

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Nanopartículas de plata y colchicina en la germinación y calidad de plántula en tres variedades de algodón (*Gossypium hirsutum* L.)

Por:

Ana Karen Gómez Palomo

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Torreón, Coahuila, México
Junio 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONOMICAS
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Nanopartículas de plata y colchicina en la germinación y calidad de plántula en tres variedades de algodón (*Gossypium hirsutum* L.)

Por:

Ana Karen Gómez Palomo

TESIS

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

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por:


Dr. José Rafael Paredes Jácome
Presidente


Dra. Oralia Antuna Grijalva
Vocal


M.E. Víctor Martínez Cueto
Vocal


M.D. Juan Manuel Nava Santos
Vocal Suplente


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



Torreón, Coahuila, México
Junio 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONOMICAS
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Nanopartículas de plata y colchicina en la germinación y calidad de plántula en tres variedades de algodón (*Gossypium hirsutum* L.)

Por:

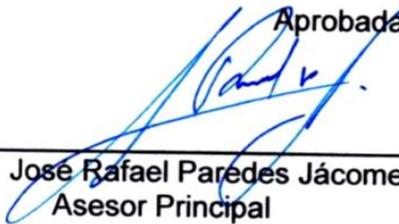
Ana Karen Gómez Palomo

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. José Rafael Paredes Jácome
Asesor Principal


Dra. Oralia Antuna Grijalva
Coasesor


M.E. Víctor Martínez Cueto
Coasesor


M.D. Juan Manuel Nava Santos
Coasesor


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



Torreón, Coahuila, México
Junio 2025

AGRADECIMIENTOS

Dr. José Rafael Paredes Jácome, por ser el presidente de mi tesis, así como su invaluable guía, enseñanza, dedicación y apoyo durante este proceso.

M.E. Víctor Martínez Cueto, a quien proyecto mis más sinceros agradecimientos por su motivación y apoyo en cada etapa de mi formación académica.

Dra. Oralia Antuna Grijalva, por ayudarme a facilitar la obtención de las semillas que hicieron posible esta investigación, así como sus conocimientos y experiencias compartidas.

DEDICATORIAS

A mis padres Paris Armando Gómez Caballero y Yolanda Patricia Palomo Rivera, por acompañarme en cada etapa de mi desarrollo personal y académico, así como siempre impulsarme a lograr cada uno de mis sueños y metas, con su apoyo y motivación.

A mis hermanas Diana Laura Gómez Palomo y Paula Alejandra Gómez Palomo, por su ejemplo de fortaleza, dedicación y ser mis guías en cada obstáculo de mi vida, motivándome a crecer día con día.

Para mi abuela Yolanda Rivera Ramírez, cuyo amor y enseñanza me ayudaron a no rendirme.

A mi abuelo PhD. Arturo Palomo Gil, que desde el cielo sigue acompañándome en cada paso, quien me enseñó el amor por el campo.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIAS	ii
INDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	vii
1. INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO GENERAL	3
OBJETIVOS ESPECIFICOS	3
HIPÓTESIS	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Origen e historia del algodón	4
2.2 Producción Mundial	4
2.4 Clasificación Taxonómica	5
2.5 Descripción morfológica	6
2.5.1 Raíz.....	6
2.5.2 Tallo.....	6
2.5.3 Hoja.....	6
2.5.4 Flor	7
2.5.5 Fruto.....	7
2.5.6 Semilla.....	7
2.6 Manejo agronómico	7
2.7 Agentes antimutógenos (síntesis de poliploidía)	8
2.7.1 Colchicina.....	8
2.8 Nanopartículas de plata	9
2.9 Calidad de semillas	9
2.10 Germinación	10
2.11 Variedades de algodón	11
3. MATERIALES Y METODOS	12
3.2 Material vegetal.....	12
3.3 Descripción de los tratamientos	13
3.4 Establecimiento del estudio	15
3.5 Variables evaluadas.....	15

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
5. CONCLUSIONES.....	24
6. REVISION BIBLIOGRAFICA	25

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de calidad de semillas	10
Tabla 2. Descripción de los tratamientos que se utilizaron para la presente tesis ...	14
Tabla 3. Emergencia total (ET) de dos variedades de algodón (D-2038 y D-448 B) bajo diferentes tratamientos: control (T1), colchicina 200 ppm (T2) y nanopartículas de plata (AgNPs) 100 ppm (T3).	17

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Unidad Laguna.....	12
Figura 2. Distribución de tratamientos experimentales en matraces Erlenmeyer. ...	14
Figura 3. Medición de área foliar mediante el programa ImageJ (versión 1.54p). ...	16
Figura 4. Efecto de la aplicación de colchicina (200 ppm) y nanopartículas de plata (AgNPs, 100 ppm) sobre la altura de planta (AP) en dos variedades de algodón (D-2038 y D-448 B). Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) según la prueba de comparación de medias.	18
Figura 5. Peso fresco (PF) de dos variedades de algodón (D-2038 y D-448 B) bajo diferentes tratamientos: control (T1), colchicina 200 ppm (T2) y nanopartículas de plata (AgNPs) 100 ppm (T3). Las barras representan la media de los valores obtenidos. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) según la prueba de comparación de medias.....	20
Figura 6. Peso seco (PS) de dos variedades de algodón (D-2038 y D-448 B) bajo diferentes tratamientos: control (T1), colchicina 200 ppm (T2) y nanopartículas de plata (AgNPs) 100 ppm (T3). Las barras muestran la media de los valores obtenidos. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) según la prueba de comparación de medias.....	21
Figura 7. Longitud de raíz (PS) de dos variedades de algodón (D-2038 y D-448 B) bajo diferentes tratamientos: control (T1), colchicina 200 ppm (T2) y nanopartículas de plata (AgNPs) 100 ppm (T3). Las barras muestran la media de los valores obtenidos. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) según la prueba de comparación de medias.....	22
Figura 8. Área foliar (cm ²) de dos variedades de algodón (D-2038 y D-448 B) bajo diferentes tratamientos: control (T1), colchicina 200 ppm (T2) y nanopartículas de plata (AgNPs) 100 ppm (T3). Las barras muestran la media de los valores obtenidos. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) según la prueba de comparación de medias.....	23

RESUMEN

El algodón (*Gossypium spp.*) constituye en un cultivo de relevancia mundial, debido a su gran impacto económico, social y ambiental. Su importancia radica en diversos factores lo cual lo convierte en un producto estratégico para múltiples industrias y comunidades. No obstante, este sector enfrenta desafíos significativos como lo son la disponibilidad hídrica, presencia de patógenos y calidad fisiológica especialmente en la fase de germinación. Ante este escenario, el uso de inductores de germinación (físicos, químicos o biológicos) se presentan como una alternativa prometedora para superar periodos de dormancia y mejorar la viabilidad de las semillas. Por ello, el objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto de las nanopartículas de plata (AgNPs), y colchicina en la germinación y calidad en tres genotipos de algodón. Se efectuó un diseño completamente aleatorizado con tres repeticiones por tratamiento (n = 72 semillas por repetición). Se establecieron tres condiciones experimentales: un control negativo y dos tratamientos mutagénicos (Colchicina 200 ppm; AgNPs 100 ppm), donde fueron aplicados en las semillas en un volumen de 25 ml durante 24 hr (imbibición). Las variables evaluadas fueron: emergencia total (%), altura de planta (cm), peso fresco (g), peso seco (g), longitud de raíz (cm) y área foliar (cm²). Los resultados demostraron que la aplicación de AgNPs en el cultivo de algodón generó una buena respuesta en las variables evaluadas.

Palabras clave: Genética, Imbibición, Mutaciones, Nanopartículas, Viabilidad

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de *Gossypium spp.* es uno de los recursos agroindustriales más estratégicos a nivel global, no solo como insumo fundamental para el sector textil, sino también por sus aplicaciones emergentes en las industrias alimentarias, bioenergéticas y farmacéuticas. De acuerdo con el International Cotton Advisory Committe (2023), el comercio internacional del algodón supera anualmente los 50 mil millones de dólares, con India, China y Estados Unidos como principales productores.

En América Latina, países como Brasil y México han aumentado su producción en un 15 % durante la última década, impulsados por la demanda de fibras con altos estándares de calidad (Zhang *et al.*, 2022).

La Comarca Lagunera destaca como la región algodонера más productiva, aportando aproximadamente el 40 % del volumen nacional (SIAP, 2023). Esta actividad agrícola sustenta económicamente a más de 8,000 familias productoras, con un impacto financiero anual estimado en 1,200 millones de pesos (SADER, 2022).

