

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Producción de sandía inoculada con endomicorrizas nativas y la aplicación de nanotubos de carbono de pared múltiple

Por:

Eilin Isabel Dubon Morales

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Torreón, Coahuila, México
Abril 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Producción de sandía inoculada con endomicorrizas nativas y la aplicación de nanotubos de carbono de pared múltiple

Por:

Eilin Isabel Dubon Morales

TESIS

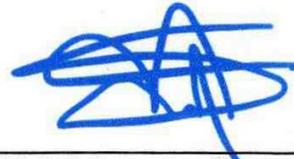
Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Aprobada por:



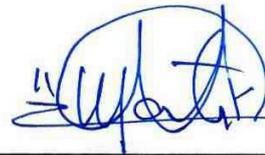
Dr. José Rafael Paredes Jácome
Presidente



M.C. Nalleli Azucena Sigala Aguilar
Vocal externo

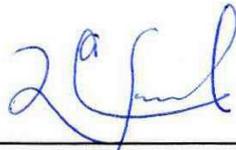


Dr. Luis Abraham Chaparro Encinas
Vocal



M.E. Víctor Martínez Cueto

Vocal Suplente



M.C. Rafael Ávila Cisneros
Coordinador de la División de Carreras Agronómicas



Torreón, Coahuila, México
Abril 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Producción de sandía inoculada con endomicorrizas nativas y la aplicación de nanotubos de carbono de pared múltiple

Por:

Eilin Isabel Dubon Morales

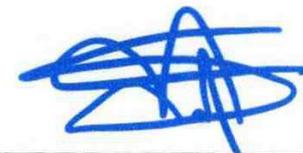
TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

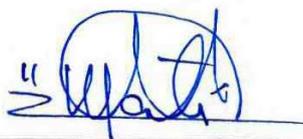
INGENIERO AGRÓNOMO

Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. José Rafael Paredes Jácome
Asesor Principal


M.C. Nayelli Azucena Sigala Aguilar
Asesor principal externo


Dr. Luis Abraham Chaparro Encinas
Coasesor


M.E. Víctor Martínez Cueto
Coasesor


M.C. Rafael Ávila Cisneros
Coordinador de la División de Carreras Agronómicas



Torreón, Coahuila, México
Abril 2025

DEDICATORIAS

A mis padres, Noe Ramon Dubon Rodríguez; Maricela Morales Villatoro que, con amor y gratitud, dedico este logro. Han sido mi fuente de inspiración, y su influencia en mi vida ha sido profunda y duradera. Su amor, sabiduría y dedicación han sido fundamentales en mi crecimiento y éxito. Con sus consejos, orientación y apoyo incondicional he tomado decisiones con certeza y han sido fundamentales en mi desarrollo personal.

A mis hermanos, Ebelin M. Jiménez Morales; Francisco I. Jiménez Morales y Brayan R. Dubon Morales que han sido mi compañía, mi apoyo y motivación en cada paso de mi camino. Han compartido conmigo risas, lágrimas y momentos inolvidables. han sido mi refugio e inspiración, su presencia en mi vida ha sido un regalo inolvidable.

A mis abuelos, que me han enseñado el valor de la familia y la importancia de amar sin condiciones. Desde el cielo, me cuidan y me guían, y su amor y legado viven en mi corazón, inspirándome a ser mejor persona cada día.

AGRADECIMIENTOS

A mi Dios, que me ha dado la vida, la salud y las oportunidades de crecer en conocimiento y sabiduría, agradezco por iluminar mi camino y guiarme en los momentos más difíciles. También agradezco por permitirme alcanzar un logro más en mi camino.

A mi Alma Terra Mater, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por ser mi hogar durante estos años de estudios. En sus aulas y espacios, encontré no solo conocimiento y habilidades, sino también amistades y recuerdos que atesorare para siempre.

A mi asesor, el Dr. José Rafael Paredes Jácome, agradezco no solo por su conocimiento y tiempo, sino también por su dedicación y pasión por enseñar. Su apoyo y enseñanza han sido fundamentales para que pueda culminar una de mis grandes metas en la vida.

A mis maestros, que con su experiencia, consejos y orientación nos transmiten conocimiento, agradezco por su entusiasmo y dedicación. Su impacto en mi vida ha sido profundo y duradero.

A mis amigos, que han compartido conmigo risas, lágrimas y momentos inolvidables, y que han sido mi equipo y mi familia en este camino, agradezco por su amor y apoyo. Su presencia en mi vida ha sido un regalo que atesorare para siempre.

INDICE

RESUMEN.....	vii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVO GENERAL	3
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	3
HIPÓTESIS.....	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Origen e historia de la sandía.....	4
2.2 Producción Nacional.....	4
2.3 Producción Mundial	4
2.4 Descripción taxonómica	5
2.5 Requerimientos edafoclimáticos.....	5
2.6 Biofertilizantes.....	5
2.7 Hongos micorrízicos arbusculares	6
2.8 Modo de acción de las endomicorrizas	7
2.9 Nanotecnología en la agricultura	7
2.10 Nanotubos de carbono.....	8
2.11 Modo de acción de los nanotubos de carbono	9
3. MATERIALES Y METODOS	10
3.1 Ubicación del experimento	10
3.2 Acondicionamiento del terreno	10
3.3 Material vegetal y siembra	10
3.4 Sistema de riego y fertilización	10
3.5 Manejo del cultivo	11
3.6 Aplicación de nanomateriales	11
3.7 Descripción de los tratamientos.....	12
3.8 Variables agronómicas evaluadas	12
3.8.1 Largo de guía.....	12
3.8.2 Diámetro de tallo (mm).....	12
3.8.3 Biomasa de aérea fresca (g).....	12
3.8.4 Biomasa de aérea seca (g).....	13

3.8.5 Número de frutos	13
3.8.6 Rendimiento (kg)	13
3.8.7 Colonización radicular en plántula.....	13
3.9 Análisis estadístico	14
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
4.1 Largo de guía	15
4.2 Diámetro de tallo	15
4.3 Biomasa de aérea fresca.....	16
4.4 Biomasa de aérea seca	17
4.5 Números de frutos.....	18
4.6 Rendimiento (kg)	19
4.7 Colonización radicular	20
5. CONCLUSIONES	22
6. REVISION BIBLIOGRAFICA	23

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cantidades de fertilización utilizando en la solución nutritiva Steiner	11
Tabla 2. Productos para control fitosanitario utilizados en el cultivo de sandía.....	11
Tabla 3. Descripción de los tratamientos	12

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Largo de guía (m)	15
Figura 2. Efecto de la inoculación y NTC en diámetro de tallo (mm)	16
Figura 3. Biomasa de aérea fresca de plantas de sandía (g)	17
Figura 4. Biomasa de aérea seca de plantas de sandía(g).....	18
Figura 5. Número de frutos	19
Figura 6. Rendimiento (kg).....	20
Figura 7. Porcentaje de colonización radicular en plántulas de sandía previo al trasplante.....	21

RESUMEN

La sandía es un cultivo estratégico para el sector agrícola, debido a su alta demanda y rentabilidad; su ciclo de crecimiento rápido y su adaptabilidad a diversos suelos lo hacen ideal para cultivos comerciales. Además, pertenece a la familia cucurbitácea, lo que lo relaciona con otros cultivos como el melón y pepino. La agricultura enfrenta diferentes desafíos para poder producir cultivos de manera sostenible y eficiente. La combinación de micorrizas y nanomateriales ofrecen una solución innovadora para abordar estos desafíos, en este estudio se evaluó el efecto de esta combinación en el cultivo de sandía. El presente trabajo se realizó con el objetivo de determinar el efecto en los caracteres agronómicos de sandía inoculada con endomicorrizas y la aplicación de nanotubos de carbono. La inoculación se realizó con hongos formadores de micorrizas nativas del estado de Coahuila, utilizando sustrato inoculado al momento de siembra. Como material vegetal se evaluó el híbrido 800 F1 y se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar, con cuatro tratamientos, los cuales fueron Inoculado+NTC, inoculado-NTC, Sin inóculo + NTC y Sin inóculo - NTC (testigo), cada tratamiento tuvo tres repeticiones con seis plantas por repetición. Las variables evaluadas fueron el largo de guía, diámetro de tallo, biomasa de aérea fresca, biomasa de aérea seca, número de frutos, rendimiento y colonización radicular. Los resultados se analizaron mediante análisis de varianza y se realizó una prueba de comparación de medias Tukey ($P \leq 0.05$). Los resultados mostraron un aumento significativo en el crecimiento y rendimiento de las plantas de sandía tratadas con nanotubos de carbono y endomicorrizas. El inoculado-NTC presentó el mayor número de frutos, superando por un 62.5% al testigo (Sin inóculo - NTC), por lo cual, se demostró que si hubo un efecto benéfico de los NTC y los hongos micorrízicos arbusculares en este trabajo.

