

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BÁSICAS



**Nanopartículas de plata en el establecimiento *in vitro* de
*Lilium sp.***

TESIS

**Presentada como requisito parcial para obtener el título de:
INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA**

Por:

LILIANA NAVA SEGURA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Agosto, 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BÁSICAS

**Nanopartículas de plata en el establecimiento *in vitro* de
*Lilium sp.***

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:
INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA

Por:

LILIANA NAVA SEGURA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dra. Barbarita Companioni González
Director Principal Interno



Dra. Yolanda González García
Director Principal Externo



Dr. Antonio Juárez Maldonado
Co-Asesor Interno



M.C. Gloria Laura Nuncio Orta
Co-Asesor Externo

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
Agosto, 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BÁSICAS

Nanopartículas de plata en el establecimiento *in vitro* de *Lilium* sp.

POR:

LILIANA NAVA SEGURA

TESIS

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

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA

Aprobada por:

Dra. Barbarita Companioni González
Director Principal Interno

Dra. Yolanda González García
Director Principal Externo

Dr. Antonio Juárez Maldonado
Co-Asesor Interno

M. C. Gloria Laura Nuncio Orta
Co-Asesor Externo



M. C. Sergio Sánchez Martínez
Coordinador de la División de Ingeniería

Buenvista, Saltillo, Coahuila, México.
Agosto, 2025

Derechos de Autor y Declaración de no plagio

Todo material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor de los Estados Unidos Mexicanos, y pertenece al autor principal quien es el responsable directo y jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

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

Por lo anterior nos responsabilizamos de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaramos que este trabajo no ha sido previamente presentado en ninguna otra institución educativa, organización, medio público o privado.



Lilliana Nava Segura

Autor Principal



Dra. Barbarita Companioni González

Director Principal Interno

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme terminar una etapa importante en mi vida y también por permitirme siempre estar rodeada de la gente que quiero.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por ser mi segundo hogar al brindarme la oportunidad de formarme profesional y académicamente obteniendo conocimientos indispensables para mi formación.

A mis padres; Francisco Nava Reyes y Matilde Segura Bravo, mis hermanos; Jessica Nava Segura, Leonel Nava Segura y Orlando Nava Segura por ser mi mayor fuente de motivación durante este trayecto de mi vida.

A mis abuelos maternos; Bernardo Segura Colín (†) y María Elena Bravo Lara, así como a mis abuelos paternos; Refugio Nava Estrada (†) y Alberta Reyes Mercado, por tanto cariño y por confiar en mí siempre.

A mi familia (tíos, tías, primos y primas) por sus buenos consejos y su apoyo durante esta etapa de mi vida.

A la Dra. Elda Barbarita Companioni González por su apoyo en la realización y revisión del presente estudio, además de sus buenos consejos motivándome a mejorar mi formación profesional.

A la MC. Gloria Laura Nuncio Orta por su valioso apoyo durante la realización del trabajo, compartiendo sus conocimientos siendo una pieza importante en la adquisición de ellos.

A M. Belen Lemus España por ser como mi segunda familia al ser mi compañera durante los dos últimos años compartiendo buenos momentos, pero también momentos difíciles, por su apoyo y amistad durante el tiempo convivido.

DEDICATORIA

A mis dos estrellas en el cielo quienes en menos de un año se han ido para nunca volver, que con su partida me están enseñando a vivir con su recuerdo en mi corazón sin estar preparada porque, aunque físicamente ya no sé encuentren siempre los llevaré presentes con el mismo amor y cariño que me brindaron, con la esperanza de algún día volverlos a ver y darnos el último abrazo que no nos pudimos dar.

A mi abuelito Bernardo (†) que se fue sin avisar y de quien no me pude despedir gracias por demostrarme siempre su apoyo y cariño hasta el último momento.

A mí abuelito Refugio (†) que siempre trato de prepararnos para su despedida, gracias por sus consejos y su cariño siempre.

Espero que dónde quiera que se encuentren siempre se sientan orgullosos de mi como yo siempre lo estaré de ellos, hoy sé que tengo dos ángeles que me acompañarán y guiarán en cada camino por recorrer durante el resto de mi vida y que por siempre vivirán en mi corazón.

Los quiero mucho, un abrazo hasta el cielo.

A mis padres; Francisco Nava Reyes y Matilde Segura Bravo por ser mi más grande motivación por apoyarme y por enseñarme que todo logro conlleva un esfuerzo y a siempre enfrentar las dificultades.

A mis hermanos; Jessica Nava Segura por ser una gran compañera todo el tiempo por demostrarme su apoyo y cariño en buenos y malos momentos, a mis hermanos; Leonel Nava Segura y Orlando Nava Segura su apoyo, cariño y confianza.

ÍNDICE GENERAL DEL CONTENIDO

	Página
ÍNDICE GENERAL DEL CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE CUADROS	ix
RESUMEN	xi
1.0 INTRODUCCIÓN	12
1.1 JUSTIFICACIÓN	14
1.2 OBJETIVOS	15
2.0 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Sistemática e importancia del género <i>Lilium</i>.	16
2.2 Características botánicas del cultivo.	17
2.3 Propagación sexual y asexual en el cultivo de <i>Lilium</i>.	19
2.5 Utilización de nanopartículas de plata en la micropropagación de plantas: Efecto de microbicidas de las nanopartículas de plata.	21
3.0 MATERIALES Y MÉTODOS	24
<i>3.0.1 Generalidades de los experimentos.</i>	24
3.1 Establecimiento <i>in vitro</i> de <i>Lilium</i> sp. a partir de escamas mediante la utilización de nano partículas de plata.	24
<i>3.1.1 Desinfección de explantes de <i>Lilium</i> sp. 'Concador select' con bicloruro de mercurio (HgCl₂).</i>	24
<i>3.1.2 Desinfección de explantes de <i>Lilium</i> sp. 'Concador select' con NPsAg Argovit™</i>	26
3.2 Incubación de explantes	27
3.3 Oxidación fenólica	27
3.4 Evaluación del porcentaje de contaminación en explantes de <i>Lilium</i> sp. 'Concador select'	27
3.5 Evaluación de brotación en explantes de <i>Lilium</i> sp. 'Concador select'	27
3.6 Diseño experimental	27
3.7 Análisis estadístico	28
4.0 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
4.1 Establecimiento <i>in vitro</i> de <i>Lilium</i> sp. a partir de escamas mediante la utilización de nano partículas de plata NPsAg Argovit™.	29
<i>4.1.1 Efecto de la desinfección con bicloruro de mercurio (0.25%) y desinfección con las NPsAg en la presencia de oxidación fenólica durante el establecimiento in vitro de <i>Lilium</i> sp.</i>	29