En esta región, las variedades *Delta Pine*, *NuOPAL* y *Stoneville* son las más sembradas, aunque presentan variabilidad en su respuesta germinativa, con pérdidas de hasta un 25 % debido al estrés biótico y abiótico. Además, fitopatógenos como *Fusarium oxysporum* y *Rhizoctonia solani*, vinculados al uso de aguas residuales, pueden afectar hasta el 45 % de las plántulas en etapa de emergencia (CESAVE, 2022).

Sin embargo, diversos factores como la disponibilidad hídrica, la presencia de fitopatógenos y la calidad fisiológica de las semillas han reducido las áreas cultivadas en un 28 % en la última década. Estos problemas afectan directamente la germinación, cuya tasa promedio oscila entre el 60 y 70 % en condiciones de campo (INIFAP, 2021).

Ante estos desafíos, se han desarrollado diversas estrategias para mejorar la productividad vegetal, desde enfoques naturales hasta técnicas de manipulación genómica controlada (Salazar *et al.*, 2021). Entre ellas, la duplicación cromosómica

inducida mediante agentes antimitóticos como colchicina, orizalina, tridluralina y pronamida ha demostrado eficacia en la obtención de líneas homocigotas diploides con mayor eficiencia germinativa (Manzoor *et al.*, 2019; Zhao *et al.*, 2023).

Paralelamente el uso de nanopartículas metálicas, particularmente las de plata (AgNPs), ha mostrado resultados prometedores debido a su doble función: inhibición de patógenos por su actividad antimicrobiana y estimulación del metabolismo enzimático vinculado a la germinación. Se ha comprobado que las AgNPs pueden inducir la actividad de enzimas como catalasa y peroxidasa, esenciales en la degradación de especies reactivas de oxígeno y la superación del letargo seminal (Pallavi *et al.*, 2022).

No obstante, aún existen vacíos en la literatura científica, la mayoría de las investigaciones han evaluado un solo agente en una única variedad, sin comparar de manera integral el efecto combinado de inductores químicos como la colchicina frente a herramientas nanotecnológicas como las AgNPs en condiciones controladas (Liu *et al.*, 2021). Esta brecha abre la oportunidad de desarrollar estrategias integradas que optimicen la calidad germinativa y el establecimiento de plántulas vigorosas en variedades comerciales de algodón.

OBJETIVO GENERAL

Determinar el efecto de las nanopartículas de plata (AgNPs), y colchicina en la germinación y calidad en tres genotipos de algodón.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Evaluar el porcentaje de germinación en el cultivo de algodón con la aplicación de nanopartículas de plata y colchicina.
- Analizar los parámetros morfológicos en plántulas germinadas de algodón.

HIPÓTESIS

La imbibición de semillas de tres variedades de *Gossypium hirsutum* a tratamientos con colchicina y AgNPs tendrán efecto en la germinación y calidad de las plántulas.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Origen e historia del algodón

El algodón (*Gossypium spp.*) constituye en uno de los cultivos textiles con mayor antigüedad en la historia de la humanidad, con evidencias de su uso que se remontan a más de cinco milenios. Su importancia histórica radica principalmente en el valor económico e industrial de su fibra para su producción textil, lo que propició su domesticación y dispersión geográfica paralelamente al desarrollo de diversas civilizaciones (CIBIOGEM, 2019). Los primeros registros reportados sobre este cultivo proceden de la India, lo que sugiere un probable origen asiático. Sin embargo, descubrimientos arqueológicos han revelado que hacia el 3000 a.C., ya se elaboraban tejidos complejos con algodón en la costa norte de Perú.

En el contexto mexicano, la región de Veracruz es considerada como una de las primeras zonas donde se cultivó el algodón, destacando primordialmente en el proceso de domesticación de especies nativas. Actualmente, México posee una notable riqueza en diversidad genética, al albergar 14 de las 18 especies registradas en el continente americano (Veracruz, 2022). Las diferentes especies de *Gossypium spp.* presentan orígenes geográficos distintos: la especie *G. hisutum*, conocida como algodón upland, es originaria del sur de México y Centroamérica; mientras que *G. barbadense*, llamada algodón egipcio o pima, fue domesticada en los valles fértiles de Perú. Por otra parte, las especies *G. arboreum* y *G. herbaceum* tiene su centro de origen en Asia, específicamente en la India y Arabia.

2.2 Producción Mundial

El algodón constituye en una de las principales especies cultivadas tanto por su utilidad como fibra textil como por su valor económico en los mercados agrícolas, siendo de gran relevancia en la economía agroindustrial en la India. Este cultivo se desarrolla en aproximadamente 60 países a nivel global; no obstante, una concentración significativa de la producción (alrededor del 85 %) se encuentra en solo diez países, entre los que se destacan: Rusia, Estados Unidos, China, India, Brasil, Pakistán, Turquía, Egipto, México y Sudán. Durante el ciclo 2023-2024, el cultivo de algodón ocupó 31.8 millones de hectáreas a nivel mundial, con una producción estimada en 113 millones de pacas (217.72 kg cada una), según datos del USDA

(2024). China se consolidó como principal productor con 27.5 millones de pacas en 2.95 millones de hectáreas, seguido por India (25.5 millones), Brasil (14.6 millones), Estados Unidos (12.1 millones) y Pakistán (6.7 millones) (Meyer, L., & Dew, T., 2025).

2.3 Producción Nacional

México ocupa el noveno lugar a nivel mundial con una producción de 1,162,03 toneladas, produciendo uno de cada cien kilogramos, de los cuales Chihuahua destaca por albergar la mayor parte ya que concentra el 76.9% del volumen total. Actualmente, el territorio mexicano dedica aproximadamente 241,000 hectáreas al cultivo de algodón, concentradas principalmente en seis estados del norte del país: Baja California, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Durango y Tamaulipas (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020).

2.4 Clasificación Taxonómica

Acorde con la USDA (2018) la clasificación taxonómica del algodón es la siguiente:

Reino: Vegetal

Sub-reino: Tracheobionta (plantas vasculares)

Supervisión: Espermatofita (plantas con semilla)

División: Magnoliophyta (plantas con flores)

Clase: Magnoliopsida (dicotiledóneas)

Subclase: Dilleniidae

Orden: Malvales

Familia: *Malvaceae*

Género: *Gossypium*.

Especie: *G. hirsutum*

2.5 Descripción morfológica

2.5.1 Raíz

El sistema radical del algodón presenta una morfología pivotante, que es caracterizada por una raíz principal de la cual son derivadas las raíces secundarias y terciarias. Estas estructuras están revestidas por una monocapa de células epidérmicas. Funcionalmente las raíces no solo proporcionan anclaje a la planta, sino que su profundidad de penetración en el suelo varía en función de la textura edáfica, registrándose elongaciones que pueden llegar hasta los dos metros en raíces secundarias (Vives-Peris *et al.*, 2020).

2.5.2 Tallo

Su tallo presenta un patrón de crecimiento monopoidal y erecto, originado a partir del desarrollo de la plúmula durante la germinación. Morfológicamente, este órgano exhibe una estructura cilíndrica con tejidos lignificados que le confieren resistencia mecánica, alcanzando alturas entre los 1.20 y 1.40 metros, estos parámetros varían en función de las condiciones ambientales, manejo agronómico y características genotípicas. Se reconocen dos patrones fenológicos distintivos: el crecimiento determinado asociado a un único evento de floración y ciclos biológicos más cortos y el crecimiento indeterminado, que presenta múltiples episodios de floración con un desarrollo vegetativo prolongado. Las ramas pueden ser vegetativas y fructíferas (Li *et al.*, 2019).

2.5.3 Hoja

Las hojas presentan lóbulos y un peciolo superficialmente acanalado, de tonalidad púrpura y cubierto de una fina vellosidad, característica que también comparten los tallos jóvenes. Además, poseen numerosas glándulas oleíferas de forma circular o lenticular, pequeñas y de color negro, junto con estípulas que persisten en la planta (MINAM, 2020).

Sus laminas foliares exhiben un notable polimorfismo, incluso dentro del mismo individuo vegetal. Morfológicamente, presentan una división laminar que oscila entre 3 y 9 lóbulos, siendo más frecuente la presencia de 3 a 5. La densidad y distribución de los tricomas muestran una clara variabilidad intraespecífica (León, 2000).

2.5.4 Flor

Las flores pueden exhibirse de forma solitaria o en inflorescencias, ubicadas predominante en ramas fructíferas. La estructura floral incluye un involucre compuesto por tres brácteas verdes de margen dentado. El cáliz está formado por cinco sépalos, mientras que la corola exhibe cinco pétalos de color blanco-amarillento. El androceo presenta al menos diez hileras de estambres bilobulados, con granos de polen esféricos, espinulosos y de tonalidad amarilla. Los pedicelos miden entre 1 y 4 cm de longitud; las brácteas del cálculo alcanzan 4-5 cm y el cáliz tiene un tamaño de 0.7-1.0 cm (Studocu,2019).