Palabras clave: *Citrullus lanatus*, Endomicorrizas, Nanotecnología, Nanotubos de carbono, Steiner

1. INTRODUCCIÓN

La sandía es un cultivo de gran importancia agrícola, económica, y nutricional debido a su alta demanda en los mercados nacionales e internacionales. Su ciclo de crecimiento rápido 75-90 días y su adaptabilidad a diversos suelos la hacen rentables (Ayala 2017). Se cultiva principalmente en la temporada seca, lo que reduce el riesgo de plagas y enfermedades, favoreciendo cosechas de mayor calidad (Curay 2020; BASF 2020).

Con más de 90% de agua y rica en vitaminas, minerales y antioxidantes como licopeno, es esencial para la hidratación y un alimento nutritivo. Pertenece a la familia de las cucurbitáceas, comparte características con cultivos como el melón, el pepino, y el ayote, contribuyendo significativamente al sector hortícola. Su creciente demanda la convierte en un cultivo estratégico en la agricultura y el comercio internacional (Valdez 2022).

La asociación simbiótica con micorrizas arbusculares representan una de la estrategia comúnmente empleada por las plantas para optimizar la captación de nutrientes (Montero et al., 2010). Esta simbiosis facilita la absorción de elementos esenciales como el fósforo y nitrógeno, elementos fundamentales para el desarrollo vegetal (Smith y Smith 2011). Además, los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son capaces de estimular mecanismos de defensa en las plantas hospederas mejorando su resistencia a patógenos y enfermedades (Olawuyi et al., 2014).

Los hongos micorrízicos arbusculares reciben fosfonitrato de las plantas a cambio de optimizar la absorción de nutrientes y agua, lo que también contribuye a incrementar la resistencia de las plantas frente a estresores abióticos y bióticos (Aggarwal et al., 2012), la colonización micorrízica genera cambios físicos, bioquímicos y fisiológicos en las raíces, promoviendo un mejor estado general de la planta y ayudando a mitigar el estrés abiótico (Mohammadi et al., 2016). Así las micorrizas arbusculares se han descrito ampliamente como promotoras del crecimiento vegetal, demostrando su relevancia en la mejora de la salud y productividad de las plantas.

Se descubrió que los nanotubos de carbono favorecen el crecimiento de las plantas al actuar como canales de agua en su interior. Esto permitió un aumento en la presión hidrostática y el turgor celular, lo que, a su vez, estimuló la elongación celular y un

mayor desarrollo vegetal (Villagarcia, Dervishi, de Silva, Biris & Khodakovskaya 2012).

Los nanotubos de carbono en la agricultura favorecen el crecimiento y desarrollo de las plantas, lo que los convierte en un potencial bioestimulante para mejorar el rendimiento de los cultivos (Loannou et al., 2020). En la actualidad, los nanotubos de carbono se han desarrollado y utilizado en la agricultura para monitorear la salud de los cultivos, estimular su crecimiento, mejorar la eficiencia de fertilizantes y plaguicidas, controlar plagas y enfermedades, y reducir el impacto del estrés abiótico (Verma et al., 2019). Los nanomateriales a base de carbono son reconocidos por su biocompatibilidad y degradabilidad, debido a su estructura de carbono no tóxica (Vera et al., 2016).

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el impacto de la inoculación con endomicorrizas y la aplicación de nanotubos de carbono en los caracteres agronómicos de la sandía.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Analizar la respuesta en caracteres agronómicos de la sandía ante la inoculación con endomicorrizas y nanotubos de carbono.
2. Establecer la eficiencia agronómica asociada a la colonización radical por endomicorrizas nativas en la sandía.

HIPÓTESIS

La inoculación de endomicorrizas y la aplicación de nanotubos de carbono tendrá efectos en los caracteres agronómicos y producción de sandía.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Origen e historia de la sandía

La sandía (*Citrullus lanatus*) es una planta herbácea monoica de la familia cucurbitácea, originaria de África tropical, desde donde se expandió a Asia, India y posteriormente a América, donde crece de forma silvestre. Es un cultivo de fácil adaptación, consumido principalmente en crudo como postre refrescante. Su composición es mayormente agua (más del 90%) y aporta pocas calorías además de vitaminas y minerales (Valdez 2022).

2.2 Producción Nacional

En 2023, México incremento su producción de sandía, alcanzo un millón 199 mil toneladas hasta noviembre, superando los niveles anuales de 2021 y 2022. De mantenerse esta tendencia, el país podría posicionarse entre los 10 principales productores, según la Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. Datos del SIAP indican que este volumen representa un aumento del 0.4% y 1.8% en comparación con el millón 194 mil toneladas y un millón 177 mil toneladas registradas en 2021 y 2022 respectivamente (De Agricultura y Desarrollo Rural, 2024).

Sonora lidero la producción de sandía en México en 2023, con 373 mil 084 toneladas entre enero y noviembre, seguidos por Chihuahua 143 mil 229 toneladas, Jalisco 102 mil 795 toneladas, Campeche 80 mil 058 toneladas. Campeche avanzo del noveno al quinto lugar tras aumentar su producción de 36 mil 985 toneladas en 2022. Según la Secretaria de Agricultura, la sandía representa el 4.7% de la producción nacional, con un consumo pre capital anual de 3.5 kg (De Agricultura y Desarrollo Rural, 2024).

2.3 Producción Mundial

La sandía (*Citrullus lanatus*) es un cultivo de gran relevancia económica y nutricional a nivel global, la producción mundial supera los 80 millones de toneladas anuales. China lidera la producción con alrededor de 60 millones de toneladas, seguido por Turquía, India y Brasil (FAO,2023). Además de su rentabilidad en el comercio internacional, la sandía es valorada por su alto contenido de agua, vitamina A y C, y antioxidantes como el licopeno, que contribuyen a la salud cardiovascular (Perkins-Veazie et al., 2019). Estos datos resaltan la importancia en la sandía no solo como

fuerza vital de nutrientes, sino también como un motor clave para la economía agrícola en diversas regiones. Sin embargo, su cultivo enfrenta desafíos relacionados con la eficiencia en el uso del agua y la sostenibilidad agrícola.

2.4 Descripción taxonómica

La clasificación taxonómica de la sandía (*Citrullus lanatus*) es la siguiente, según Arévalo (2016):

Reino: Plantae

Clase: Dicotyledoneae

Orden: Cucurbitales

Familia: Cucurbitaceae

Género: *Citrullus*

Especie: *lanatus*

Nombre científico: *Citrullus lanatus*

2.5 Requerimientos edafoclimáticos

La sandía se desarrolla mejor en climas cálidos y secos, ya que no tolera las heladas. Requiere una estación prolongada con altas temperaturas y baja humedad. Prefiere suelos sueltos, profundos y bien drenados, con un buen contenido de materia orgánica. Los suelos franco-arenoso son los más adecuados para el cultivo, aunque también puede crecer en suelos arenosos (BASF 2020).

El pH ideal oscila entre 6 y 7. Además, presenta una tolerancia moderada a la salinidad en el suelo y el agua de riego, con valores máximos aceptables de 2.2 Ds/m en el suelo y 1.5 Ds/m en el agua (BASF 2020).

2.6 Biofertilizantes

Los biofertilizantes son sustancias de origen biológico que favorecen el crecimiento y desarrollo de las plantas (Goncalves, 2021). Estas características van más allá del simple suministro de nutrientes, ya que incluye una mayor absorción de estos, la fijación del nitrógeno atmosférico, la mejora de las condiciones del suelo y el estímulo del crecimiento vegetal (Macik et al., 2020).

Los biofertilizantes se categorizan según los taxones empleados en su producción y su mecanismo de acción. Entre las fuentes más comunes de biofertilizantes se

encuentran hongos micorrízicos, las rizobacterias, los rizobios fijadores de nitrógeno, las macroalgas, las microalgas, las bacterias y las cianobacterias (Kalayu, 2019 ; Malusá et al., 2012). Actúan a través de distintos mecanismos, como la fijación de nitrógeno, la solubilización de potasio y la movilización de fósforo, lo que mejora la disponibilidad de macronutrientes. Asimismo, las bacterias que solubilizan zinc y hierro, junto con las rizobacterias que favorecen el crecimiento vegetal, son clave para optimizar la disponibilidad de micronutrientes (Joshi et al., 2020).