<i>4.1.3 Microbulbos brotados en escamas con los tratamientos de bicloruro de mercurio y con las NPsAg Argovit™.</i>	34
5.0 CONCLUSIONES	37
6.0 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Tratamientos incluidos durante la desinfección de explantes de <i>Lilium</i> sp. `Concador select' utilizando bicloruro de mercurio (HgCl ₂) con diferentes tipos de explante y tiempos de inmersión.	25
Cuadro 2. Medio de cultivo utilizado en el establecimiento de escamas de escamas <i>Lilium</i> sp. `Concador select'.	25
Cuadro 3. Tratamientos incluidos durante la desinfección de explantes de <i>Lilium</i> sp. `Concador select' utilizando diferentes concentraciones y tiempos de inmersión con NPsAg Argovit™.	26
Cuadro 4. Presencia de oxidación fenólica durante el establecimiento in vitro de escamas de <i>Lilium</i> sp. `Concador select' mediante la utilización de diversos agentes desinfectantes.	30

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Partes botánicas de <i>Lilium</i> sp (Buschman y Soriano 2004).	18
Figura 2. Multiplicación por escamas de bulbo de <i>Lilium</i> sp. (método de mayor uso) Herreros, L. (1983).	20
Figura 3A. Escamas de <i>Lilium</i> sp. 'Concador select' con presencia de oxidación fenólica establecidas en medio de cultivo.	29
Figura 4. Efecto de bicloruro de mercurio (HgCl ₂) (0.25%) en la desinfección y establecimiento <i>in vitro</i> de escamas de <i>Lilium</i> sp..	32
Figura 5. Efecto de nanopartículas de plata (NPsAg) con las concentraciones de 25, 50 y 100 mg L ⁻¹ durante la desinfección y establecimiento <i>in vitro</i> de escamas de <i>Lilium</i> sp. mediante 5, 10 y 15 minutos de inmersión.	33
Figura 6. Regeneración <i>in vitro</i> de <i>Lilium</i> sp. a partir de escamas.	34
Figura 7. Efecto de bicloruro de mercurio (HgCl ₂) (0.25%) en el número de microbulbos brotados por escamas durante el establecimiento <i>in vitro</i> de <i>Lilium</i> sp	35
Figura 8. Efecto de nanopartículas de plata (NPsAg) con concentraciones de 25, 50 y 100 mg L ⁻¹ en el número de microbulbos brotados por escamas en el establecimiento <i>in vitro</i> de escamas de <i>Lilium</i> sp. mediante 5, 10 y 15 minutos de inmersión.	36

RESUMEN

El *Lilium sp.*, o lirio, es una planta de gran importancia ecológica, cultural y comercial, apreciada en jardinería, fragancias y medicina tradicional. Dado que su reproducción natural enfrenta limitaciones, la propagación *in vitro* es esencial para su cultivo eficiente y sostenible, permitiendo obtener plantas libres de enfermedades y con alta calidad genética. Un reto significativo de esta técnica es la contaminación, que demanda protocolos estrictos de desinfección. En este contexto, las nanopartículas de plata (NPsAg) destacan por sus propiedades antimicrobianas, reduciendo la contaminación y mejorando la eficiencia del proceso, además de ser una alternativa sostenible frente a químicos agresivos. En la presente investigación se determinó el efecto de las NPsAg Argovit™ en el establecimiento *in vitro* de *Lilium sp.* Para ello se estableció un protocolo para la regeneración *in vitro* de *Lilium sp.* a partir de escamas mediante la utilización de NPsAg Argovit™ en la etapa de establecimiento *in vitro* del cultivo. En el cual se demostró la efectividad de las concentraciones utilizadas de NPsAg Argovit™ para promover el crecimiento de explantes de *Lilium sp.* 'Concador select'; y a su vez contrarrestaron la contaminación en la etapa de establecimiento *in vitro* del cultivo. En este estudio, las NPsAg Argovit™ se evaluaron en concentraciones de 0, 25, 50 y 100 mg. L⁻¹ con tiempos de inmersión de 5, 10 y 15 minutos. La mejor asepsia (94%) se obtuvo con 100 mg. L⁻¹ y 15 minutos de inmersión, mientras que la mayor brotación (7.03 microbulbos por explante) ocurrió con 25 mg. L⁻¹ y el mismo tiempo. Las NPsAg también redujeron la oxidación fenólica en los explantes, optimizando la propagación *in vitro* del *Lilium sp.* Estos hallazgos resaltan su potencial para la producción comercial y conservación de esta especie ornamental.

Palabras clave: actividad microbicida, bionanotecnología, hormesis, micropropagación.

1.0 INTRODUCCIÓN

El *Lilium sp.*, conocido como lirio, desempeña un papel esencial en diversos ámbitos. Su valor ecológico radica en ser una fuente de alimento para polinizadores como abejas y mariposas, contribuyendo a la salud de los ecosistemas (García-Pérez *et al.*, 2023; Silva y Rocio, 2024). Además, posee un gran simbolismo cultural, siendo utilizado en tradiciones, arte y religiones como un emblema de pureza y renacimiento (Mantilla *et al.*, 2023; Arévalo-Galarza *et al.*, 2024). En la jardinería, los lirios son altamente apreciados por su belleza y variedad de colores, embelleciendo espacios tanto exteriores como interiores (Imbago-Lanchimba y Gómez-Cabezas, 2021; Winarto *et al.*, 2024). También tienen aplicaciones comerciales en la industria de fragancias, gracias a su aroma característico. Algunas especies incluso se utilizan en la medicina tradicional para aliviar ciertos malestares (Khan *et al.*, 2021; Anisah *et al.*, 2023). Así, el *Lilium sp.* combina belleza, funcionalidad y un profundo significado cultural, lo que lo convierte en una planta verdaderamente especial.

La propagación acelerada *in vitro* del *Lilium sp.* es esencial debido a las limitaciones en su propagación vegetativa natural (Patil *et al.*, 2021; Zuo *et al.*, 2024). Esta planta suele tener dificultades para reproducirse de manera eficiente mediante bulbos, lo que reduce la producción y disponibilidad comercial. Los métodos *in vitro* permiten superar estas barreras al generar grandes cantidades de plantas en menos tiempo y bajo condiciones controladas (Kamalashree y Nayaka, 2023; Pałka *et al.*, 2023). Además, esta técnica asegura la obtención de plantas libres de enfermedades y con características genéticas uniformes, lo que mejora la calidad del cultivo (Dhorajiwala, 2022). La propagación *in vitro* también permite preservar especies raras o en peligro de extinción, contribuyendo a la conservación genética. Por otro lado, facilita la producción comercial a gran escala, satisfaciendo la demanda del mercado ornamental y agrícola (Mosonyi *et al.*, 2022). Por estas razones, el uso de la propagación *in vitro* es una solución indispensable para optimizar el cultivo del *Lilium sp.* y garantizar su sostenibilidad.