2.5.5 Fruto

Capsulas ovoides y alargadas, con forma subesférica, nombradas bellotas en su estado inmaduro y motas al abrir. Su desarrollo inicia poco después de la antesis, originándose a partir de un botón floral en yema axilar foliar, el cual presenta inicialmente una estructura piramidal de aproximadamente 0.5 cm (Dirección General de Diversidad Biológica, 2016).

2.5.6 Semilla

Dicotiledónea, mide aproximadamente 10 por 6 mm, con un peso de 80 mg. Se encuentra rodeada de una capa de células epidérmicas las cuales producen la fibra, es unicelular. Su almendra contiene dos cotiledones que sirven como almacén de nutrientes. El contenido de aceite varía de 34 a 36 % de su peso seco (Ávila *et al.*, 2023).

2.6 Manejo agronómico

Para el cultivo del algodón se recomienda que su lugar in situ sea a cielo abierto, bajo parámetros de climas cálidos, donde la germinación se induce al superar los 14°C, alcanzando su óptimo a 20°C, para la fase de floración requiere temperaturas promedio de 30°C, mientras que la maduración de los frutos ocurre entre 27-30°C. el cultivo presenta alta demanda hídrica debido a su follaje denso y elevada densidad estomática, que favorece la transpiración bajo condiciones de estrés térmico. En cuanto a condiciones edáficas, prospera en suelos profundos y bien drenados, preferentemente de textura arcillosa, que garantiza retención de humedad sin saturación (SAGARPA,2017).

2.7 Agentes antimitóticos (síntesis de poliploidía)

La poliploidía se refiere a un fenómeno natural que ocurre a menudo en las plantas, considerado un mecanismo fundamental para la evolución de las especies, este hecho ha contribuido para la aparición de novedades evolutivas tanto genético, morfológicas y fisiológicas, esto ha permitido que aumente la capacidad competitiva, éxito reproductivo y la tolerancia ecológica con relación a sus progenitores (Molero-Paredes 2018).

La inducción artificial mediante poliploidía es empleada como estrategia biotecnológica para obtener cultivares mejorados, caracterizados por una mayor productividad y concentración de metabolitos bioactivos. Estudios demuestran que este enfoque promueve significativamente la ampliación de órganos vegetativos y reproductivos, incremento en la producción de biomasa, así como la síntesis potenciada de compuestos secundarios con actividad biológica (Niu *et al.*, 2016; Samatadze *et al.*, 2022).

2.7.1 Colchicina

Alcaloide derivado de plantas como *Colchicum autumnale* y *Gloriosa superba*, empleada en agricultura e investigación por su capacidad para inducir mutaciones genéticas. Su mecanismo de acción se basa en la alteración de la división celular, específicamente mediante la inhibición de la formación de huso mitótico, lo que impide la correcta polimerización de los microtúbulos y generan una segregación cromosómica anormal. Como consecuencia, se producen células con poliploidía, es decir con múltiples juegos de cromosomas, lo que modifica las características genéticas de la planta (Salazar *et al.*, 2018).

Estudios recientes indican que la colchicina actúa como un agente antimitótico eficaz, capaz de inducir poliploidía en diversas especies vegetales (Eng & Ho, 2019). Esta propiedad ha sido aprovechada en investigaciones agrícolas, donde su aplicación ha demostrado generar plantas con características morfológicas mejoradas, como lo evidencian trabajos en distintas especies (Zou *et al.*, 2024).

2.8 Nanopartículas de plata

Las AgNPs se encuentran entre los nanomateriales más comercializados gracias a su amplia utilización en productos antimicrobianos, materiales de construcción, dispositivos médicos, sistemas de filtración de agua y diversas aplicaciones industriales (Borase, H. P. *et al.* 2014).

En el ámbito agrícola, se ha explorado el uso de nanopartículas metálicas como lo son: AgNPs, AuNPs, CuNPs, FeNPs, TiO₂NPs, como tratamientos pre-siembra destinados a mejorar la germinación, promover un desarrollo más vigoroso en plántulas y resistencia al estrés abiótico (Liu, R. & Lal, 2015).

En la actualidad los investigadores han mostrado un gran interés por la síntesis de NPs por vía biogénica, con la utilización de extractos acuosos de plantas y microbios, ya que son respetuosos con el medio ambiente, estables, clínicamente adaptables, biocompatibles y rentables (S. Ahmed, Annu, S. Ikram and S. Yudha, 2016).

Recientemente, se ha investigado ampliamente la síntesis biogénica de NPs de plata (AgNPs) utilizando biomateriales como extractos de plantas y microbios como agentes reductores, así como su actividad antimicrobiana. Las AgNPs se producen por oxidación de Ag⁺ a Ag⁰ por diferentes biomoléculas como flavonoides, cetonas, aldehídos, taninos, ácidos carboxílicos, fenoles y proteínas de los extractos vegetales (M. Raque *et al.*, 2017).

2.9 Calidad de semillas

Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), el término de calidad se refiere al valor integral de las semillas, que es determinado tanto por sus atributos genéticos como por los diversos factores que influyen en su crecimiento (SNICS, 2018).

La calidad de semillas puede clasificarse en cuatro categorías fundamentales: Genético, fisiológico, sanitario y físico (Tabla 1). El genético es determinado por la pureza, genética que garantiza la estabilidad del genotipo. La fisiológica hace referencia a la destreza de la semilla para germinar y desarrollarse. En cuanto a la sanitaria evalúa si la semilla está libre de agentes patógenos, como lo son hongos, bacterias, nematodos o virus y por último la física que influye en la presencia de impurezas, daños mecánicos, tamaño, peso (Farras, 2018).

Tabla 1 Clasificación de calidad de semillas

Características específicas	Cualidades
Productividad	Calidad genética
Adaptabilidad	Calidad genética
Resistencia a sequías, a plagas y enfermedades	Calidad genética
Enfermedades transmisibles por la semilla	Calidad sanitaria
Plagas y enfermedades típicas del almacenamiento	Calidad sanitaria
Nivel de madure alcanzado	Calidad fisiológica
Poder germinativo, viabilidad, vigor	Calidad fisiológica
Peso, humedad, tamaño	Calidad física
Presencia/ausencia de materias extrañas, malezas comunes y nocivas	Calidad física
Uniformidad de formas, tamaño, color, brillo, vistosidad	Calidad física

2.10 Germinación

Representa un conjunto de transformaciones metabólicas ordenadas las cuales conducen a la emergencia de las estructuras embrionarias a través de los tejidos de revestimiento seminal. El proceso inicia a través de la fase de imbibición, donde la semilla es hidratada e induce a la reactivación del metabolismo celular. Este evento bioquímico desencadena una serie de cambios fisiológicos que incluyen la expansión radicular y del embrión (Bewley, J. et al., 2013).

El algodón a menudo puede ser susceptible a las diversas condiciones germinativas como lo son: la dureza de la capa de la semilla, su almacenamiento, las temperaturas extremas y la latencia, son los diferentes factores que pueden llegar a influir en la germinación del algodón. En el transcurso de los años, la calidad de las semillas de *Gossypium spp.* y la tolerancia al estrés ambiental mejoraron con el desarrollo de nuevas variedades, tratamientos de semillas y técnicas de mejoramiento, el algodón tiende a tardar de 7-10 días en germinar su semilla (Maeda *et al.*, 2015).

2.11 Variedades de algodón

El algodón comprende aproximadamente 50 especies que están distribuidas en regiones tropicales y subtropicales, de las cuales cuatro de ellas han adquirido relevancia económica global: *G. hirsutum* L., *G. barbadense* L., *G. arboreum* L. y *G. herbaceum* L. estas especies presentan diferencias en sus características agronómicas y de calidad. *Gossypium hirsutum*. conocido como el algodón Upland, es alotetraploide (AD1), entre sus variedades más notorias se encuentra Deltapine, NuOPAL y BRS 293 (López, A *et al* 2018; MINAM 2020).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Área de estudio

El ámbito operacional de esta investigación se circunscribe a las instalaciones del invernadero perteneciente al departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna (UAAAN-UL). Se localiza en las coordenadas 25.5542°N, 103.3744°W, específicamente en Periférico y Carretera Santa Fe, km 1.5, Torreón, Coahuila, México.