El uso de biofertilizantes a base de hongos formadores de micorrizas arbusculares se han consolidado como una alternativa eficaz para reducir pérdidas en los procesos agrícolas y forestales. Numerosos estudios han demostrado sus defectos positivos en cultivos tanto semestrales como perennes, destacando su capacidad para mejorar la supervivencia de las plantas al promover mayor desarrollo radicular y una mejor nutrición en las etapas iniciales del crecimiento. Además, su aplicación contribuye a la reducción del tiempo de crecimiento, favorece la acumulación de biomasa y mejora la adaptación de las plantas a condiciones de estrés hídrico y nutricional en campo (Smith, 2011; chaiyasen et al., 2017)

Estos beneficios se traducen en un mayor índice de supervivencia y éxito en el trasplante, así como en un incremento en la producción de biomasa y una mejora en la calidad de producto final. Esto, a su vez, impulsa la competitividad y sostenibilidad del sector forestal, permitiendo optimizar los costos de producción y generar mayor ingresos (AJEESH et al., 2017; RAMÍREZ et al., 2010).

2.7 Hongos micorrízicos arbusculares

Las micorrizas son relaciones de beneficio mutuo entre ciertos hongos del suelo y las raíces de la mayoría de las plantas vasculares, con diversas formas morfológicas (Smith Se et al., 2010), la simbiosis micorrízica arbuscular es la más prevalente, siendo común en más del 74% de las plantas terrestres, lo que sugiere que los factores genéticos fundamentales para esta relación son compartidos por gran parte del reino vegetal (Lanfranco et al., 2017).

Basándose en las características morfológicas de las esporas, se han identificado aproximadamente 244 especies de HMA (Ohsowski et al., 2014), los hongos que forman este tipo de micorrizas fueron reagrupados dentro del Filo *Mucoromycota* y la

clase *Glomeromycetes* (Lee Sc 2017). Las micorrizas arbusculares (HMA) depende de un hospedador para complementar su ciclo de vida, por el cultivo mediante plantas trampa se reconoce como el método más tradicional y ampliamente utilizado para su propagación (Smith SE et al., 2010). El HMA recibe carbono de la fotosíntesis de la planta huésped, su micelio se desarrolla al formar una amplia red de hifas en el suelo, lo que facilita el transporte de agua y (Camarena, 2012).

Asimismo, se sabe que los HMA no solo favorecen, la absorción de nutrientes de suelos, sino también disminuye las pérdidas de estos por lixiviado (Bender et al., 2015), esto respalda la idea de que los hongos pueden interpretar la absorción de nutrientes, ya que los iones permanecen accesibles en el suelo, aunque los mecanismos que explican este fenómeno aún no se comprenden completamente (Cavagnaro et al., 2015).

2.8 Modo de acción de las endomicorrizas

Las endomicorrizas en particular las micorrizas arbusculares (HMA), actúan mediante la formación de una extensa red hifas en el suelo, los que les permite explorar un mayor volumen de sustrato y mejora la absorción de nutrientes y agua por parte de la planta. Estas estructuras fúngicas facilitan la captación de nitrógeno en sus formas NH_4^+ y NO_3^- y orgánica (Pérez Tienda et al., 2014), así como otros elementos esenciales, optimizados la eficiencia en su uso (Bitterlich y Franken, 2016). Además, al recibir carbono proveniente de la fotosíntesis de la planta, los HMA establecen una relación simbiótica clave para su desarrollo (Ijdo et al., 2011). La asociación simbiótica con micorrizas arbusculares representa una de las estrategias comúnmente empleada por las plantas para optimizar la captación de nutrientes (Montero et al., 2010). Esta simbiosis facilita la absorción de elementos esenciales como el fósforo y el nitrógeno, elementos fundamentales para el desarrollo vegetal (Smith y Smith 2011).

2.9 Nanotecnología en la agricultura

La nanotecnología es un avance científico y tecnológico con gran potencial para transformar la agricultura. Sus aplicaciones incluyen herramientas innovadoras para detectar el estrés biótico y abiótico de manera molecular, identificar rápidamente enfermedades en los cultivos y mejorar la capacidad de las plantas para absorber

agua, nutrientes y pesticidas (Khot Sankaran, Maja, Ehsani y Schuster, 2012, Nuruzzaman, Rahman, Lui y Naidu 2016).

Además, la nanotecnología facilita una mejor comprensión de la biología de los cultivos, lo que puede contribuir a mejorar su rendimiento y aumentar su valor nutricional (Fraceto et al., 2016).

Entre las principales aplicaciones de la nanotecnología en la agricultura se detectan nanosensores y los sistemas de suministro inteligente basado en nano productos. Estas tecnologías ya se emplean para combatir patógenos en los cultivos, reducir pérdidas de nutrientes en la fertilización y mejorar la productividad agrícola (Dubey y Mailapalli, 2016; Rameshaiah y JPallavi, 2015).

Otro avance es el encapsulamiento de ingredientes activos, como fertilizante, herbicidas, fungicidas, insecticidas y nutrientes, en matrices de liberación lenta o controlada. Para ello se utilizan materiales naturales como zeolita lo que permite una mayor eficiencia en el suministro de estos compuestos (Lateef et al., 2016).

En este sentido, la zeolita, un mineral aluminosilicatos, se representa como una alternativa prometedora y viable para enfrentar los desafíos actuales de la agricultura sustentable y la seguridad alimentaria. Su uso especialmente relevante frente a los efectos del cambio climático, ya que ayuda a optimizar el uso de recursos y mejorar la eficiencia de los cultivos (Hidayat et al., 2015).

2.10 Nanotubos de carbono

El carbono es un elemento ampliamente presente en la naturaleza y puede encontrarse en diversas formas, como el diamante, el grafito, los fullerenos, los nanotubos de carbono y el grafeno (Serag et al., 2011). Varios nanomateriales, incluido los nanotubos de carbono, han sido investigados por su función biológica en las células vegetales. Hoy en día, los nanotubos de carbono son considerados una nueva forma de carbono puro, compuestos por hojas de grafito enrolladas, y se encuentran en dos tipos: de pared simple y de paredes múltiples (Grillo et al., 2014).

Se ha comprobado que los nanotubos de carbono de pared múltiples pueden inducir el crecimiento de las plantas e influir en la expresión de genes fundamentales para la división celular y el desarrollo vegetal. Además, los nanotubos de carbono de pared simple tienen el tamaño ideal para atravesar las paredes y membranas celulares. Esta habilidad de las nanopartículas de carbono para penetrar en las células vegetales ha

suscitado interés, ya que, al igual que la aquaporinas, podrían contribuir al transporte eficiente de agua y nutrientes dentro de las plantas (Khodakovskaya et al., 2011; Villagarcía et al., 2012). Son eficaces en procesos de desalinización, ya que tienen la capacidad de cargar iones de Na^+ y Cl^- en su interior, lo que les permite eliminar el exceso de sales del sistema (Goh et al., 2013). También pueden aumentar la eficiencia de los pesticidas e insecticidas comerciales al reducir la cantidad de aplicaciones en el suelo, el follaje o al utilizar dosis significativamente menores que las requeridas de forma convencional, lo que resulta en una mejora para el ecosistema (Xue et al., 2014).

2.11 Modo de acción de los nanotubos de carbono

Los nanotubos de carbono exhiben destacadas propiedades físicas y químicas, como alta densidad, dureza, resistencia, flexibilidad, y excelente conductividad eléctrica y térmica. Se generan a partir del enrollamiento de láminas de átomos de carbono, que pueden estar compuestas por capas de grafeno, lo que permite su utilización en diversos campos, incluidos los procesos celulares de las plantas cultivadas (Martín, 2011; Serag et al., 2011).

El uso de nanotubos de carbono (NTC) aumenta el vigor de las semillas, promoviendo el crecimiento de la raíz y el tallo, así como la acumulación de materia seca. Esto contribuye a un mayor desarrollo de las plantas y a una mejor producción. Se sugiere que este efecto se debe a la mejora en el potencial hídrico y el metabolismo de la semilla, lo que favorece su crecimiento y vigor desde las primeras etapas (Khodakovskaya et al., 2013).