El cultivo *in vitro* del *Lilium sp.* enfrenta varias limitaciones, siendo las contaminaciones durante el establecimiento una de las más significativas (Patil *et al.*, 2021; Zuo *et al.*, 2024). Estas contaminaciones suelen originarse de microorganismos presentes en los tejidos de las plantas o en el ambiente del laboratorio, incluso en condiciones de esterilidad (Gong *et al.*, 2023; Basit y Lim, 2024). La dificultad de eliminar completamente los hongos, bacterias u otros patógenos en el material vegetal puede comprometer el éxito del cultivo. Además, el manejo inadecuado de

las herramientas y medios de cultivo contribuye a aumentar el riesgo de contaminación. Este problema no solo reduce la eficiencia del proceso, sino que también incrementa los costos al requerir repetidos intentos de limpieza y nuevas preparaciones (Fan y Sun, 2024; Winarto *et al.*, 2024). Por ello, es fundamental implementar técnicas rigurosas de desinfección y esterilización, así como protocolos estrictos de trabajo en entornos controlados. Estas medidas ayudan a minimizar las contaminaciones y maximizar los resultados del cultivo *in vitro*.

Las nanopartículas de plata han demostrado ser una herramienta prometedora en el control de contaminaciones durante el establecimiento *in vitro* del *Lilium sp.* (Singh *et al.*, 2023; Zeng *et al.*, 2024). Gracias a sus propiedades antimicrobianas, estas nanopartículas son capaces de inhibir el crecimiento de bacterias, hongos y otros microorganismos que suelen comprometer el éxito del cultivo (Lashin *et al.*, 2021; Orlikowski *et al.*, 2023). Su aplicación en medios de cultivo permite reducir significativamente las tasas de contaminación, mejorando la eficiencia del proceso y disminuyendo la necesidad de tratamientos químicos más agresivos (Noori *et al.*, 2024; Alfosea-Simón *et al.*, 2025). Además, las nanopartículas de plata ofrecen una alternativa sostenible y efectiva, ya que pueden ser utilizadas en concentraciones bajas sin afectar el desarrollo de los tejidos vegetales. Investigaciones recientes han explorado su integración en protocolos de desinfección y esterilización, mostrando resultados alentadores en la propagación *in vitro* de plantas ornamentales como el *Lilium* (Hernández-Díaz *et al.*, 2021; Okoroafor, 2022). Este enfoque innovador representa un avance significativo en la biotecnología vegetal, optimizando la producción de especies de alto valor comercial y ornamental.

Basado en los planteamientos anteriores, la investigación recogida en el presente documento de tesis estuvo encaminado a la comprobación de la siguiente hipótesis: Las nanopartículas de plata pueden ser utilizadas para la eliminación de contaminantes microbianos de los explantes en la etapa de establecimiento *in vitro* de *Lilium sp.*

1.1 JUSTIFICACIÓN

El cultivo de *Lilium* en los últimos años ha adquirido gran importancia en los mercados nacionales e internacionales. En México los productores de *Lilium* para establecer áreas a este cultivo se abastecen de bulbos importados; y mantenidos en cadena de frío hasta su siembra en campo. Lo cual favorece la aparición de enfermedades fungosas y bacterianas que en muchos casos no son detectadas al momento de la siembra en campo. Por otra parte, el género *Lilium* se propaga vegetativamente a partir de la formación natural de nuevos bulbos desarrollados principalmente en las axilas de las hojas; bulbos de tallos o bulbillos desarrollados a partir de escamas. Este último constituye el mayor uso en la propagación del cultivo, sin embargo, el tamaño del bulbo comercial se obtiene entre tres a cuatro años. Pero, la propagación *in vitro* de *Lilium* constituye una alternativa a los métodos convencionales de propagación por los beneficios que brinda entre ellos: aumenta la tasa de multiplicación y genera material libre de patógenos. Por otro lado, la utilización de nanopartículas de plata (NPsAg) en la micropropagación se ha convertido en una alternativa útil para promover la actividad microbicida y el desarrollo durante la propagación *in vitro* de los cultivos.

1.2 OBJETIVOS

Para el cumplimiento de la anterior hipótesis se propone los siguientes objetivos:

Objetivo general:

Determinar el efecto de las NPsAg Argovit™ en el establecimiento *in vitro* de *Lilium* sp.

Objetivo específico:

1. Establecer un protocolo para la regeneración *in vitro* de *Lilium* sp. a partir de escamas mediante la utilización de NPsAg Argovit™ en la etapa de establecimiento *in vitro* del cultivo.

2.0 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sistemática e importancia del género *Lilium*.

Lilium sp. conocida comúnmente como azucena híbrida representa una planta herbácea con bulbos escamosos. Pertenece a la familia *Liliaceae* y al género *Lilium*, donde encontramos los siguientes subgéneros. Estos son: *Cardiocrinum*, *Eulirion* y *Liliocharis*. Por otra parte, este género comprende aproximadamente 100 especies distribuidas en las regiones templadas del hemisferio boreal. Donde algunas de ellas son originarias de Europa. Mientras que otras de América del Norte (EE. UU y Canadá) y algunas se encuentran en Asia (India, China, Filipinas y Japón) (Heimberger, 2004).

Estos ocupan el quinto lugar entre las flores más vendidas en el mundo. Lo anterior se atribuye a su diversidad de colores logrado a través de la hibridación entre especies asiáticas y orientales; y la disponibilidad de la flor durante todo el año mediante los sistemas intensivos de producción (Gómez, 2009). A pesar del alto costo de los bulbos (semilla) por parte del productor, muchas de sus especies son cultivadas para flor de corte y otras para maceta o sembradas en jardines. Su oferta abarca un gran número de variaciones en color y forma por parte de la flor. Por lo que, resultan ser muy aceptadas en el mercado (Morales y Arbeláez, 2015). En México, la producción de este cultivo ha adquirido gran demanda como flor de corte y de maceta. Lo cual garantiza una alta demanda en el mercado (Castro y Londoño, 2008). Por otro lado, la producción de *Lilium* y gerbera en el año 2020 tuvieron un aumento de 4.6 y 3.6 por ciento. Donde el Estado de México la producción se registró hasta un 100% en el cultivo de gerbera; y un 84.5% de la producción en el caso de *Lilium* (SIAP, 2020).

En los momentos actuales el cultivo de *Lilium sp.*, ocupa el décimo primer lugar en demanda; y el segundo lugar en plantas bulbosas en México. Lo cual se atribuye a su gran diversidad de colores logrado de la hibridación y de la disponibilidad de la flor durante todas las épocas del año mediante los sistemas intensivos de producción (SIAP, 2020). Sin embargo, a pesar que México constituye un productor importante de *Lilium*, su producción de bulbos para siembra es escasa o nula. Los productores para establecer áreas a este cultivo se abastecen de bulbos importados; los cuales son mantenidos o almacenados en cadena de frío hasta su siembra en campo. Aspecto que favorece la aparición de enfermedades fungosas y bacterianas, que en muchos casos no son detectadas al momento de ser adquiridas por el productor. Por otra parte, este bulbo sembrado produce flores de calidad de exportación sólo en la primera cosecha. Por

tanto, el productor de *Lilium* debe comprar nuevamente bulbos para poder mantener sus programas de siembra durante todo el año. Aspectos que incrementan los costos de producción y disminuye la rentabilidad del cultivo (Arboleda, 2017; Vázquez, 2017). Por lo tanto, se hace necesario el desarrollo de técnicas de propagación masiva que permitan la obtención de bulbos de mayor calidad (libre de patógenos) en menor tiempo y a más bajos costos, y de esta manera lograr la sostenibilidad en el cultivo de *Lilium* sp.