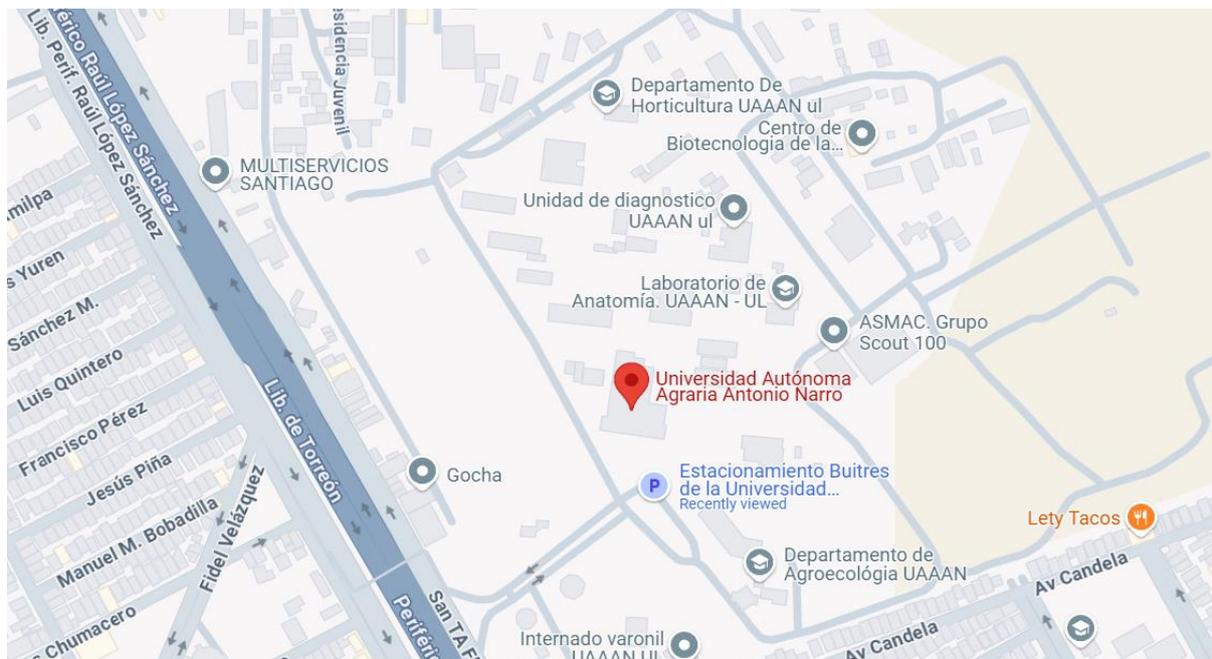


Figura 1. Ubicación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Unidad Laguna

3.2 Material vegetal

Para el presente estudio, se emplearon semillas de tres variedades comerciales de *Gossypium hirsutum* L. pertenecientes al germoplasma Detalpine, seleccionadas en función de su antigüedades, características y adaptabilidad a distintas regiones.

La primera variedad, Delltapine 448 B, corresponde a semillas recolectas hace más de una década. Esta línea presenta un ciclo fenológico de duración media, con un porte vegetativo de altura intermedia y hojas lisas (*glabras*). Desde el punto de vista fitosanitario, exhibe resistencia significativa a lepidópteros plagas, particularmente al gusano bellotero (*Helicoverpa zea*) y al gusano rosado (*Pectinophora gossypiella*).

Su perfil de adaptación óptima incluye regiones algodoneras como Sonora, Baja California, Chihuahua, Coahuila, Tamaulipas y Durango.

La segunda variedad, Deltapine 491, también derivada de semillas con más de 10 años de almacenamiento se caracteriza por un ciclo intermedio-tardío y una arquitectura vegetal de porte medio-alto con hábito de crecimiento compacto. Sus fibras destacan por su alta resistencia mecánica y un perfil de micronaire óptimo, atributos clave para la calidad del textil. Su distribución geográfica preferencial abarca zonas como Sonora Norte, Coahuila, Chihuahua, Baja California, Tamaulipas y Durango.

Finalmente, la variedad Deltapine 2038, recolectada en el ciclo otoño-invierno de 2024, representa un genotipo de ciclo intermedio con un elevado potencial productivo. Un rasgo fisiológico relevante es su marcada resistencia al tizón bacteriano (*Xanthomonas citris* subsp. *malvacearum*), lo que la convierte en un material promisorio para regiones con presión patogénica elevada.

3.3 Descripción de los tratamientos

Para el estudio de inducción de variabilidad genética en *Gossypium hirsutum* L., se establecieron tres condiciones experimentales: un control negativo y dos tratamientos mutagénicos (Tabla 2). El grupo control (T1) consistió en semillas expuestas a 25 mL de agua desionizada estéril durante 24 horas en condiciones controladas ($25 \pm 1^\circ\text{C}$, oscuridad).

El primer tratamiento mutagénico (T2), fue la aplicación de la colchicina. Las concentraciones de colchicina para el tratamiento de semillas suelen oscilar entre 0,1% y 0,8%. Sin embargo, dosis altas causan malformaciones y reducen la producción de plantas tetraploides (Lehrer, JM *et al.*, 2008). En este estudio, se empleó una concentración ajustada de 200 ppm (0,02% p/v), preparada por dilución en 100 mL de agua desionizada. Este alcaloide, fue aplicado en volumen de 25 mL durante 24 hr bajo las mismas condiciones ambientales. El mecanismo de acción que este ocasiona se basa en interrupción de huso mitótico, induciendo poliploidía mediante la formación de células con contenido genético duplicado.

El segundo tratamiento (T3) empleo nanopartículas de plata (AgNPs) en concentraciones de 100 ppm (0.01% p/v), suspendidas en 800 mL de agua desmineralizada y aplicadas en alícuotas de 25 mL durante 24 hr. Las AgNPs, de tamaño controlado y estabilizadas en medio acuoso, ejercen su efecto mutagénico a través de la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS) que inducen estrés oxidativo a nivel celular, provocando potenciales alteraciones en la integridad del material genético.

Todos los tratamientos se realizaron por triplicado, manteniendo las semillas completamente sumergidas en las soluciones correspondientes. Las concentraciones seleccionadas se basaron en estudios previos y se ajustaron según los resultados preliminares.

Tabla 2. Descripción de los tratamientos que se utilizaron para la presente tesis

Tratamiento	Concentraciones	Tiempo de exposición (H)	Dosis aplicada
Testigo T1	-	24 h	25 ml
Colchicina T2	200ppm	24 h	25 ml
AgNPs T3	100ppm	24 h	25 ml



Figura 2. Distribución de tratamientos experimentales en matraces Erlenmeyer.

3.4 Establecimiento del estudio

Tras un periodo de imbibición de 24 hr, las semillas fueron sembradas en charolas de 72 cavidades, utilizando como sustrato una mezcla estéril compuesta por Peat Moss (80 %) y perlita agrícola (20 %). La siembra se realizó mediante la colocación manual de una semilla por cavidad, para así garantizar una densidad de siembra uniforme. Para cada variedad experimental se establecieron tres replicas, siguiendo un diseño completamente al azar. Las charolas se mantuvieron en un invernadero con temperatura controlada. En cuanto a la irrigación de las plántulas, esta se realizó cada segundo día.

3.5 Variables evaluadas

3.5.1 Emergencia total (ET)

El porcentaje de ET se calculó considerando el número total de plántulas emergidas en la evaluación final, utilizando la metodología propuesta por Bautista (2010):

$$\%ET = \left(\frac{\text{Plántulas emergidas en el último conteo}}{\text{No. de semillas sembradas}} \right) 100$$

3.5.2 Altura de plántula

La altura de las plántulas se midió directamente con una regla graduada, desde la base del tallo (punto de inserción con el sustrato) hasta el ápice foliar. Los resultados se expresaron en centímetros (cm) con una precisión de ± 0.1 cm.

3.5.3 Peso fresco

Se seleccionaron aleatoriamente cinco plántulas representativas por tratamiento y variedad. Cada unidad experimental se pesó individualmente usando una balanza analítica de precisión (± 0.1 g), registrando los valores en gramos (g). Estas mismas plántulas se utilizaron para todas las mediciones posteriores (peso seco, longitud radicular y área foliar), asegurando consistencia en los datos.

3.5.4 Peso seco

Se colocaron en bolsas de papel codificadas y se secaron en estufa a 70°C durante 24 h hasta peso constante. La biomasa deshidratada se pesó con la misma balanza analítica (± 0.1 g), expresando los resultados en gramos.

3.5.5 Longitud de radícula

Se midió la longitud radicular desde el ápice hasta la base de la raíz primaria usando un vernier digital (± 0.01 cm). Los datos se registraron en cm.

3.5.6 Área foliar

Cada plántula se fotografió en vista superior con una escala métrica de referencia, y las imágenes se analizaron mediante el software ImageJ (versión 1.54p) con calibración de 411 píxeles/cm. Los resultados se expresaron en cm^2 .