Los nanotubos de carbono han sido utilizados en la agricultura, pero su aplicación se ve limitada por problemas de dispersión, ya que tienden a formar aglomerados que dificultan su uso. Para superar esta limitación, se ha desarrollado técnicas que mejoran su estabilidad en el agua permitiendo una distribución homogénea y facilitando su manejo (Andrade Guel et al., 2012).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Ubicación del experimento

El experimento se realizó en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Torreón Coahuila, con coordenadas 25°33'28" latitud norte y 103°22'28" latitud oeste, a una altitud de 1,120 metros sobre el nivel del mar, de clima muy secos con temperatura media anual de 8°C a 36°C. La precipitación en el lugar es baja contando solo 16% en temporada de lluvias.

3.2 Acondicionamiento del terreno

Se realizó la preparación del terreno utilizando azadón, con el objetivo de romper la capa superficial y eliminar la maleza, logrando así una superficie suave y apta para la siembra. Posteriormente se formaron de camas para el cultivo, construyendo un total de 3 camas con dimensiones de 3 metros de ancho por 22 metros de largo, lo que permitió crear un espacio adecuado para la siembra y crecimientos de las plantas.

3.3 Material vegetal y siembra

Como material vegetal se utilizaron semillas de sandía 800 F1. La siembra se realizó en charolas meloneras de 72 cavidades empleando un total de tres charolas. De estas, una y media se llenaron de con sustrato 70/30, mientras que la otra charola y media se utilizó con sustrato inoculado con hongos micorrízicos arbusculares (HMA) con estiércol de bovino y equino.

La siembra se llevó a cabo en el invernadero 1, bajo condiciones ambientales controladas con una temperatura promedio de 29.5 °C y una humedad relativa del 37%.

3.4 Sistema de riego y fertilización

Se utilizó un sistema de riego por goteo en medio de la cama, y se colocó el acolchado negro, y se regaron las camas para que este húmedo al momento del trasplante. Para la fertilización se utiliza una solución nutritiva Steiner (Tabla 1), que se aplicó a cada planta a través del riego a una dosis aproximadamente de 1 litro por planta.

Tabla 1. Cantidades de fertilización utilizando en la solución nutritiva Steiner

Fertilizante:	Fórmula química:	g/L
Nitrato de calcio	CaNO ₃	0.64
Nitrato de potasio	KNO ₃	0.39
Nitrato de magnesio	MgNO ₃	0.16
Sulfato de magnesio	MgSO ₄	0.61
Micronutrientes		0.25
		ml/L
Ácido nítrico	HNO ₃	0.06
Ácido fosfórico	H ₂ PO ₄	0.06

3.5 Manejo del cultivo

Trasplante

Se realizó cuando la planta presentaba de 2 a 3 hojas verdaderas y un sistema radicular bien desarrollado. Se realizó a una profundidad de 15 centímetros y una distancia entre planta de 1 metro por planta, y el trasplante se llevó de forma manual.

Control fitosanitario

Cuando se realizaron los monitoreos se detectaron presencia de plagas, por lo cual fue necesario realizar aplicaciones de insecticidas y fungicidas.

Tabla 2. Productos para control fitosanitario utilizados en el cultivo de sandía

Nombre común	Ingrediente activo	Dosis	Plaga que controla
Abamectina delta	Abamectina B1	1 a 2.5 ml/L	Mosca blanca
Confidel	Imidacloprid	1.5 a 2 ml/L	Mosca blanca
Custer	Diazinon	1.5 ml/L	Gusano
Deltapyr	Dimetoato	2 ml/L	Mosca blanca
Movento	Spirotetramat	2.5 ml/L	Mosca blanca y pulgones
Malathion	Dimetil (dimetoxifosfinotiolio succinato)	2 ml/L	Pulgones

3.6 Aplicación de nanomateriales

La aplicación de nanotubos de carbono (NTC) se realizó utilizando un rociador a presión de 1 litro. La aplicación se llevó a cabo en tres etapas del crecimiento de las plantas, con un intervalo de 30 días entre cada etapa.

Las aplicaciones fueron las siguientes:

- Primera aplicación: 18 días después del trasplante, utilizando 3 rocíos del rociador por planta.
- segunda aplicación: 30 días después de la primera aplicación, utilizando 8 rocíos del rociador por planta.
- tercera aplicación: 30 días después de la segunda aplicación, utilizando 10 rocíos del rociador por planta.

3.7 Descripción de los tratamientos

Los tratamientos evaluados se describen en (Tabla 3);

Tabla 3. Descripción de los tratamientos

Tratamiento:	Factor a: Inoculación	Factor b: Nanomaterial
T1	Inoculado	100 ppm
T2	Inoculado	0 ppm
T3	Sin inoculo	100 ppm
T4	Sin inoculo	0 ppm

3.8 Variables agronómicas evaluadas

3.8.1 Largo de guía

Se seleccionaron 4 plantas por tratamiento de manera aleatoria, con el objetivo de evaluar el efecto de los tratamientos en el largo de guía. La medición del largo de guía se realizó utilizando un flexómetro, tomando como referencia el comienzo de la guía hasta la punta apical más larga.

3.8.2 Diámetro de tallo (mm)

Con ayuda de del vernier el cual se colocó en la base del tallo del cultivo alrededor de la misma se obtuvo esta variable (mm).

3.8.3 Biomasa de aérea fresca (g)

Para evaluar la biomasa fresca, se realizó la extracción de la planta completa del suelo, posteriormente se pesó con ayuda de una balanza, y las unidades fueron expresadas en gramos (g).

3.8.4 Biomasa de aérea seca (g)

La planta se colocó al aire libre con exposición directa al sol durante un periodo de días, después de este periodo de tiempo se utilizó una balanza, la cual la unidad fue en gramos.

3.8.5 Número de frutos

La cantidad de frutos se obtuvo mediante la recolección y conteo de los frutos producidos por las plantas de cada tratamiento, lo que permitió determinar el número total de frutos por tratamiento.

3.8.6 Rendimiento (kg)

Se realizó el pesaje de todos los frutos producidos por las plantas sometidas a cada tratamiento utilizando una balanza eléctrica, garantizando así la obtención de datos exactos y confiables sobre la producción en cada tratamiento.

3.8.7 Colonización radicular en plántula

Se realizó tinción de las raíces con el método descrito por Phillips y Hayman, (1970), que consiste en el clareo con KOH al 10%, acidificación con HCl al 10% y tinción de raíces con una solución colorante de Azul de Tripano al 0.05%.

Posteriormente se elimina el colorante y se dejan las raíces en una solución de lactoglicerol. Una vez teñidas, se procede a cortar las raíces en segmentos y colocarlas en laminillas utilizado lactoglicerol. Se observan las raíces al microscopio óptico a 40X de aumento y se registra la frecuencia de las estructuras fúngicas micorrizas (arbúsculos, vesículas o hifas) en las células corticales y segmentos de raíces. Las raíces fueron utilizadas bajo el lente 20X de un microscopio óptico compuesto, dividiendo a las raíces en tres campos ópticos observables, y cada campo se lo diagnostico como positivo si se observaba al menos una de las tres estructuras micorrízicas. La fórmula utilizada para determinar el porcentaje aproximado de micorrízicos fue: la misma que fue establecida por McGonigle et al. (1990).

$$\% \text{ de micorrizaci3n} = \frac{\# \text{ campos con (Hifas, Arbúsculo, Vesículas)}}{\# \text{ total de campo observado}}$$

3.9 Análisis estadístico

Se empleó un diseño experimental con bloques completamente al azar con cuatro repeticiones. El programa estadístico utilizado para realizar el análisis de varianza (ANOVA) fue SAS 9.1 y se realizó la prueba de comparación de medias Tukey ($P \leq 0.05$).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Largo de guía

Los valores de largo de guía presentados en la Figura 1 demuestra que no existe diferencias significativas entre ninguno de los tratamientos ni el testigo. De acuerdo con los resultados obtenidos en la comparación de medias, a través de la prueba de Tukey, se demuestra que los 4 tratamientos fueron estadísticamente iguales.

En los resultados difieren a lo obtenido por Acharya, (2020), quien revela que el largo de guía fue significativamente mayor en las plantas tratadas con nanopartículas de plata (NPs Ag) en comparación con los otros tratamientos en las plantas de sandía.

Estos resultados concuerdan con lo obtenido por Flores Palafox (2022), quien no encontró diferencias significativas entre los tratamientos con endomicorrizas y el testigo.