2.2 Características generales de *Lilium* sp.

Las especies del género *Lilium* se agrupan en torno a un disco basal. Las cuales son plantas formadas por un bulbo escamoso constituido por hojas modificadas. Estas son escamas carnosas que almacenan las sustancias de reserva previo a la emergencia del sistema radical. Estas reservas son necesarias para el desarrollo de la planta, y finalmente calidad de la flor. Por otra parte, presenta raíces carnosas que emergen del disco basal; y raíces adventicias que salen del tallo ubicadas en la porción superior del bulbo. Las raíces adventicias tienen la función de absorber nutrientes y agua para el crecimiento de la planta (de Hertogh y Le Nard, 1993). El bulbo de *Lilium* sp. presenta escamas externas e internas: las internas están más compactas rodeando al brote nuevo. En el plato basal, al lado del brote viejo, se forma la yema con el nuevo meristemo; a su alrededor se va formando un nuevo grupo de escamas. Estas son sensibles a períodos largos de sequía. Del plato basal salen también las raíces, que tienen entre otras, una función importante en la producción de hormonas. Por lo que se deben conservar incluso cuando se almacena el bulbo. En este sentido, la mayoría de los bulbos forman raíces de tallo que emergen por encima del bulbo; y son las responsables de la absorción de agua y nutrientes por parte de la planta. Sin embargo, las hojas pueden estar separadas o apiñadas. Las flores, llamadas también "campanas", pueden ser erguidas y colgantes y tener forma de trompeta, estrella, turbante, etc. Presentan una gama de colores que es bastante amplia donde se incluyen colores como: blanco, blanco-crema, amarillo, anaranjado, rosa, así como algunas combinaciones de éstos en una misma flor (Herreros, 1983). A continuación se muestra las partes botánicas de *Lilium* sp. según Buschman y Soriano (2004) (Figura 1).

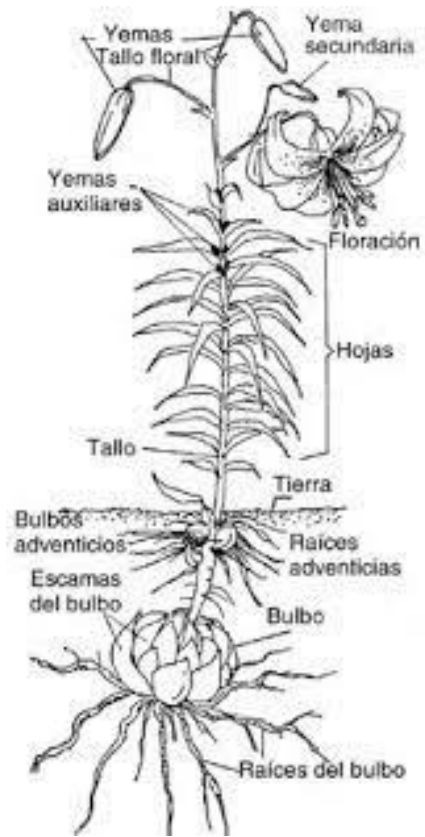
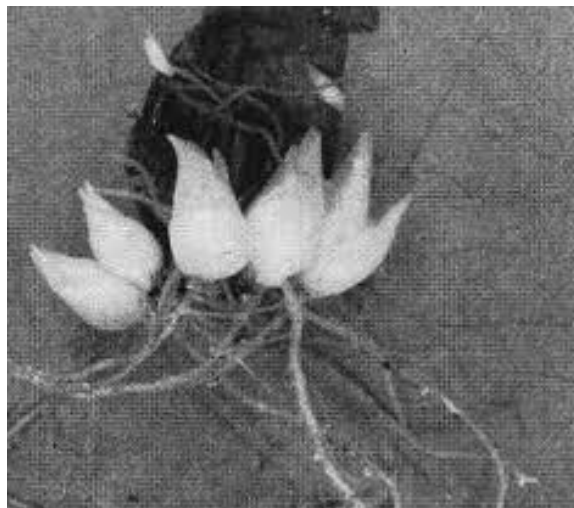


Figura 1. Partes botánicas de *Lilium* sp. (Buschman y Soriano 2004).

2.3 Propagación sexual y asexual en el cultivo de *Lilium* sp.

El cultivo de *Lilium* sp. presentan dos tipos de reproducción, éstas son las siguientes: sexual o asexual. Donde el bulbo constituye la principal fuente de material vegetal para su propagación. Esto por el interés de propagar material vegetal homogéneo con destino al cultivo industrial para la producción de flor cortada (Medina, 2012). La reproducción asexual representa el método de propagación más utilizado por los grandes productores de flor por las ventajas que presenta. Las cuales son: método rápido, seguro y ofrece una mayor uniformidad en las plantaciones del cultivo (Rieche, 1998). Sin embargo, de forma general el género *Lilium* se propaga a partir de la formación de nuevos bulbos. Los cuales se desarrollan principalmente en las axilas de las hojas, bulbos de tallos y bulbillos desarrollados a partir de las escamas. Este último representa el método de mayor uso en la propagación en el cultivo, el cual constituye el método tradicional de propagación en el cultivo.

En este sentido, Vera *et al.* (2020) obtuvieron una producción de semilla pre-básica en el cultivo. Para ello desarrollaron un método de inducción de bulbillos a partir de escamas y aplicando reguladores de crecimiento, lo cual favoreció a lograr un mejor resultado en cuanto a su producción. En la figura 2 se observa la multiplicación por escamas del bulbo de *Lilium* sp. según Herreros (1983).



2.4 Avances de la biotecnología vegetal en la agricultura moderna: Micropropagación en el cultivo de *Lilium* sp.

En los últimos años, los proyectos de investigación que se desarrollan en el campo de la biotecnología vegetal se dividen de acuerdo a las áreas de aplicación. Entre las que encontramos: micropropagación, mejoramiento genético, cultivo de tejidos y sanidad vegetal (interacción hospedero – patógeno). Donde la micropropagación o la propagación *in vitro* constituye la solución más eficiente para satisfacer la demanda a gran escala de plantas sanas y de calidad en los cultivos de interés agrícolas (Mahanta *et al.*, 2023).

La micropropagación de plantas cuenta con un gran potencial productivo. La cual se utiliza

Figura 1. Multiplicación por escamas de bulbo de *Lilium* sp. según Herreros (1983). ampliamente en laboratorios comerciales y de investigación. Principalmente para la propagación masiva de plantas de interés agroalimentaria, forestal y ornamental (Bello y Spinoso, 2023). Se han aplicado varios métodos de cultivo de tejidos y mejoramiento molecular a la producción de especies y cultivares de lirios de importancia comercial.