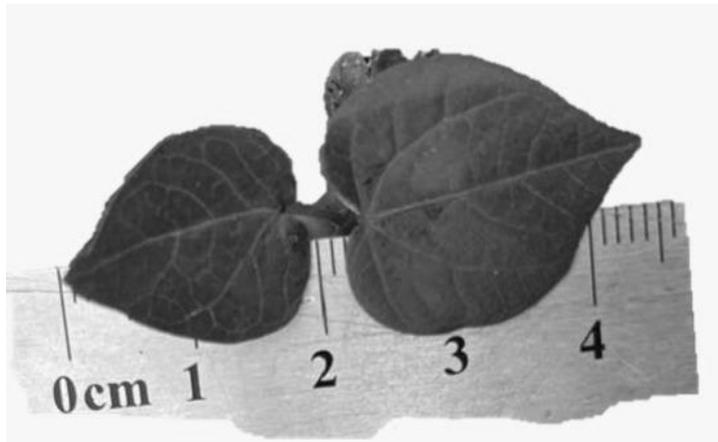


Figura 3. Medición de área foliar mediante el programa ImageJ (versión 1.54p).

3.5.7 Análisis estadístico

El experimento se condujo bajo un diseño completamente al azar, con tres repeticiones por tratamiento ($n= 72$ semillas por repetición). Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba múltiple de Tuckey con un nivel de significancia de ($p= < 0.05$), utilizando el software SAS (versión 9.1, SAS Institute Inc.).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Emergencia Total

La aplicación de AgNPs en concentración de 100 ppm indujo un efecto bioestimulante significativo en la emergencia total del algodón, exteriorizado mediante: un acrecentamiento del 80.55% en la eficiencia germinativa final, así como un descenso significativo del periodo de emergencia radicular. Dicho tratamiento no solo elevó la tasa de germinación respecto al control y la colchicina, sino que además disminuyó el tiempo medio de germinación.

La investigación de Mahakham *et al.* (2017) examinaron la influencia bioestimulante de las nanopartículas de plata (AgNPs) en el desarrollo de arroz, registrando un incremento significativo ($p < 0.05$) en los parámetros asociados a la germinación. Los tratamientos con AgNPs en concentraciones de 10 y 20 mg/l mostraron una mejora notable tanto en la tasa como en la rapidez de germinación en comparación al de control.

Por otro lado, García-López *et al.* (2018) determinaron que la aplicación de nanopartículas de óxido de zinc (ZnO NPs) en *Capsicum annum* indujo un efecto positivo en la velocidad de germinación a los 7 días de tratamiento, particularmente en concentraciones de 100 y 200 ppm.

En hallazgos relacionados reportados por Magdaleno-García *et al.* (2023) donde la aplicación de ZnO NPs utilizado como tratamiento previo a la germinación mostro beneficios en el desarrollo temprano de plántulas de pimiento morrón. Evidenciando mejoras significativas en la capacidad germinativa, señalando que formulaciones esféricas a 100 ppm pueden aumentar un 13% la tasa de emergencia en comparación con el testigo.

Tabla 3. Emergencia total (ET) de dos variedades de algodón (D-2038 y D-448 B) bajo diferentes tratamientos: control (T1), colchicina 200 ppm (T2) y nanopartículas de plata (AgNPs) 100 ppm (T3).

Variedad	Tratamiento	ET (%)
D-2038	T1	63.88
D-2038	T2	59.72
D-2038	T3	80.55
D-448 B	T1	15.27
D-448 B	T3	2.77

4.2. Altura de Planta

De acuerdo con el análisis de varianza y comparación de medias, para la variable altura de planta (Fig. 4), se puede observar que la variedad D-2038, el tratamiento con colchicina (200 ppm) mostro un ligero incremento del 3.2 % respecto al control, mientras que las AgNPs (100 ppm) presentaron un aumento del 21.9 %, indicando un efecto estimulante significativo. Para la variedad D-448 B se observó un contraste drástico, la colchicina (200 ppm) inhibió completamente, demostrando su potente acción inhibitoria, mientras que las AgNPs (100 ppm) incrementaron en un 47.7 %.

Estos hallazgos coinciden con el estudio realizado por Sahandi *et al* (2011), donde las nanopartículas de plata mostraron un efecto estimulante, especialmente en la altura de la planta, con el tratamiento de 60 ppm. De igual manera el trabajo desarrollado por Magdaleno *et al.* (2023) demostró que en plántulas de pimiento morrón se obtuvieron mejores resultados con NP esférico a una concentración de 100 mg L⁻¹, logrando un aumento del 25 % en la altura de la planta.

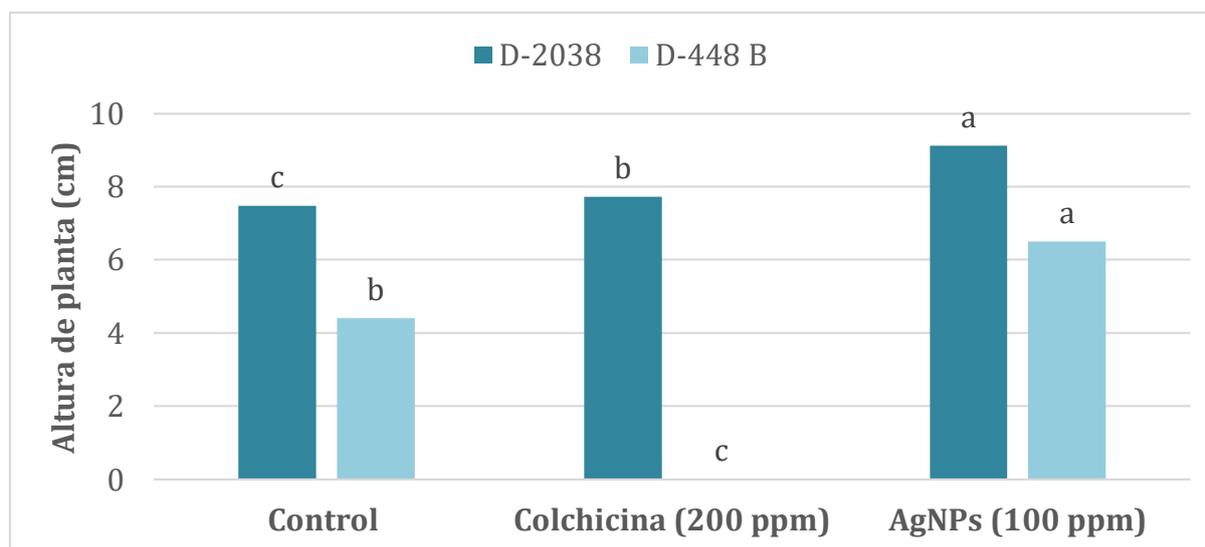


Figura 4. Efecto de la aplicación de colchicina (200 ppm) y nanopartículas de plata (AgNPs, 100 ppm) sobre la altura de planta (AP) en dos variedades de algodón (D-2038 y D-448 B). Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) según la prueba de comparación de medias.

4.3. Peso Fresco

Los tratamientos evaluados mostraron diferencias significativas en el peso fresco de las plantas (Fig. 5). El tratamiento con nanopartículas de plata (AgNps, 100 ppm) mostró un efecto positivo en el peso fresco de ambas variedades de algodón evaluadas. En D-2038, se registró el mayor incremento (41.67 %) con respecto al control, mientras que en D-448 B se observó una mejora más moderada (8.11 %). Estos resultados coinciden con lo reportado por Salma (2012), quien observó un aumento del 30–35 % en el peso fresco de plantas de judía común y maíz tratadas con AgNPs a 60 ppm. De forma similar, Lin y Xing (2007) documentaron un incremento del 17 % en brotes tratados con 50 ppm de AgNPs. Estas similitudes sugieren que las AgNPs pueden actuar como promotores del crecimiento vegetal, posiblemente al mejorar la absorción de nutrientes, modular la actividad hormonal o inducir mecanismos de defensa que favorecen el desarrollo. Sin embargo, la magnitud del efecto puede variar según la especie vegetal y la concentración aplicada, lo cual se refleja en la respuesta diferencial entre las variedades D-2038 y D-448 B.

En contraste, la aplicación de colchicina (200 ppm) tuvo efectos opuestos dependiendo de la variedad. En D-2038, se observó un incremento del 17.26 % en el peso fresco respecto al control, lo que sugiere una posible estimulación del crecimiento en esta variedad. Sin embargo, en D-448 B, el tratamiento con colchicina provocó una inhibición completa del crecimiento, con una reducción del 100 % en el peso fresco. Esta variabilidad en la respuesta puede estar relacionada con la sensibilidad genética específica a la colchicina, un agente antimitótico que puede inducir poliploidía y alterar procesos fisiológicos.