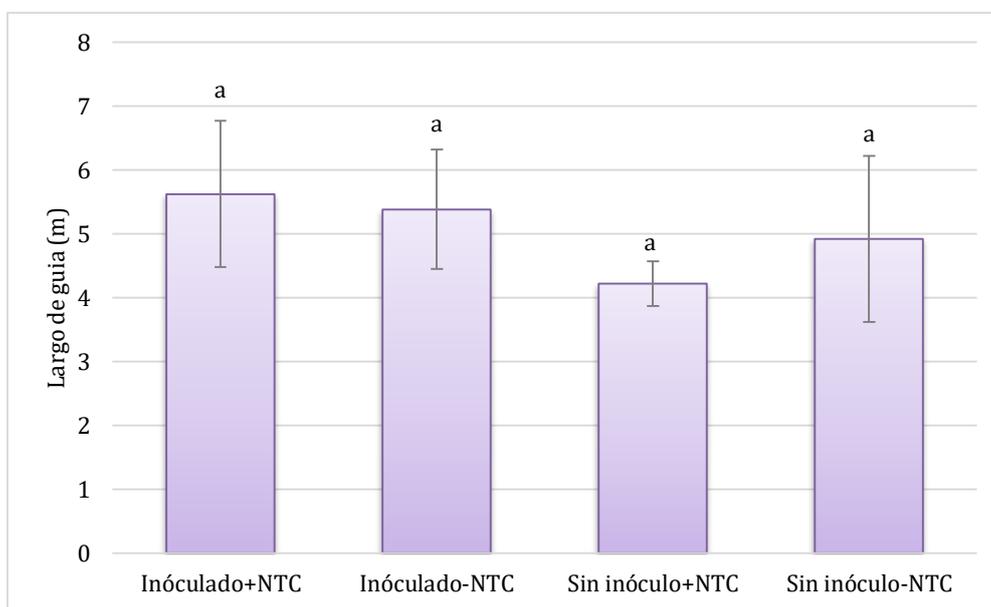


Figura 1. Largo de guía (m)

4.2 Diámetro de tallo

De acuerdo con el análisis de varianza se puede observar en la Figura 2 que hubo una diferencia significativa, ya que el tratamiento Inóculado+NTC obtuvo el mayor diámetro del tallo con 18.55 mm, mostrando un incremento de un 15 % sobre los demás tratamientos y el testigo, por lo que fueron estadísticamente diferentes.

En los resultados obtenidos en el trabajo realizado por López Vargas *et al* (2021), reporta que la aplicación de NTC 250 mg L⁻¹ en plantas de tomate fue estadísticamente igual al testigo, pero ambos fueron superiores mostrando un incremento del 9.76 % sobre los tratamientos NTC 50 mg L⁻¹ y NTC 500 mg L⁻¹ para el diámetro de tallo.

Estos resultados coinciden con lo reportado con Li *et al* (2024), que con inocular con plantas de sandía obtienen un mayor diámetro de tallo en comparación con los demás tratamientos.

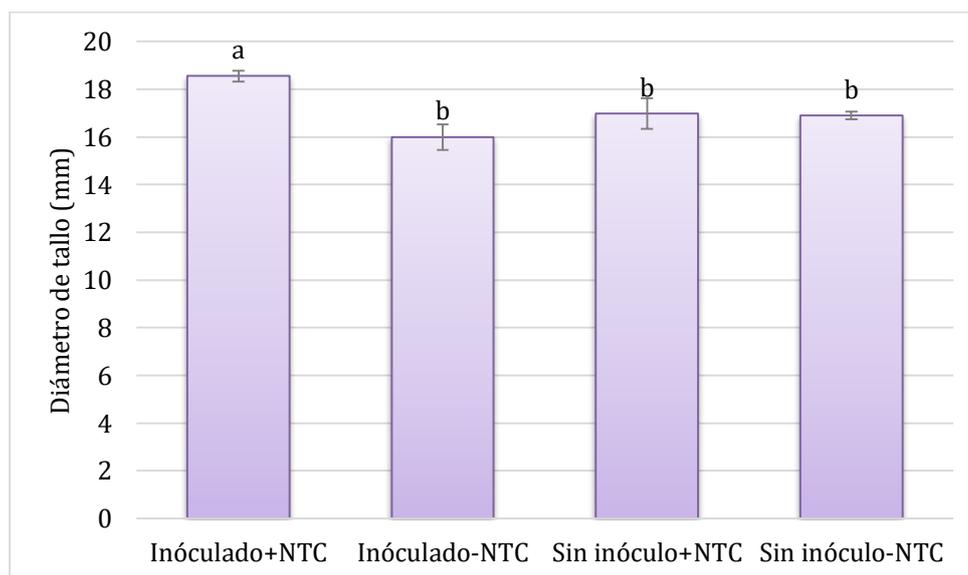


Figura 2. Efecto de la inoculación y NTC en diámetro de tallo (mm)

4.3 Biomasa de aérea fresca

Se puede observar que el tratamiento Inóculado+NTC presentó la mayor cantidad de BAF, mostrando diferencia significativa en comparación con los tratamientos Inoculado-NTC, Sin inóculo + NTC y Sin inóculo-NTC, los cuales presentaron resultados sin diferencia significativa ya que estadísticamente fueron iguales entre los 3 (Figura 3), pero diferentes (inferiores) al tratamiento Inóculado+NTC, ya que este último presentó un aumento significativo del 32% mayor en comparación con los demás tratamientos.

Estos resultados difieren con lo obtenido por Mendieta (2019), quien en su experimento obtuvo una mayor biomasa fresca del vástago en las plantas que fueron inoculadas con HMA, pero sin presencia de NPs de Ag (Testigo). Mientras que los otros 3 tratamientos, los cuales contaban con presencia NPs Ag no mostraron diferencias significativas entre ellos, pero sí respecto al testigo.

Los resultados obtenidos en este estudio coinciden favorablemente con lo reportado por Laínez Orrala (2021), quien encontró resultados favorables al utilizar hongos micorrízicos en melón, encontrado un aumento significativo en el peso de la planta.

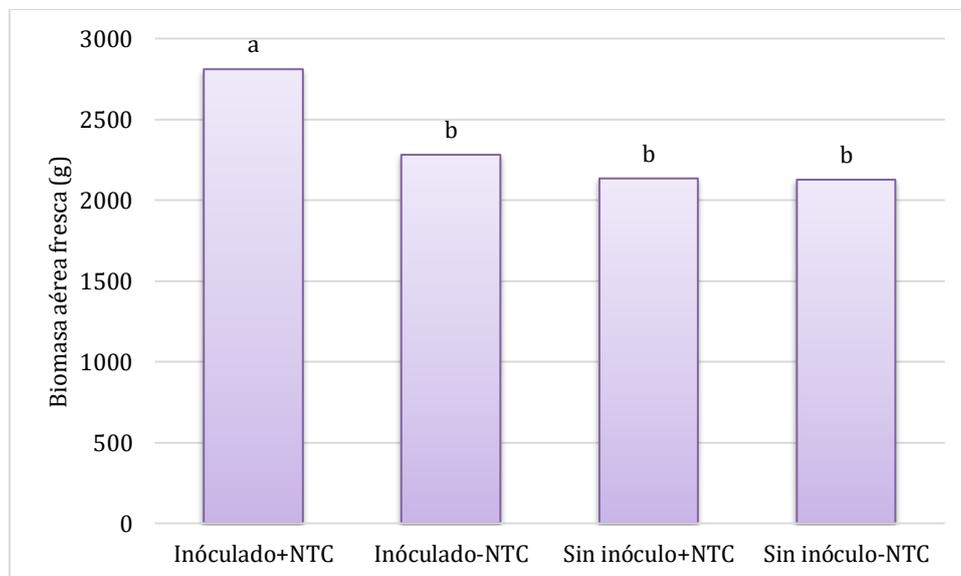


Figura 3. Biomasa de aérea fresca de plantas de sandía (g)

4.4 Biomasa de aérea seca

El tratamiento inoculado-NTC presentó la mayor cantidad de BAS con 809 g, seguido por el Inóculado+NTC, con 643.25 g, el Sin inóculo-NTC con 387 g y por último el Sin inóculo + NTC 379.5 g. El tratamiento Inoculo-NTC mostró una diferencia significativa (Figura 4), ya que el valor que presentó fue superior y estadísticamente diferente respecto a los demás tratamientos y al testigo, mostrando un aumento del 113% por arriba de los demás tratamientos.