La micropropagación o propagación *in vitro* es la propagación asexual de plantas utilizando técnicas de cultivo de tejidos vegetales (CTV), además de que es uno de los campos de biotecnología que actualmente ya se aplica comercialmente. En la actualidad, la micropropagación de plantas cuenta con un gran potencial productivo; siendo explotada en laboratorios comerciales y de investigación, principalmente para la propagación masiva de plantas ornamentales, de importancia agroalimentaria y forestal para la propagación de plantas ornamentales, de importancia agroalimentaria y forestal (Bello y Spinoso, 2022). En un estudio realizado por (Santos *et al.*, 2020) se logró establecer una metodología de regeneración de plantas de *Lilium* a partir del establecimiento de ápices meristemáticos *in vitro*; y la obtención de bulbos para su multiplicación, además de utilizar diferentes concentraciones de hipoclorito de sodio para la desinfección de los explantes, en la cual se obtuvo un alto porcentaje de sobrevivencia en la fase de aclimatación. Por lo tanto, la aplicación de la biotecnología vegetal en el campo de la propagación de plantas resulta una herramienta básica y efectiva para obtener bulbos de mayor calidad e inocuidad para plantar durante todo el año sin necesidad de importarlos (García y Companioni, 2018).

2.5 Utilización de nanopartículas de plata en la micropropagación de plantas: Efecto de microbicidas de las nanopartículas de plata.

La micropropagación de plantas puede ser limitada por varios factores entre los que encontramos: la contaminación *in vitro*. Por ello, la desinfección en la etapa de establecimiento *in vitro* representa uno de los pasos más importantes en la eliminación de la contaminación bacteriana y fúngica (Chávez *et al.* 2020). La contaminación en esta etapa inicial de la micropropagación puede deberse a microorganismos endófitos. Los cuales crecen y se desarrollan en el interior de los tejidos de la planta. Aunque también se debe a la manipulación o tolerancia de estos microorganismos contaminantes a la desinfección de ciertos químicos (antibióticos y fungicidas). Lo cual representa un problema grave durante esta etapa de la micropropagación. Tanto para la micropropagación a pequeña escala o de manera comercial, dado que los contaminantes *in vitro* pueden afectar el crecimiento de los explantes compitiendo por agua, luz, espacio y nutrimentos (Rivas y Torres, 2021).

En los últimos años, el uso de nanomateriales ha demostrado potencial para mejorar el campo agrícola, durante la germinación, crecimiento de plantas, actividad fisiológica, expresión génica, actividad bioquímica proteica y enzimática (Pramanik *et al.*, 2020). Sin embargo, cabe mencionar que se han detectado efectos negativos mediante el uso de nanomateriales con cantidades excesivas provocando toxicidad y disminución en el crecimiento y desarrollo de organismos vegetales (Chen *et al.*, 2022). En acuerdo con algunos estudios los nanomateriales en concentraciones bajas provocan respuesta positiva en organismos y; por el contrario, ocurre una respuesta negativa con altas concentraciones. Dicho fenómeno es denominado hormesis (Benavides-Mendoza y Fuentes-Lara, 2022). La utilización de nanomateriales y en particular las nanopartículas de plata (NPsAg) ha demostrado ser una alternativa útil para promover el desarrollo vegetal y la hormesis durante la propagación *in vitro* de cultivos (Chávez-García *et al.*, 2020). Diversos estudios encontraron que las concentraciones de NPsAg producirán efectos positivos en función de la concentración y la especie vegetal.

En el cultivo de *Allium cepa* las concentraciones bajas (5 y 10 µg/mL) promueven su crecimiento evitando dañar raíces o bulbos (Casillas – Figueroa *et al.*, 2020). En tejidos de vainilla (*Vanilla planifolia*) la concentración de 100 mg. L⁻¹ presentó el porcentaje menor de contaminación; sin embargo, para el desarrollo y multiplicación vegetal los resultados positivos se obtuvieron con 25 y 50 mg. L⁻¹ de NPsAg (Pastelín-Solano *et al.*, 2020). También los explantes de hojas de fresa (*Fragaria x ananassa*) fueron tratados con 200 mg/L de NPsAg por 20 minutos de inmersión, lo

cual provoco mayor efectividad en la desinfección y regeneración de brotes en comparación con el uso de 1 g/L de HgCl₂ (Tung *et al.*, 2021). Así también, en el cultivo de gladiolo (*Gladiolus apices*) el mayor porcentaje de asepsia y longitud de brote se logró con la concentración de 50 mg. L⁻¹ de NPsAg (Chávez-García *et al.*, 2020). Por otro lado, en el cultivo de guayaba (*Psidium friedrichsthalianum*) la aplicación en brotes con 50 mg/L de NPsAg Argovit™ durante 5 min presento 60% de asepsia, mientras que la esterilización en medio de cultivo con 5 mg/L como bicapa permanente disminuyó la tasa de contaminación de los brotes al 50%. También el área foliar y la tasa de multiplicación fueron altamente significativas mediante la aplicación de NPsAg Argovit™ (Andújar *et al.*, 2020). Por ello, la utilización de NPsAg en la agricultura para el manejo de fitopatógenos se ha promovido recientemente como una opción innovadora y sustentable, además de ganar popularidad como nanomateriales versátiles debido a sus propiedades antimicrobianas y por considerarse como una herramienta prometedora en la agricultura para el control de fitopatógenos, pues a diferencia de los agroquímicos tradicionales las NPsAg ofrecen la ventaja de poder aplicarse in situ en pequeñas cantidades (Ávila *et al.*, 2024). Este grupo de investigadores realizaron un estudio sobre las implicaciones bioéticas que tiene el uso de NPsAg y concluyeron que aun con el impacto que estas han tenido en la actualidad es importante conocer las concentraciones adecuadas en que se recomienda utilizarlas además de saber si pueden presentar algún impacto tanto en la salud humana como en el medio ambiente.

Por otro lado, en un estudio realizado por Hernandez *et al.* (2022), en donde se evaluaron diferentes concentraciones de nanopartículas para determinar el porcentaje de contaminación en brotes de caña, se llegó a la conclusión de que las concentraciones de NPsAg utilizadas en el enraizamiento permiten un control del 100 % de la contaminación por bacterias, pero no resulta lo mismo para el caso de hongos, además de que se logra un efecto positivo en el enraizamiento de los brotes *in vitro* de caña de azúcar, con presencia de la auxina o sin ella. Otro ejemplo de estas aplicaciones es el caso del jalapeño, que según Aguilar *et al.* (2021) es una especie que tiene mucho valor comercial en el mundo por tener varios usos, pero existe la problemática de que este género tiene problemas para propagarse bajo condiciones *in vitro* ya que es una especie recalcitrante y además su genotipo puede influir en la obtención de respuestas morfogénicas. Por ello, Aguilar *et al.* (2021) realizaron un estudio con el objetivo de obtener plantas de jalapeño a partir de semillas establecidas *in vitro* con nanopartículas de plata (NPsAg) incluidas en el medio de cultivo y reguladores de crecimiento para inducir su propagación mediante organogénesis directa, obteniendo como resultado un favorecimiento en

el establecimiento de semillas de jalapeño, al evitar la presencia de bacterias y hongos, además de obtener plantas con más entrenudos o segmentos nodales.