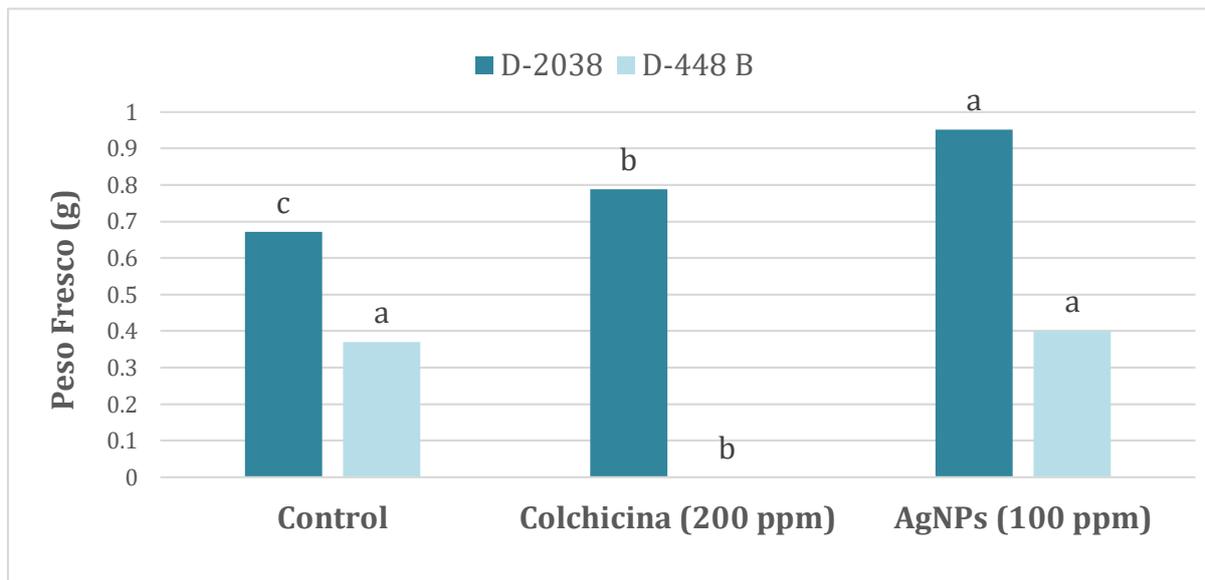


Figura 5. Peso fresco (PF) de dos variedades de algodón (D-2038 y D-448 B) bajo diferentes tratamientos: control (T1), colchicina 200 ppm (T2) y nanopartículas de plata (AgNPs) 100 ppm (T3). Las barras representan la media de los valores obtenidos. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) según la prueba de comparación de medias.

4.4. Peso seco

En cuanto al peso seco, se observaron variaciones significativas entre tratamientos y variedades como se muestra en la Figura 6. En la variedad de algodón D-2038, la aplicación de colchicina (200 ppm) estimuló una disminución del 11.67 % en comparación con el control, mientras que el tratamiento con AgNPs (100 ppm) generó un aumento del 16.67 %, lo que indica un efecto estimulante sobre la acumulación de biomasa seca.

Los efectos fueron aún más notorios en la variedad de algodón D-448 B. En este caso, la colchicina causó una inhibición total de la biomasa seca, demostrando una fuerte sensibilidad al tratamiento. Por el contrario, las que fueron tratadas por AgNPs produjeron un aumento del 9.09 % en comparado con el control, sin embargo, el efecto fue menor que en D-2038.

Estos resultados respaldan el potencial de las nanopartículas como agentes promotores del crecimiento. Aunque el presente estudio se centró en nanopartículas de plata, investigaciones como la de Munir *et al.*, (2018) han demostrado que nanopartículas de óxido de zinc (ZnO) con morfología hexagonal y tamaño de 34 nm, aplicadas a 100 mg L⁻¹, también ejercen efectos positivos sobre el peso seco. De

forma consistente, diversos estudios descritos por Liu & Lal 2015; Mahajan *et al.*, 2011 y Zhao *et al.*, 2015, señalan que, en concentraciones controladas, las nanopartículas metálicas pueden estimular eficazmente la acumulación de biomasa seca en distintas especies vegetales.

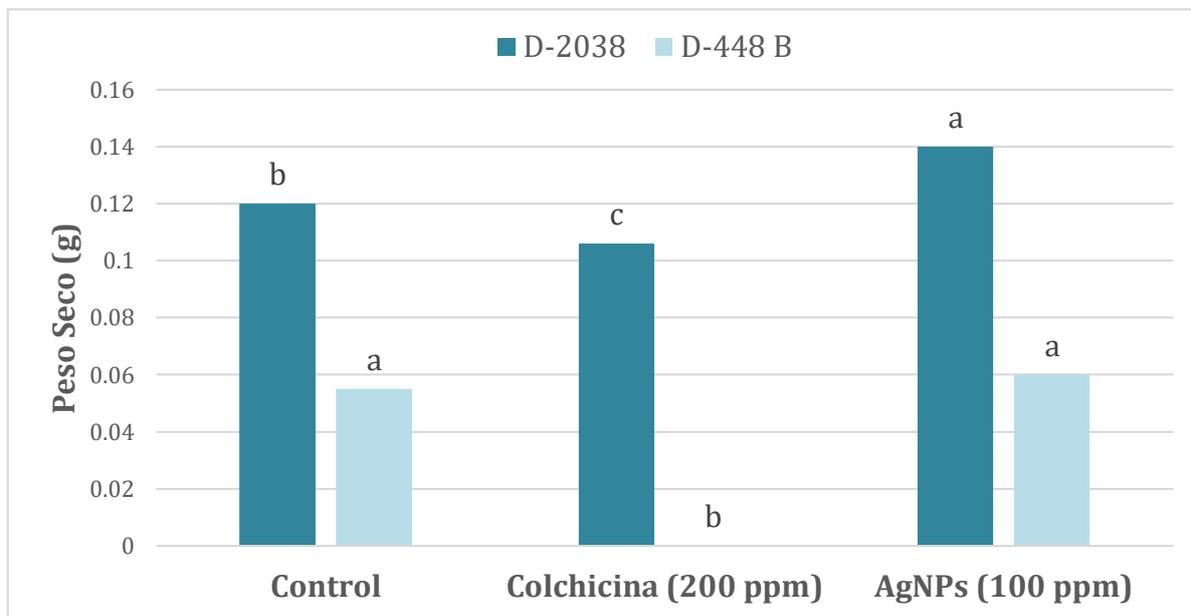


Figura 6. Peso seco (PS) de dos variedades de algodón (D-2038 y D-448 B) bajo diferentes tratamientos: control (T1), colchicina 200 ppm (T2) y nanopartículas de plata (AgNPs) 100 ppm (T3). Las barras muestran la media de los valores obtenidos. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) según la prueba de comparación de medias.

4.5. Longitud de raíz

Los datos revelan efectos contrastantes en la longitud de raíz (Fig. 7). La adicción de colchicina (200 ppm) provocó una disminución del 13% en D-2038, mientras que en D-448 B se obtuvo una inhibición completa. Por el contrario, el tratamiento con AgNPs (100 ppm) mostró un efecto promotor en ambos genotipos, en D-2038 incremento en un 8%, mientras que en D-448 B aumento en un 30% respecto al control.

Estas conclusiones concuerdan con investigaciones previas que reportan efectos positivos de las AgNPs en el desarrollo vegetal. Syu *et al.* (2014) demostraron que las nanopartículas de plata de distintas morfologías promueven el crecimiento radicular en *Arabidopsis thaliana*, mientras que Sharma *et al.* (2012) observaron incrementos de hasta 326% en longitud de raíz.