Mendieta (2019), en su trabajo de investigación, obtuvo una mayor biomasa seca del vástago en las plantas inoculadas con HMA que tenían bajas concentraciones de nanopartículas de plata (NPs de Ag). En cambio, en las plantas inoculadas con una concentración de NPs de Ag 100 veces mayor, se encontró diferencia significativa, debido a que esa mayor concentración provocó una reducción del 48% respecto al testigo, por lo cual fueron estadísticamente diferentes.

Estos resultados concuerdan con lo obtenido con Li et al (2024), ya que la inocular con plantas de sandía genera una mayor biomasa seca en comparación con los demás tratamientos.

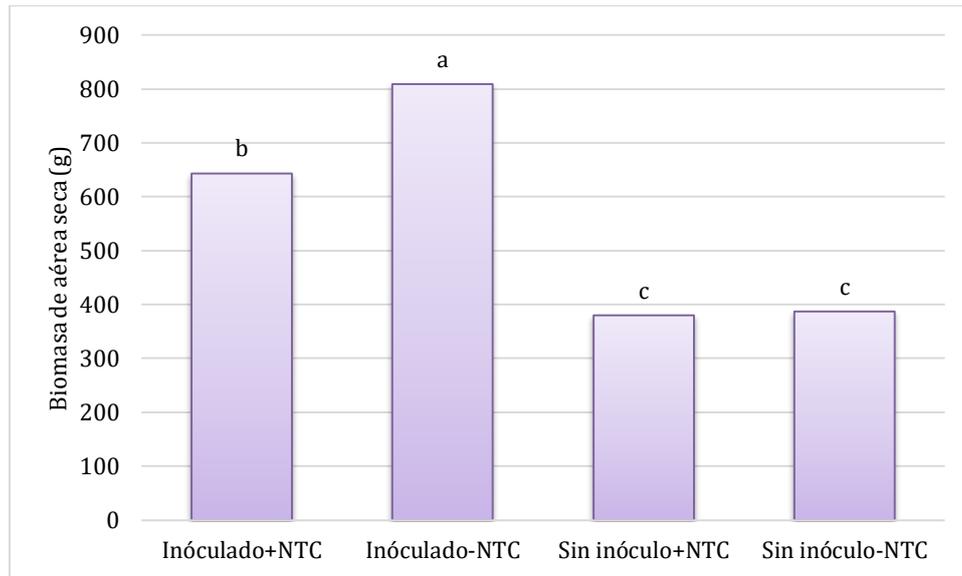


Figura 4. Biomasa de aérea seca de plantas de sandía(g)

4.5 Números de frutos

En la Figura 5 se observó que el inoculado-NTC obtuvo el mayor número de frutos, siendo estadísticamente igual al Inoculado+NTC, pero fue diferente y supero por un 62.5 % a los demás tratamientos, lo cual demostró una diferencia significativa.

En el trabajo que presenta López Vargas *et al* (2021), se observó una diferencia significativa, pero en este experimento el testigo fue superior a los demás tratamientos con contenidos de NTC en dosis de 50, 250 y 500 mg L¹, los cuales fueron estadísticamente iguales los 3, pero diferentes al testigo, ya que este último presentó mayor rendimiento.

Flores Palafox (2022), en su trabajo de investigación no presentó diferencia significativa entre los tratamientos con endomicorrizas y el testigo.

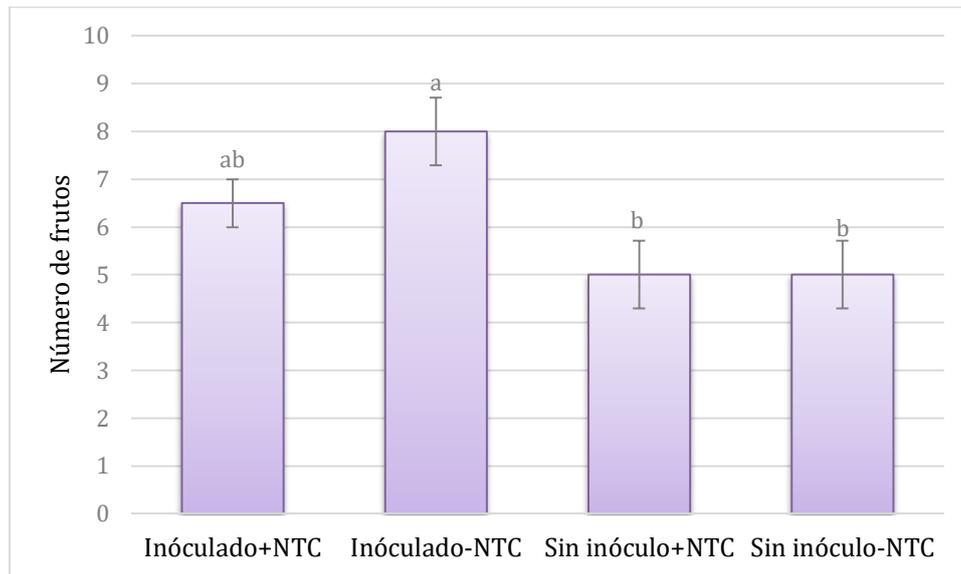


Figura 5. Número de frutos

4.6 Rendimiento (kg)

El análisis de varianza mostró una diferencia significativa entre los tratamientos (Figura 6). El Inoculado-NTC presentó el mayor rendimiento con 48.13 kg, siendo diferente y superior significativamente con un incremento del 43% sobre los demás tratamientos.

Ren et al (2019), reporta un incremento del 56.2% en el rendimiento al inocular en plantas de sandía, superando significativamente a los demás tratamientos.

Los resultados obtenidos en este estudio difieren con lo reportado por Acharya (2020), quien revela que la aplicación de NPs Ag en plantas de sandía pueden tener un impacto significativo en el rendimiento, se encontró que las plantas tratadas con NPs Ag mostraron un aumento del 31.6% en el rendimiento.

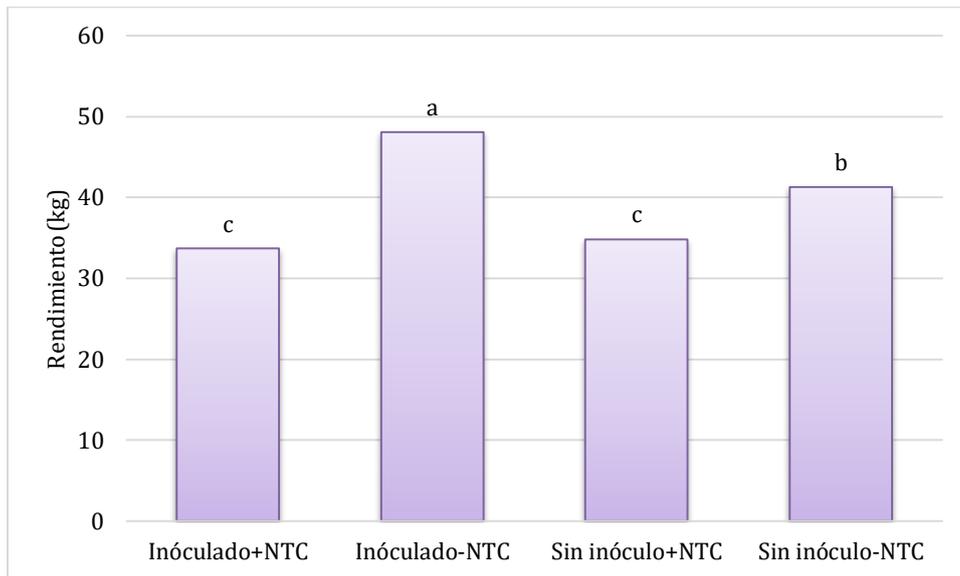


Figura 6. Rendimiento (kg)

4.7 Colonización radicular

De acuerdo con la Figura 7, podemos observar que hubo diferencias significativas en cuanto al tratamiento donde se inoculo la semilla de sandía con hongos micorrízicos arbusculares nativos de Coahuila.

Estos resultados son diferentes a lo reportado por Ren et al., (2019), quienes obtienen una mayor frecuencia de colonización radicular (50%) a los 45 días después de siembra en sandia con *Rhizophagus intraradices*.

La colonización de hongos micorrízicos aumenta la capacidad de absorción de nutrientes de las plantas para mejorar el crecimiento de las plantas y el rendimiento de los cultivos (Bona et al., 2017), lo que probablemente se produce a través del siguiente mecanismo: las hifas externas aumentan el área disponible para la absorción de nutrientes y agua.