En este acápite se ha reseñado la importancia de la utilización de las nanopartículas de plata en la micropropagación de plantas. Sin embargo, su uso en la micropropagación de *Lilium sp.*, puede constituir una herramienta importante para en el establecimiento *in vitro* en el cultivo. Tal uso se recoge en el presente documento.

3.0 MATERIALES Y MÉTODOS

3.0.1 Generalidades de los experimentos.

La presente investigación se desarrolló en el Laboratorio de Micropropagación de Plantas, del Instituto Mexicano del Maíz "Dr. Mario E. Castro Gil", perteneciente a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México.

Nanopartículas de plata (NPsAg) Argovit™: Las nanopartículas de plata fueron proporcionadas por la Red Internacional de Bionanotecnología y el producto se comercializa como Argovit™. La formulación de Argovit™ es una suspensión de NPsAg altamente dispersa en agua con concentración total de 200 mg mL^{-1} , 18,8% de polivinilpirrolidona (PVP) y 1,2% de plata metálica. Las NPsAg de esta formulación han sido descritas como una forma esférica por microscopía electrónica de transmisión (TEM) con una distribución de diámetro entre 1 a 90 nm y un tamaño promedio de $35 \pm 12 \text{ nm}$. El diámetro hidrodinámico es de 70 nm, con potencial zeta de -5 mV y una resonancia plasmónica de 420 nm. Las suspensiones de NPsAg Argovit con diferentes concentraciones (tratamientos) se prepararon por dilución utilizando agua destilada estéril.

3.1 Establecimiento *in vitro* de *Lilium sp.* a partir de escamas mediante la utilización de nano partículas de plata.

3.1.1 Desinfección de explantes de *Lilium sp.* 'Concador select' con bicloruro de mercurio.

Para la primera etapa de la experimentación se procedió al lavado con detergente comercial y se enjuagó con agua de grifo. Después, los explantes se sumergieron en Captan[®] 50 PH al 0.2% (w/v) por 15 minutos. Enseguida se enjuagaron con agua destilada estéril y se transfirieron a campana de flujo laminar para una inmersión en etanol al 70% (v/v) por un minuto. Luego se realizó la desinfección con bicloruro de mercurio (HgCl_2) al 0.25% con una gota de tween 20 durante los tiempos de inmersión de 5 y 7 minutos. Posterior a esto, se realizaron tres enjuagues con agua destilada estéril. Por último, se realizó un corte medio a las escamas para obtener la parte proximal (parte del explante más cercana al tejido meristemático) y la parte distal (parte del explante más lejana al tejido meristemático). Los tratamientos incluidos para esta fase de desinfección se describen a continuación (Cuadro 1). Al final, las escamas se colocaron en posición adaxial en frascos con medio de cultivo Murashige-Skoog (1962) (Cuadro 2).

Cuadro 1. Tratamientos incluidos durante la desinfección de explantes de *Lilium* sp. 'Concador select' utilizando bicloruro de mercurio (HgCl₂) con diferentes tipos de explante y tiempos de inmersión.

Agente desinfectante	Trat. 1 (min)	Trat. 2 (min)	Trat. 3 (min)	Trat. 4 (min)
Bicloruro de mercurio (HgCl ₂) (0.25%)	Proximal (7')	Distal (7')	Proximal (5')	Distal (5')

Proximal (parte del explante más cercana al tejido meristemático). Parte distal (parte del explante más lejana al tejido meristemático). 7` minutos y 5' minutos de inmersión.

Cuadro 2. Medio de cultivo utilizado en el establecimiento de escamas de escamas *Lilium* sp. 'Concador select'.

Componente mgL⁻¹	Medio
Sales MS	100%
MyO Inositol	100
Tiamina	1.0
Sacarosa	30 000
6 BAP	1
<i>Phytigel</i>	3 500

3.1.2 Desinfección de explantes de *Lilium sp.* 'Concador select' con NPsAg Argovit™

En esta segunda etapa de la investigación se realizó el lavado con detergente comercial y abundante agua. Después, los explantes se sumergieron en Captan^R 50 por 15 minutos. Seguido se enjuagaron con agua destilada estéril y se transfirieron a campana de flujo laminar para una inmersión en etanol al 70% (v/v) por un minuto. Luego se realizó una desinfección con bicloruro de mercurio (HgCl₂) al 0.25% con una gota de tween 20 por 7 minutos. Enseguida, se realizaron tres enjuagues con agua destilada estéril y se utilizaron las nanopartículas de plata (NPsAg Argovit™) con concentraciones de 25, 50 y 100 mg L⁻¹ e inmersiones de 5, 10 y 15 minutos, se realizaron tres enjuagues con agua destilada estéril. Por último, se realizó un corte medio a las escamas para obtener la parte proximal (parte del explante más cercana al tejido meristemático). Los tratamientos incluidos para esta fase de desinfección se describen a continuación (Cuadro 3). Al final, los explantes se implementaron en posición adaxial en frascos con medio de cultivo Murashige-Skoog MS (1962) (Cuadro 2).

Cuadro 3. Tratamientos incluidos durante la desinfección de explantes de *Lilium sp.* 'Concador select' utilizando diferentes concentraciones y tiempos de inmersión con NPsAg Argovit™.

Agente desinfectante	T1 (min)	T2 (min)	T3 (min)	T4 (min)	T5 (min)	T6 (min)	T7 (min)	T8 (min)	T9 (min)
NPsAg	25 mg	50 mg	100 mg	25	50 mg	100	25 mg	50 mg	100
Argovit™	L ⁻¹	L ⁻¹	L ⁻¹	mg L ⁻¹	L ⁻¹	mg L ⁻¹	L ⁻¹	L ⁻¹	mg L ⁻¹
	(5')	(10')	(15')	(10')	(15')	(5')	(15')	(5')	(10')

5` minutos, 10` minutos, 15` minutos de inmersión.

3.2 Incubación de explantes

Durante la experimentación las condiciones de incubación fueron en cámara de cultivo en condiciones de oscuridad, con una temperatura de 22 ± 2 °C. Los frascos con los explantes se incubaron durante 42 días. En cada frasco se colocaron 5 explantes, en cada tratamiento se incluyeron 3 frascos obteniendo un total de 15 repeticiones. Posterior al tiempo de incubación, se realizó la evaluación de variables para cada tratamiento.

3.3 Oxidación fenólica

Se determinó la presencia o ausencia de oxidación fenólica por explantes, mediante una evaluación visual por conteo (Cuadro 4).

