúa como un vehículo transportador de nutrientes. Por lo tanto, se evidencia que el uso del ozono es efectivo en la gestión del cultivo de tomate en condiciones de invernadero, alcanzando un rendimiento notable en el tratamiento T2 (Nitrobak + Té de compost + Ozono) con 239 toneladas por hectárea.



A partir de los resultados obtenidos en el análisis de los datos mediante el programa RStudio, se recomienda priorizar el tratamiento T2 (Nitrobak® + Té de compost + ozono) debido a su notable rendimiento y adaptación, alcanzando hasta 239 toneladas por hectárea. Este enfoque no solo optimiza la producción agrícola, sino que también contribuye a la sostenibilidad al reducir o eliminar la necesidad de pesticidas, dado que no se registró presencia de plagas o enfermedades durante el ciclo productivo.

Finalmente, se recomienda fomentar la capacitación de los productores agrícolas sobre el uso del ozono ya que este ayuda a prevenir plagas y enfermedades en diferentes cultivos, siendo esta una práctica agrícola sostenible que beneficia tanto al medio ambiente como a la rentabilidad de las cosechas.



REFERENCIAS

- Bidwell R.G.S. (1990). Fisiología vegetal. *Redalyc*, 88. Mexico. D.F.
- Cacho, J. & Sainz De Aja, M.j. ((1989)). *El agujero de ozono*. Madrid: Tabapress.
- Cebolla, C., & Santoro, J. (2019). *AutoCAD 2019 Curso práctico*. Ciudad de México: Ra-Ma.
- Clearpath. (2020). *Clearpathrobotics*. Recuperado el 06 de 2020, de Clearpath: <https://clearpathrobotics.com/>
- Comercial Agrícola de Riego. (2019). *GESTIRIEGO. Colombia*. Recuperado el 07 de 11 de 2021, de <https://www.gestiriego.com/mx>
- Comercial Agrícola de Riego, G. (marzo de 2019). *GESTIRIEGO. Colombia*. Obtenido de <https://www.gestiriego.com/uso-de-ozono-en-los-cultivos/>
- Dogra, S., & Willis, J. (2018). *Solidworks 2019 A power Guide for Beginners and Intermediate Users* (6 ed.). CADArtifex.
- Earthsense. (2021). *Earthsense*. Recuperado el 07 de 2020, de Earthsense: <https://www.earthsense.co>
- Falck, B., Falck, D., & Collette, B. (2012). *Freecad [How-To]*. Packt Publishing Ltd.
- Ferrara, A., Incremona, G., & Regolin, E. (2019). Optimization-based adaptive sliding mode control with application to vehicle dynamics control. *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, 29(3), 550-564.
- Galindo, S. L. (2019). Ozonoterapia, una opción para el sector agropecuario. REDVET. España. <https://www.redalyc.org>, 17.
- Geta, L. (1992). Las aguas subterráneas y los plaguicidas. *Redalyc*.
- González, V. (2017). *Tecnologías bluetooth aplicadas al control de vehículos terrestres no tripulados para aspersión de agroquímicos*. Colima.
- Grayson, J. (2000). *Python and Tkinter programming*. Greenwich: Manning Publications Co.
- Guzmán, O. C. (2012). *Principales nemátodos fitoparásitos y síntomas ocasionados en cultivos de importancia económica*. Obtenido de Rev. agron., 20(1), 38 -50. : [http://agronomia.ucaldas.edu.co/downloads/Agronomia%2020\(1\)completa.pdf#page=38](http://agronomia.ucaldas.edu.co/downloads/Agronomia%2020(1)completa.pdf#page=38)



- Hao, Y. A. (2005). Planning and control of UGV formations in a dynamic environment: A practical framework with experiments. *Robotics and Autonomous systems* 51 (2-3), 101-110.
- Herbert, M. H. (2012). *Intelligent unmaned ground vehicles: autonomous navigation research at Carnegie Mellon*. Pittsburgh: Springer Science Bussines Media.
- Hernández, E., Lobato, R., García, J., Reyes, D., Méndez, A., & Bonilla, O. y. (2013). Comportamiento agronómico de poblaciones F2 de híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Rev. Fitotec.*, 215.
- Jiménez-Orocio, O. E. (2015). La investigación científica sobre dunas costeras de México: origen, evolución y retos. *Revista Mexicana de Biodiversidad*.
- Kim, D. y Yu, K.B. (2009). A conceptual model of coastal dune ecology synthesizing spatial gradients of vegetation, soil, and geomorphology. *Plant Ecology* 202, 135–148.
- Laghrouche, S. P. (2007). Higher order sliding mode control based on integral sliding mode. *Automatica*, 43(3), 531-537.
- Lara-Fernández, G. E. (junio de 2020). *Ozono como método de desinfección del ambiente hospitalario*. Obtenido de https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0001-60022020000200072
- Liu, J. (2017). *Sliding Mode Control Using MATLAB*. Beijing, China: Academic Press.
- Lozowicka, B. J. (2016). *Removal of 16 pesticide residues from strawberries by washing with tap and ozone water, ultrasonic cleaning and boiling*.
- Lutz, M. (2013). *Learning python: Powerful object-oriented programming*. O'Reilly Media, Inc.
- Manzanilla, A., Ibarra Jiménez, E., Salazar, S., Zamora, Á., Lozano, R., & Muñoz, F. (2021). Super-twisting integral sliding mode control for trajectory tracking of an Unmanned Underwater Vehicle. *Ocean Engineering*, 234, 109-164.
- Martín, F. J., & Castiel, E. F. (2017). *Fitotécnia, Principios de agronomía para una agricultura sostenible* (1° ed.). Mundi-Prensa.
- Martínez, M. L. (2008). Dunas costeras. *Investigación y Ciencia* 38. 26-35.
- Martínez, S. L. (2020). *Tratamientos Agrícolas*. EVO INDUSTRIA Copyright. España. Recuperado el 07 de 11 de 2021, de <https://evoindustria.com/>