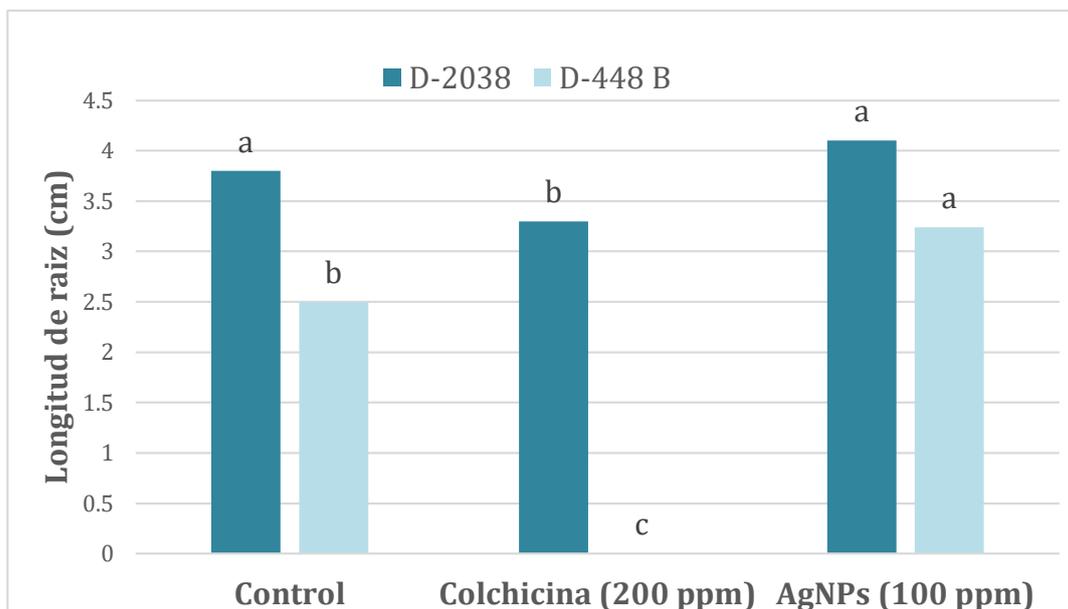


Figura 7. Longitud de raíz (PS) de dos variedades de algodón (D-2038 y D-448 B) bajo diferentes tratamientos: control (T1), colchicina 200 ppm (T2) y nanopartículas de plata (AgNPs) 100 ppm (T3). Las barras muestran la media de los valores obtenidos. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) según la prueba de comparación de medias.

4.6. Área foliar

De acuerdo con el análisis de varianza y comparación de medias, para la variable área foliar (Fig. 8), podemos observar que se mostraron variaciones significativas. En el genotipo D-2038 el tratamiento con AgNPs (100 ppm) indujo un incremento del 23.19% en comparación al control. Por el contrario, la aplicación de colchicina (200 ppm) redujo el área foliar a un 9.73% respecto al control, lo que podría indicar un efecto inhibitorio.

En el genotipo D-448 B, la adición de AgNPs (100 ppm) incremento un 42.49% frente al control, entre tanto la exposición a la colchicina (200 ppm) resulto en la ausencia del área foliar.

Estos resultados sugieren que las AgNPs pueden tener un efecto estimulante en la expansión foliar, mientras que la colchicina ejerce un efecto inhibitorio.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Magdaleno *et al.* (2023) donde la exposición de NPs esféricas en una dosis de 100mg L^{-1} promovió un incremento del

13% de área foliar en comparación al control. Por otro lado, investigaciones realizadas por Faizan *et al.* (2018) en plantas de tomate revelaron que NPs esféricas de ZnO aplicadas a una concentración de 8mg L^{-1} generaron un aumento del 29.9%

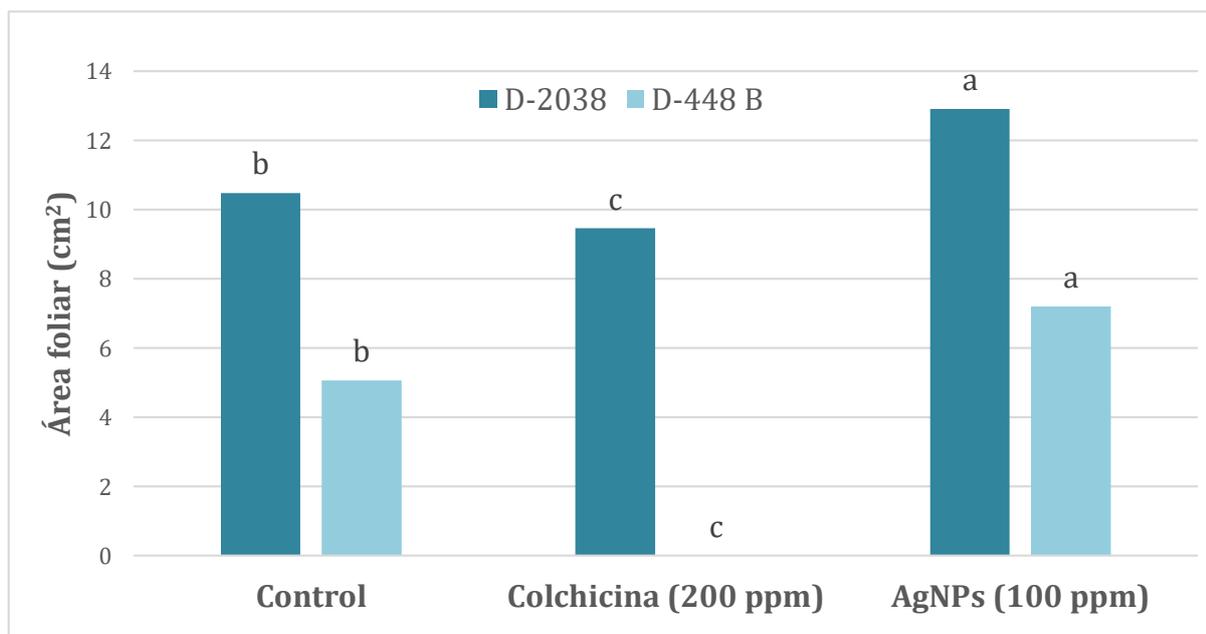


Figura 8. Área foliar (cm^2) de dos variedades de algodón (D-2038 y D-448 B) bajo diferentes tratamientos: control (T1), colchicina 200 ppm (T2) y nanopartículas de plata (AgNPs) 100 ppm (T3). Las barras muestran la media de los valores obtenidos. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) según la prueba de comparación de medias.

5. CONCLUSIONES

De acuerdo con lo obtenido en el experimento se puede deducir que la adición de AgNPs (100 ppm) mostro un impacto significativo en los parámetros evaluados, destacando un incremento del 80.55% en la eficiencia germinativa, como la reducción en el tiempo de emergencia radicular, así como aumentos de 47.7% en altura de planta, 41.67% en peso fresco, 16.67% en biomasa seca, 30% en longitud radicular y 42.49% en área foliar, respecto al control y el tratamiento con colchicina (200 ppm).

Finalmente podemos concluir que las AgNPs destacan tanto a nivel celular como fisiológico. Dicho mecanismo podría estar regulado por vías que estimulan funciones esenciales, como lo son la proliferación celular, alargamiento de raíces y una mejora en el metabolismo de la planta.

Estos hallazgos refuerzan el papel importante de las nanopartículas como una solución innovadora para potenciar el desarrollo vegetal, ofreciendo nuevas oportunidades en el campo agronómico.

6. REVISION BIBLIOGRAFICA

- Ávila, M. J. A., Ávila, S. J. M., Martínez, H. D., & Rivas, S. F. J. (2023). El Cultivo del algodón, Generalidades y sistemas de producción en el Noroeste de México. Universidad de Sonora. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Departamento de Agricultura y Ganadería.
- Bautista P., L. J. (2010). Determinación de la calidad fisiológica de semilla de maíz criollo mejorado obtenida bajo diferentes estrategias de producción. Tesis de Maestría en Tecnología de Granos y Semillas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 48 p.
- Bewley, J., Bradford, K., Hilhorst, H., Nonogaki, H. (2013). Germinación. En: *Seeds*. Springer, New York, NY.
- Borase, H., Salunke, B., Sanlunkhe, R., Patil, C., Hallsworth, J., Kim, B., Patil, S. (2014). Extracto vegetal: una biomatriz prometedor para la síntesis controlada y ecológica de nanopartículas de plata. *Appl Biochem Biotechnol* 173, 1–29
- CESAVE (Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Coahuila). (2022). Reporte anual de patógenos en semillas de algodón.
- Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados [CIBIOGEM]. (2019). Algodón.
- Dirección General de Diversidad Biológica. (2016). ESTUDIO DE LA BIOLOGÍA FLORAL DEL ALGODÓN.
- Eng, W., & Ho, W. (2019). Polyploidization using colchicine in horticultural plants: A review. *Scientia Horticulturae*, 246, 604-617.
- Faizan, M., Faraz, A., Yusuf, M., Khan, S.T. and Hayat, S. 2018. Zinc oxide nanoparticle-mediated changes in photosynthetic efficiency and antioxidant system of tomato plants. *Photosynthetica*. 56(2): 678–686
- FAO (Food and Agriculture Organization). (2021). El algodón en la economía global: tendencias y perspectivas.
- Farrás, T. (2018). Calidad de semilla: qué implica y cómo determinarla. *Plan Agropecuario* (166), 64.
- García-López, J. I., Zavala-García, F., Olivares-Saénz, E., Lira-Saldívar, R. H., Barriga-Castro, E. D., Ruiz-Torres, N. A., Ramos-Cortez, E., Vázquez-Alvarado, R., & Niño-Medina, G. (2018). Zinc oxide nanoparticles boosts