3.4 Evaluación del porcentaje de contaminación en explantes de *Lilium* sp. 'Concador select'

Al cabo del tiempo de incubación, se realizó la evaluación visual y se determinó la presencia de bacterias y hongos en explantes de *Lilium* sp. 'Concador select' desinfectados previamente con bicloruro de mercurio y nanopartículas de plata NPsAg Argovit™.

3.5 Evaluación de brotación en explantes de *Lilium* sp. 'Concador select'

Se realizó la evaluación por conteo para determinar el número de escamas brotadas y número de microbulbos por escamas por parte de los tratamientos incluidos. Cabe mencionar que, durante la primera desinfección de explantes con bicloruro de mercurio (0.25%), la brotación de escamas se determinó en función del tipo de corte (proximal - distal) con el fin de obtener un resultado previo que favoreciera las posteriores etapas de experimentación.

Por otro lado, la brotación por parte de las escamas proximales para los tratamientos con bicloruro de mercurio (0.25%) y NPsAg Argovit™ demostró resultados relevantes.

3.6 Diseño experimental

Durante la desinfección con bicloruro de mercurio (0.25%) se utilizó un diseño experimental bifactorial completamente al azar. En el primer factor se incluyó el tipo de corte del explante

(proximal - distal) y el segundo factor consistió en el tiempo de inmersión (7 y 5 minutos). El total de tratamientos fueron 4 para cada uno se incluyeron 3 frascos con medio de cultivo y en cada frasco se colocaron 5 explantes obteniendo un total de 15 repeticiones en cada tratamiento y un total de 12 unidades experimentales.

Para la desinfección con NPsAg Argovit™ se utilizó al igual un diseño experimental bifactorial completamente al azar. El primer factor determinó las concentraciones de NPsAg (25, 50 y 100 mg L⁻¹) y para el segundo se incluyó el tiempo de inmersión (5, 10 y 15 minutos). El total de tratamientos fueron 9 con 3 frascos con medio de cultivo para cada uno y para cada frasco se colocaron 5 explantes obteniendo 15 repeticiones en cada tratamiento con 12 unidades experimentales.

3.7 Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron procesados en el paquete estadístico *Info-Stat* versión 2020 con prueba de medias LSD *Fisher* y un nivel de significancia $p \leq 0.05$.

4.0 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Establecimiento *in vitro* de *Lilium sp.* a partir de escamas mediante la utilización de nano partículas de plata NPsAg Argovit™.

4.1.1 Efecto de la desinfección con bicloruro de mercurio (0.25%) y desinfección con las NPsAg en la presencia de oxidación fenólica durante el establecimiento *in vitro* de *Lilium sp.*

El fenómeno de fenolización (oxidación de compuestos fenólicos) es una respuesta por parte de los tejidos vegetales, causado por la utilización de agentes desinfectantes durante la etapa de establecimiento del cultivo *in vitro* (Sigarroa y García, 2011). Para la oxidación fenólica en explantes de *Lilium sp.* 'Concador select', se observó que la desinfección con bicloruro de mercurio (0.25%) con tiempo de inmersión de 7 minutos, la cual presentó alta incidencia con el 68%. Así también, la desinfección con las NPsAg en concentraciones de 50 y 100 mg L⁻¹ demostraron incidencia positiva en un rango desde 13% hasta 33% para determinados tiempos de inmersión (Cuadro 4). De acuerdo con estos resultados se determina que el agente desinfectante bicloruro de mercurio puede ser más abrasivo para los explantes de *Lilium sp.* 'Concador select' durante la etapa de establecimiento *in vitro*. Cabe destacar que a pesar de la liberación de compuestos fenólicos en los tejidos por los factores externos no hubo necrosis ni mortandad en los explantes (Figura 3A-3B). Dicha respuesta comprueba que la capacidad de regeneración biológica y el desarrollo de bulbillos a partir de escamas está relacionada con las concentraciones utilizadas por lo que es de gran importancia ajustar cuidadosamente las dosis y combinaciones para optimizar la regeneración y el crecimiento de la planta (Tomanguilla-Llanos et al., 2025)



Figura 3A. Escamas de *Lilium sp.* 'Concador select' con presencia de oxidación fenólica establecidas en medio de cultivo.



Figura 3B. Microbulbo formado a partir de escamas de *Lilium sp.* 'Concador select' con presencia de oxidación fenólica en el tejido meristemático.

Cuadro 4. Presencia de oxidación fenólica durante el establecimiento in vitro de escamas de *Lilium* sp. 'Concador select' mediante la utilización de diversos agentes desinfectantes.

Tratamientos	Oxidación fenólica	
	(+)	(-)
Bicloruro de mercurio 0.25% (5')	0%	100%
Bicloruro de mercurio 0.25% (7')	68%	32%
NPsAg 25 mg L ⁻¹ (5')	0%	100%
NPsAg 25 mg L ⁻¹ (10')	0%	100%
NPsAg 25 mg L ⁻¹ (15')	0%	100%
NPsAg 50 mg L ⁻¹ (5')	0%	100%
NPsAg 50 mg L ⁻¹ (10')	13%	87%
NPsAg 50 mg L ⁻¹ (15')	13%	87%
NPsAg 100 mg L ⁻¹ (5')	20%	80%
NPsAg 100 mg L ⁻¹ (10')	33%	67%
NPsAg 100 mg L ⁻¹ (15')	26%	74%

4.1.2 Efecto de la desinfección con bicloruro de mercurio (0.25%) y desinfección con las NPsAg en el porcentaje de contaminación durante el establecimiento *in vitro* de *Lilium sp.*

Para la desinfección de explantes durante la etapa de establecimiento *in vitro*, se obtuvo que el tratamiento con bicloruro de mercurio proximal 7 minutos disminuyó significativamente la contaminación presentando un 72% de asepsia total en los explantes (Figura 4). Sin embargo, al adicionar las NPsAg Argovit™ como agente desinfectante se presentaron diferencias significativas mayores en comparación con lo obtenido en el tratamiento con bicloruro de mercurio obteniendo un 94% de asepsia en explantes con el tratamiento de 100 mg L⁻¹ y 15 minutos de inmersión (Figura 5).

Lo anterior demuestra que la utilización de nanopartículas de plata (NPsAg) pueden garantizar un potencial microbicida al disminuir la presencia de bacterias y hongos en explantes, lo cual es una problemática crucial para el éxito de la propagación *in vitro* del cultivo *Lilium sp.* 'Concador select'. En otros estudios encontraron que la concentración de 100 mg.L⁻¹ de NPsAg Argovit™ presentó el porcentaje menor de contaminación en tejidos de vainilla *Vanilla planifolia* (Pastelín-Solano *et al.*, 2020). Además, en gladiolo (*Gladiolus apices*) el valor más alto de asepsia se logró con 50 mg. L⁻¹ de NPsAg (Chávez-García *et al.*, 2020).