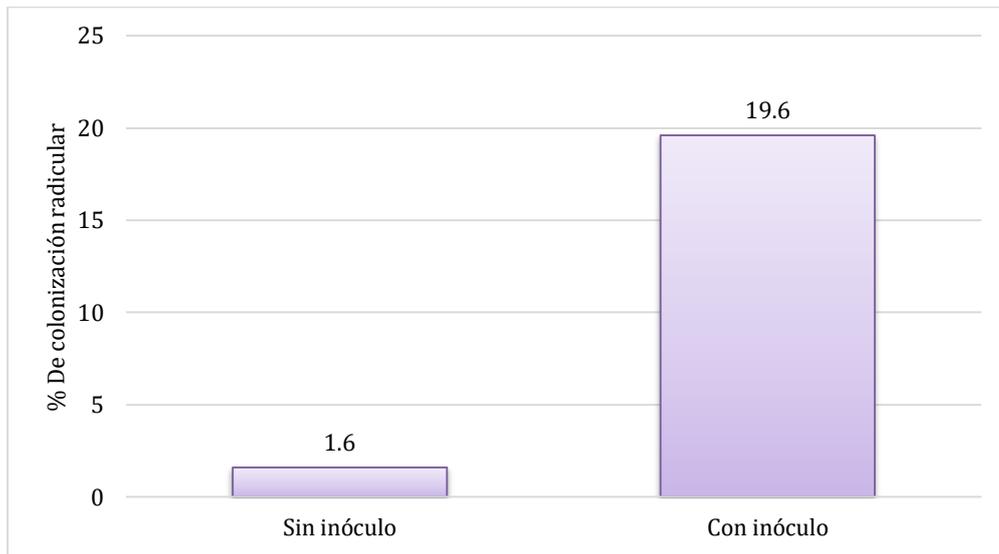


Figura 7. Porcentaje de colonización radicular en plántulas de sandía previo al trasplante

5. CONCLUSIONES

La aplicación de hongos micorrízicos arbusculares y nanotubos de carbono tiene un efecto beneficioso en el desarrollo y rendimiento del cultivo de sandía. Los resultados muestran que la combinación de HMA y NTC mejoran significativamente el diámetro del tallo y biomasa de aérea fresca, mientras que la aplicación de HMA solo aumenta la producción de frutos y biomasa de aérea seca.

El uso de HMA y NTC puede ayudar a reducir la dependencia de fertilizantes químicos, disminuyendo los costos de producción y minimizando el impacto ambiental. Además, la aplicación de NTC mejora la absorción de nutrientes y agua por parte de la planta.

En general los resultados de este estudio demuestran que la combinación de HMA y NTC pueden ser una herramienta efectiva para mejorar la productividad y sostenibilidad del cultivo, y abre nuevas perspectivas para la aplicación de tecnologías emergentes en la agricultura.

6. REVISION BIBLIOGRAFICA

- Acharya, P. (2020). Seed Priming with Green Synthesized Nanoparticles Improve Germination, Growth, and Yield while Maintaining Quality of Onion and Watermelon (Doctoral dissertation).
- Aggarwal, A.; Kadian, N.; Neetu, K.; Tanwar, A. y Gupta, K. K. (2012), "Arbuscular mycorrhizal symbiosis and alleviation of salinity stress". *Journal of Applied and Natural Science*, vol. 4, no. 1, pp. 144–155, ISSN 0974-9411.
- Ajeesh, R. et al. (2017). Screening of selected native arbuscular mycorrhizal fungi at different levels for their symbiotic efficiency with *Tectona grandis* seedlings. *Journal of Tropical Forest Science*, 29(4), p. 395–403.
- Andrade Guel, M.L., López López, L.I., Sáenz Galindo, A., 2012. Nanotubos de carbono: funcionalización y aplicaciones biológicas. *Revista mexicana de ciencias farmacéuticas*, 43(3), 9-18.
- Arévalo, H. 2016. El cultivo de sandía (*Citrullus lanatus*). INTA. 6 p.
- Ayala, L. 2017. Plagas y enfermedades en las cucurbitáceas. Productores de hortalizas, Ecuador. 19 p.
- BASF. 2020. El cultivo de melón y sandía en invernadero: Plagas y enfermedades (en línea).
- Bender, S. F.; Conen, F. & Heijden, M. G. A. van der (2015). Mycorrhizal effects on nutrient cycling, nutrient leaching and N₂O production in experimental grassland. *Soil Biol. Biochem.* 80:283-292.
- Berruti A., E. Lumini, R. Balestrini, and V. Bianciotto. 2016. Arbuscular mycorrhizal fungi as natural biofertilizers: Let's benefit from past successes. *Front. Microbiol.* 6: 1559. doi: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01559>.
- Bitterlich, M. & Franken, P (2016). Connecting polyphosphate translocation and hyphal water transport points to a key of mycorrhizal functioning. *New Phytol.* 211:1147–1149.
- Bona, E., Cantamessa, S., Massa, N., Manassero, P., Marsano, F., Copetta, A., ... Berta, G. (2017). Arbuscular mycorrhizal fungi and plant growthpromoting pseudomonads improve yield, quality and nutritional value of tomato: A field study. *Mycorrhiza*, 27, 1–11.
- Camarena-Gutiérrez G (2012). Interacción planta-hongos micorrízicos arbusculares. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*.18(3):409–21.
- Cavagnaro, T. R.; Bender, S. F.; Asghari, H. R. & Heijden, M. G. A. van der (2015). ^e role of arbuscular mycorrhizas in reducing soil nutrient loss. *Trends Plant Sci.* 20:283-290.
- CHAIYASEN, A. et al (2017). Diversity of arbuscular my corrhizal fungi in *Tectona grandis* Linn.f. plantations and their effects on growth of micropropagated plantlets. *New Forests*, 48, p. 547–562.

- Curay, S. 2020. Adaptabilidad de tres híbridos de sandía (*Citrullus lanatus*) en el Cantón Patate". Tesis Ing. Agr. Ceballos, Ecuador. UTA. 64 p.
- De Agricultura y Desarrollo Rural, S. (2024). Crece 1.8% producción de sandía a noviembre en México, con tendencia a ubicarse entre los 10 principales países productores. gob.mx.
- Dubey, A., & Mailapalli, D.R. (2016). Nanofertilizers, nanopesticides, nanosensors of pest and nanotoxicity in agriculture. En Lichtfouse, E. (ed.), *Sustainable Agriculture Reviews* (pp. 307-330). Springer International Publishing.
- FAO. (2023). FAOSTAT: Crops and livestock products. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Flores Palafox, I. T. (2022). Micorrizas comerciales asociadas con abonos orgánicos y su respuesta en el desarrollo, rendimiento y calidad Postcosecha del melón.
- Fraceto, L., Grillo, R., de Medeiros, G., Scognamiglio, V., Rea, G., & Bartolucci, C. (2016). Nanotechnology in Agriculture: which innovation potential does it have?. *Frontiers in Environmental Science*, 4(20), 1-5.
- Goh, P.S., Ismail, A.F, Ng, B.C. (2013). Carbon nanotubes for desalination: performance evaluation and current hurdles. *Desalination*. 308: 2-14.
- Gonçalves, AL (2021). El uso de microalgas y cianobacterias en la mejora de las prácticas agrícolas: una revisión sobre sus funciones biofertilizantes, bioestimulantes y biopesticidas. *Applied Sciences (Suiza)*, 11 (2), 1-21.
- Grillo, R., A.E. Pereira, C.S. Nishisaka, R. de Lima, K. Oehlke, R. Greiner, L.F. Fraceto. (2014). Chitosan/tripolyphosphate nanoparticles loaded with paraquat herbicide: an environmentally safer alternative for weed control. *Journal of hazardous materials*. 278:163-171.
- Ijdo M, Cranenbrouck S, Declerck S (2011). Métodos para la producción a gran escala de hongos AM: pasado, presente y futuro. *Micorriza*. 21(1):1–16.
- Ioannou, A., Gohari, G., Papaphilippou, P., Panahirad, S., Akbari, A., Dadpour, M.R., Krasia-Christoforou, T., Fotopoulos, V., 2020. Advanced nanomaterials in agriculture under a changing climate: ¿the way to the future? *Environmental and experimental botany*, 176, 104048.
- Joshi, H., Shourie, A. y Singh, A. (2020). Cianobacterias como fuente de biofertilizantes para la agricultura sostenible en Singh, PK, Kumar, A., Singh, VK, Shrivastava, AK (Eds.), *Avances en la biología de las cianobacterias* (pp. 385-396). Academic Press.
- Kalayu, G (2019). Microorganismos solubilizadores de fosfato: un enfoque prometedor como biofertilizantes. *Revista Internacional de Agronomía*, 1-7.
- Khodakovskaya, M., de Silva, K., Biris, A., Dervishi, E., & Villagarcia, H. (2012). Carbon nanotubes induce growth enhancement of tobacco cells. *ACS nano*, 6(3), 2128-2135.