- phenolic compounds and antioxidant activity of *Capsicum annuum* L. during germination. *Agronomy*, 8(10), 215.
- ICAC (International Cotton Advisory Committee). (2023). Cotton: World Statistics.
- INIFAP. (2021). Diagnóstico de suelos agrícolas en La Laguna. Publicación Técnica N° 45.
- Lehrer, JM, Brand, MH y Lubell, JD. (2008). Inducción de tetraploidia en semillas meristemáticamente activas de agracejo japonés (*Berberis thunbergii* var. *Atropurpurea*) mediante exposición a colchicina y orizalina. *Scientia Horticulturae*. 119 (1), 67-71.
- León, J. (2000). Botánica de los cultivos tropicales. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 3ª. edición revisada y aumentada. San José, Costa Rica. pp:1-522.
- Li, T., Zhang, Y., Dai, J., Dong, H., Kong, X., (2019). High plant density inhibits vegetative branching.
- Lin D, Xing B (2007). Phytotoxicity of nanoparticles: inhibition of seed germination and root growth. *Environmental Pollution*, 150: 243 - 250.
- Liu, R. & Lal, R. (2015). Potential of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. *Sci. Total, Environ*. 514, 131–139.
- Liu, Y., Wang, Q., & Zhang, Y. (2021). Varietal differences in response to germination enhancers in cotton: A meta-analysis. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1123456.
- López, A.; López, S.; Gil, E.; Caicedo, E.; Mendoza, E. Characterization of fruits; seeds and fibers of *Gossypium barbadense* “algodón Pardo.” *Sciéndo* 2018, 21, 301–304. [CrossRef]
- M. Raque, I. Sadaf, M. S. Raque and M. B. Tahir, *Artif. Cells, Nanomed., Biotechnol.*, (2017), 45, 1272–1291
- Maeda, (2015). Análisis de expresión ABV y mapeo del gen de la semigamia en algodón (*Gossypium barbadense* L.). Tesis de maestría, Texas A&M University, College Station, TX, EE. UU.
- Magdaleno, G; Juárez, A; Betancourt, R; González, S; Cabrera, M; Sánchez, M., & Méndez, A. (2023). Zinc oxide nanoparticle morphology modify germination and early growth of bell pepper seedlings. *Biotecnia*, 25(3), 149-158.
- Mahajan, P., Dhoke, S.K. Kanna, A.S. and Tarafdar, J.C. (2011). Effect of nano-ZnO on growth of mung bean (*Vigna radiata*) and chand chickpear (*arietinum*) seedlings using plant agar method. *Applied Biological Research*. 13(2): 54–61.

- Mahakham, W., Sarmah, A. K., Maensiri, S., & Theerakulpisut, P. (2017). Nanopriming technology for enhancing germination and starch metabolism of aged rice seeds using phytosynthesized silver nanoparticles. *Scientific Reports*, 7(1), 1–21.
- Manzoor, A., Ahmad, T., Bashir, M. A., Hafiz, I. A., & Silvestri, C. (2019). Studies on Colchicine Induced Chromosome Doubling for Enhancement of Quality Traits in Ornamental Plants (Basel, Switzerland), 8(7), 194.
- Meyer, L., & Dew, T. (2025). Cotton and wool outlook: March 2025 (Report No. CWS-25c). U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service.
- MINAM—Ministerio del Ambiente del Perú (2020). Línea de Base de la Diversidad del Algodón Peruano con Fines de Bioseguridad; Government of Peru: Lima, Peru; p. 83.
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2020). Libro del algodón: Biodiversidad y bioseguridad en el Perú.
- Molero Paredes, T. A. (2018). Efectos de la inducción artificial de la poliploidia en plantas de Aloe vera (L.). Boletín del 15 Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad del Zulia, 42(1), 111-133. <https://www.researchgate.net/profile/Tamara16 Molero>
- Munir, T; Rizwan, M.; Kashif, M; Shahzad, A; Ali, S; Amin, N; Zahid, R; Alam, M.F. & Imran, M. (2018). Effect of zinc oxide nanoparticles on the growth and Zn uptake in wheat (*Triticum estivum* L.) by seed priming method. Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures. 13(1): 315–323.
- Niu L., Tao Y., Chen M., Fu Q., Dong Y., He H., et al. (2016). Identificación y caracterización de *Jatropha curcas* tetraploide y octoploide inducida por colchicina.
- Pallavi, Mehta, CM, Srivastava, R., Arora, S. y Sharma, AK (2016). Evaluación del impacto de las nanopartículas de plata en el crecimiento vegetal y la diversidad bacteriana del suelo. 3 Biotech, 6, 1-10.
- S. Ahmed, Annu, S. Ikram and S. Yudha, J. Photochem. Photobiol., B, (2016), 161, 141–153.
- Salama, H. M. (2012). Effects of silver nanoparticles in some crop plants, including cotton (*Gossypium hirsutum* L.). Journal of Nanoparticle Research, 14(3), 1-11.

- Salazar Mercado, S. A., Quintero Caleño, J. D., & Bustos Urbano, V. J. (2021). Impact of colchicine on leaf morphology and stomatics of *Kalanchoe tubiflora* (Harv.) Raym. -Hamet (Crassulaceae). *Botanica Pacifica*, 10(2).
- Samatadze, T. E., Yurkevich, O. Y., Khazieva, F. M., Basalaeva, I. V., Konyaeva, E. A., Burova, A. E., Zoshchuk, S. A., Morozov, A. I., Amosova, A. V., & Muravenko, O. V. (2022). Agro-Morphological and Cytogenetic Characterization of Colchicine-Induced Tetraploid Plants of *Polemonium caeruleum* L. (Polemoniaceae) Plants (Basel, Switzerland), 11(19), 2585.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER]. (2022). Informe anual del sector algodonero en la Comarca Lagunera: producción, desafíos y perspectivas. Gobierno de México.
- Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2017). Planeación agrícola nacional. Algodón mexicano.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (SAGARPA). (2017). PLANEACIÓN AGRÍCOLA NACIONAL 2017-2030.
- Seif, S. M., Sorooshzadeh, A., Rezazadehs, H., & Naghdibadi, H. A. (2011). Effect of nanosilver and silver nitrate on seed yield of borage. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(2), 171-175.
- Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS). (2018). ¿Qué es y en qué consiste el análisis de pureza física de las semillas??
- Sharma, P., Bhatt, D., Zaidi, MGH, Saradhi, PP, Khanna, PK y Arora, S. (2012). Mejora del crecimiento y el estado antioxidante de *Brassica juncea* mediada por nanopartículas de plata. *Bioquímica y biotecnología aplicadas*, 167, 2225-2233.
- SIAP. (2023). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola en México.
- Studocu. (2019). Morfología Floral del Algodón - MORFOLOGÍA FLORAL DEL ALGODÓN (*Gossypium barbadense*) Arbusto o – Studocu.
- Syu, YY, Hung, JH, Chen, JC y Chuang, HW (2014). Impacto del tamaño y la forma de las nanopartículas de plata en el crecimiento y la expresión génica de plantas de *Arabidopsis*. *Fisiología y bioquímica vegetal*, 83, 57-64.
- United States Department of Agriculture (USDA). (2018). Classification for Kingdom Plantae Down to Genus *Gossypium* L.
- Veracruz, R. A. (2022). 7 De octubre, Día internacional del algodón. gov.mx.

- Vives-Peris, V., Lopez-Climent, M.F., Pérez-Clemente, R.M. & Gomez-Cadenas, A. (2020) Root involvement in plant responses to adverse environmental conditions. *Agronomy*, 10, 942
- Zhang, Y., Wang, X., & Li, J. (2022). Cotton production trends in Latin America: Challenges and opportunities. *Agricultural Systems*, 195, 103280.
- Zhao, L., Su, Y., Hernandez-Viezcas, J.A., Servin, A.D., Hong, J., Niu, G., Peralta-Videa, J.R., Duarte-Garde, M., and Gardea-Torresdey, J.L. (2013). Influenced of and ZnO nanoparticles on cucumber physiological markers and bioaccumulation of Ce and Zn: A Life Cycle Study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 61(49): 11945–11951.
- Zhao, Y; Kong, B; Uyen, P; Li, L; Du, J; Ma, L; Sang, Y; Wu, J; Zhou, Q; Cheng, X; Kang, X; & Zhang, P. (2023). Las giberelinas como un nuevo mutágeno para inducir gametos 2n en plantas. *Frontiers In Plant Science*, 13.
- Zou, P., Zheng, Y., Wang, Y., Hu, X., Dai, S., Wang, W., Lee, S. Y., & Li, G. (2024). Las giberelinas como un nuevo mutágeno para inducir gametos 2n en plantas.