- Mendoza Mendoza, J. A., Gonzalez, V., Sepúlveda, G., Mendez, M., & Sossa, H. (2020). *Advanced Robotic Vehicles Programming*. Ciudad de México: Apress.
- Mula, J. A. (2021). Cultivo de tomates. *Agromatica.es Copyright © 2021*. Obtenido de <https://www.agromatica.es/cultivo-de-tomates>
- Organizacion de las Naciones Unidas para la Alimentacion y la Agricultura (FAO). (2023). *Organizacion de las Naciones Unidas para la Alimentacion y la Agricultura (FAO)*. Recuperado el 11 de 2021, de <https://www.fao.org>
- Ortuño, J. M. (2019). *Fundamentos agronómicos*. Sintesis.
- Revista Electrónica de Veterinaria REDVET®. (2006). Ozonoterapia, una opción para el sector agropecuario. *Revista Electrónica de Veterinaria REDVET®*, 17.
- Rodrigues, R. S., Mascarenhas, A., & Jagtap, T. G. (2011). An evaluation of flora from coastal sand dunes of India: Rationale for conservation and management. *Ocean and Coastal Management* 54:2, 181-188.
- Rodríguez-Martínez, R. E.-D. (2017). Afluencia masiva de sargazo pelágico a la costa (2014-2015). En: *García Mendoza E., S.I. Quijano-Scheggia, A. Olivos-Ortíz, E.J. Núñez-Vázquez. Florecimientos algales nocivos en México. CICESE, Ensenada, BC., 352-365.*
- Roldán, J. J.-R.-A. (2018). *Robots in Agriculture: State of Art and Pratical Experiences*. In Service Robots. InTech.
- Rural, I. d. (2015). Red provincial de precios pagados a productor informes por producto tomate. *Dialnet. org*.
- Sagarobotics. (2020). *Sagarobotics*. Recuperado el 06 de 2020
- Santos, J. G. (2023). Desarrollo de un prototipo generador de ozono O3 alimentado por fotocelda para su uso en la agricultura. Durango., Dgo.
- Secretaría de Agricultura, G. D. (2016). *Estudio de oportunidades de mercado e inteligencia comercial y estudio de logística internacional de tomate*. Obtenido de <http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios>
- Sereno, Á. M. (2024). El ozono actua eliminando o impidiendo la multiplicacion de microorganismos. *CosemarOzono*.
- Sereno, Á. M. (2024). Ozono en los Invernaderos. *CosemarOzono*.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2022). *Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural*. Obtenido de <http://www.siap.gob.mx>



- Shtessel, Y., Edwards, C., & Fridman, L. (2014). *Sliding mode control and observation* (Vol. 10). New York: Springer New York.
- SIPSE. (2020). *Basura plástica de 11 países recala en las playas de Quintana Roo*. Obtenido de <http://elcuartopoder.com.mx/nw/estatales/basura-plastica-de-11-paises-recala-en-las-playas-de-quintanaroo/>
- Suárez, M. V., & Vázquez, A. G. (2018). *Desarrollo sustentable, Un nuevo Mañana* (2a ed.). México: Grupo editorial patria.
- Tutorial books. (2021). *FreeCAD 0.19, Learn by doing* (1 ed.). Coppell, Texas, United States of America: Tutorial books.
- Utkin, V. I. (2013). *Sliding Modes in Control and Optimization*. Springer Science & Business Media.
- Utkin, V., & Chang, H. (2002). Sliding mode control on electro-mechanical systems. *Mathematical problems in Engineering*, 8(4-5), 452-473.
- Yuri Shtessel, C. E. (2014). *Sliding Mode Control and Observation*. Birkhäuser.