- Khodakovskaya, M., Kim, B., Kim, J., Alimohammadi, M., Dervishi, E., Mustafa, T., & Cernigla, C. (2013). Carbon nanotubes as plant growth regulators: effects on tomato growth, reproductive system, and soil microbial community. *Small*, 9(1), 115-123.
- Khodakovskaya, M.V, K. de Silva, D.A. Nedosekin, E. Dervishi, A.S. Biris, E.V. Shashkov, V.P. Zharov.(2011). Complex genetic, photothermal, and photoacoustic analysis of nanoparticle-plant interactions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 108: 1028-1033.
- Khot, L., Sankaran, S., Maja, J., Ehsani, R., & Schuster, E. (2012). Applications of nanomaterials in agricultural production and crop protection: a review. *Crop Protection*, 35, 64-70.
- Laínez Orrala, P. E. (2021). EFECTO DE DOS BIOESTIMULANTES EN LA PRODUCCIÓN DE MUDAS DE MELÓN (*Cucumis Melo*) [Tesis, UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA].
- Lanfranco L, Fiorilli V, Venice F, Bonfante P(2017). Las estrigolactonas cruzan los reinos: plantas, hongos y bacterias en la simbiosis micorrízica arbuscular. *Revista de botánica experimental*.;69(9):2175–88.
- Lateef, A., Nazir, R., Jamil, N., Alam, S., Shah, R., Khan, M., & Saleem, M5. (2016). Synthesis and characterization of zeolite based nano composite: An environment friendly slow release fertilizer. *Microporous and Mesoporous Materials*, 232, 174-183.
- Lee SC, Idnurm A. (2017). Sexo fúngico: Mucoromycota. *El reino fúngico*.;5(2):177–91.
- Li, W., Zhu, C., Song, Y., Yuan, Y., Li, M., & Sun, Y. (2024). Arbuscular mycorrhizal fungi by inducing watermelon roots secretion phthalates, altering soil enzyme activity and bacterial community composition to alleviate the watermelon wilt. *BMC Plant Biology*, 24(1), 593.
- López-Vargas, E. R., Pérez-Álvarez, M., Cadenas-Pliego, G., Hernández-Fuentes, A. D., & Juárez-Maldonado, A. (2021). El Tratamiento de Semillas con Nanomateriales de Carbono Impacta en el Crecimiento y Absorción de Nutrientes en Tomate Bajo Estrés Salino. *Revista Bio Ciencias*, 8. <https://doi.org/10.15741/revbio.08.e1090>
- Maćik, M., Gryta, A., y Fraç, M. (2020). Biofertilizantes en la agricultura: una visión general de los conceptos, las estrategias y los efectos sobre los microorganismos del suelo. *Advances in Agronomy*, 162 , 31-87.
- Malusá, E., Sas-Paszt, L., & Ciesielska, J. (2012). Tecnologías para inóculos de microorganismos benéficos utilizados como biofertilizantes. *The Scientific World Journal* , 1-12.
- Martín, N., 2011. Sobre fullerenos, nanotubos de carbono y grafenos. *ARBOR Ciencia, pensamiento y cultura* 187, 115–131.

- Mendieta, M. M. A., Morales. (2019). NANOPARTÍCULAS DE PLATA EN LA SIMBIOSIS MICORRIZICA ARBUSCULAR y ANATOMIA RADICAL DE *trifolium repens* L. [Tesis maestría]. Instituto de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas.
- Mohammadi, G. E.; Rezaee, D. Y.; Prasad, R. y Varma, A. (2016). "Mycorrhizal Fungi: What We Know and What Should We Know?" [en línea]. En: ed. Varma A., Mycorrhiza, edit. Springer Berlin Heidelberg, 2, pp. 3-27, ISBN 978-3-540 78824-9.
- Montero, L., C. Duarte, R. Cun, J. A. Cabrera y P. J. Gonzáles. 2010. Efectividad de biofertilizantes micorrízicos en el rendimiento del pimiento (*Capsicum annum* L. var. Verano 1) cultivado en diferentes condiciones de humedad del sustrato. *Cult. Trop.* 31: 11-14.
- Nuruzzaman, M., Rahman, M., Liu, Y., & Naidu, R. (2016). Nanoencapsulation, nano-guard for pesticides: a new window for safe application. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(7), 1447-1483.
- Ohsowski BM, Zaitsoff PD, Öpik M, Hart MM. (2014). Dónde viven los animales salvajes: en busca de animales incultos Glomeromycota. *Nuevo Phytologist*.204(1):171–9.
- Olawuyi, O. J., A. C. Odebode, S. A. Olakojo, O. O. Popoola, A. O. Akanmu, and J. O. Izenegu. 2014. Host-pathogen interaction of maize (*Zea mays* L.) and *Aspergillus niger* influenced by arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomus deserticola*). *Arch. Agron. Soil Sci.* 60: 1577-1591. doi: <https://doi.org/10.1080/03650340.2014.902533>.
- Pérez-Tienda, J.; Corrêa, A.; Azcón-Aguilar, C. & Ferrol, N. (2014). Transcriptional regulation of host NH₄⁺ transporters and GS/GOGAT pathway in arbuscular mycorrhizal rice roots. *Plant Physiol. Bioch.* 75:1-8.
- Perkins-Veazie, P., Collins, J. K., & Davis, A. R. (2019). Watermelon: Lycopene, Citrulline, and Health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*.
- Rameshaiah, G., & Pallavi, J. (2015). Nano fertilizers and nano sensors an attempt for developing smart agriculture. *International Journal of Engineering Research and General Science*, 3(1), 314-320.
- RAMÍREZ, M. et al.(2010) Informe final proyecto "Reducción de pérdidas de producción en plántulas en vivero y trasplante por medio del uso de micorrizas arbusculares en dos especies forestales (*Gmelina arborea* y *Pachira quinata*) de alto potencial en el Caribe Colombiano". Bogotá (Colombia): MADR-II CA, Documento CORPOICA.
- Ren, L., Wang, B., Yue, C., Zhou, S., Zhang, S., Huo, H., & Xu, G. (2019). Mechanism of application nursery cultivation arbuscular mycorrhizal seedling in watermelon in the field. *Annals of Applied Biology*, 174(1), 51-60.
- Smith SE, Read DJ. (2010). Simbiosis micorrízica. Prensa académica.

- Smith, A. F. and S. E. Smith. 2011. What is the significance of the arbuscular mycorrhizal colonization of many economically important crop plants? *Plant Soil* 348: 63-79. doi: <https://doi.org/10.1007/s11104-011-0865-0>.
- SMITH, S.E. and SMITH, F.A. (2011). Roles of Arbuscular Mycorrhizas in Plant Nutrition and Growth: New Paradigms from Cellular to Ecosystem Scales. *Annual Review of Plant Biology*, 62, p. 227–250.
- Valdez Morante, N. A. 2022. Principales enfermedades que se presentan en el cultivo de sandía (*Citrullus lunatus*) en el Ecuador (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2022).
- Vera, K., Schafer, R., Fisher, T.S., Keller, A.A., White, J.C., Mukherjee, A., Majumdar, S., Servin, A.D., Pagano, L., Dhankher, O.P., 2016. Carbon nanomaterials in agriculture: a critical review. *Frontiers in plant science*, 7, 172.
- Verma, S.K., Das, A.K., Gantait, S., Kumar, V., Gurel, E., 2019. Applications of carbon nanomaterials in the plant system: a perspective view on the pros and cons. *Science total environ.* 667, 485–499.
- Villagarcía, H., E. Dervishi, K. de Silva, A.S. Biris, M.V. Khodakovskaya. (2012). Surface chemistry of carbon nanotubes impacts the growth and expression of water channel protein in tomato plants. *Small*. 8: 2328 2334.
- Xue, J., Z. Luo, L. Li, P. Ding, Y. Cui, Q. Wu. 2014. A residue-free green synergistic antifungal nanotechnology for pesticide thiram by ZnO nanoparticles. *Scientific Reports*. 4: 1-9.