Tiempo de inmersión

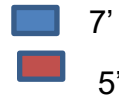


Figura 4. Efecto de bicloruro de mercurio (HgCl_2) (0.25%) en la desinfección y establecimiento *in vitro* de escamas de *Lilium sp.* Proximal: parte del explante más cercana al tejido meristemático. Distal: parte del explante más lejana al tejido meristemático. 7' minutos de inmersión. 5' minutos de inmersión. Letras diferentes indican diferencias significativas (LSD Fisher $p \leq 0.05$).

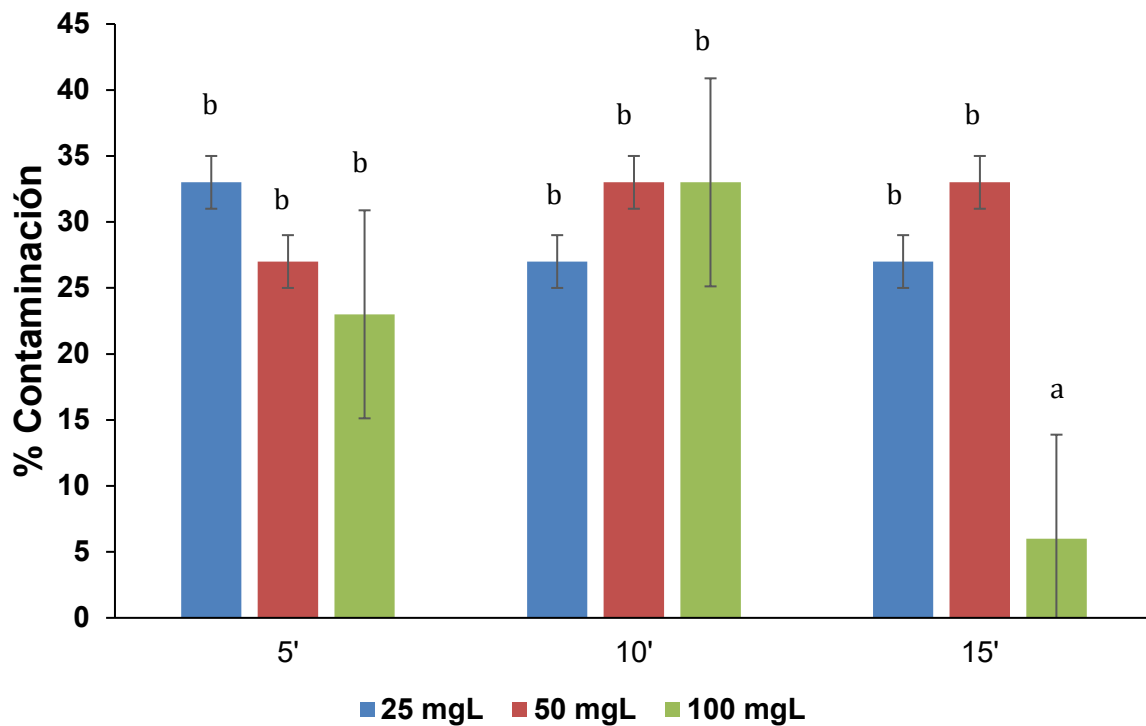


Figura 5. Efecto de nanopartículas de plata (NPsAg) con las concentraciones de 25, 50 y 100 mg L⁻¹ durante la desinfección y establecimiento *in vitro* de escamas de *Lilium sp.* mediante 5, 10 y 15 minutos de inmersión. Letras diferentes indican diferencias significativas (LSD Fisher $p \leq 0.05$).

De acuerdo a los resultados obtenidos presentados en la Figura 4 y 5 podemos decir que en ambos tratamientos utilizados obtuvimos un buen porcentaje de asepsia, sin embargo donde se obtuvo un valor mas alto fue en el tratamiento en donde se utilizaron las nanoparticulas de plata con una concentración de 100 mg L⁻¹ y 15 minutos de inmersión, lo cual nos indica que las NPsAg actúan como un buen desinfectante, incluso mejor que otros utilizándose en concentraciones adecuadas.

4.1.3 Microbulbos brotados en escamas con los tratamientos de bicloruro de mercurio y con las NPsAg Argovit™.

En la Figura 6 podemos observar el proceso que se lleva a cabo durante la propagación *in vitro* de *Lilium* sp. a partir de escamas partiendo principalmente de un bulbo donante, hasta llegar a obtener varios microbulbos brotados, en base a esto podemos decir que la propagación por escamas es un método eficiente en la producción de microbulbos.

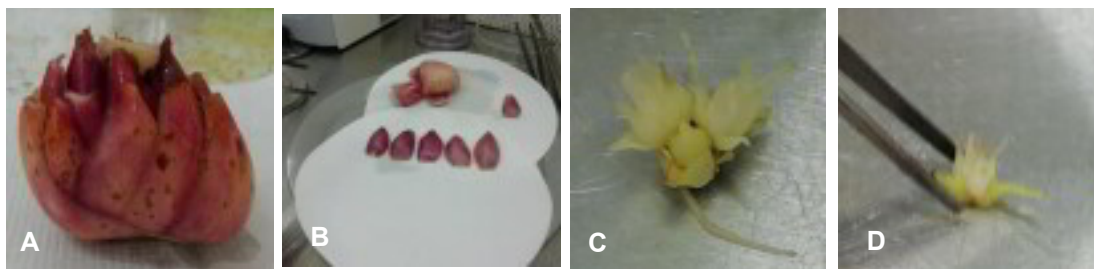


Figura 6. Regeneración *in vitro* de *Lilium* sp. a partir de escamas. Bulbo donante, B) secciones de escamas, C) 1- distal y 2-proximal, inducción de microbulbo, D) microbulbo diferenciado a los 42 días de edad.

Para la variable microbulbos brotados en escamas se obtuvo que el tratamiento bicloruro de mercurio proximal 5' logró obtener diferencias significativas con 58 microbulbos brotados (Figura 7). Por otro lado, el tratamiento de NPsAg Argovit™ 25 mg L⁻¹ con 15 minutos de inmersión generó un hasta un promedio de 70 microbulbos brotados en escamas de *Lilium* sp. (Figura 8). Lo anterior sugiere que las nanopartículas de plata NPsAg pueden estimular de manera positiva la brotación de escamas con las concentraciones específicas que puedan promover el desarrollo vegetal. En otros estudios se demuestra que la estimulación positiva en el desarrollo de especies vegetales como vainilla, caña de azúcar y estevia se obtuvo con concentraciones de 25 a 50 mg L⁻¹ de NPsAg; por el contrario, la inhibición del desarrollo en estas especies ocurrió con concentraciones de 100 a 200 mg L⁻¹ de NPsAg (Bello-Bello y Spinoso-Castillo, 2023). También para el cultivo de gladiolo (*Gladiolus apices*) la mayor longitud de brote se logró con 50 mg L⁻¹ de NPsAg (Chávez-García *et al.*, 2020).

El uso de nanomateriales como las nanopartículas de plata (NPsAg) aplicadas en pequeñas concentraciones pueden modificar positivamente el metabolismo y la composición de los cultivos *in vitro*. Además, la bioestimulación positiva por las nanopartículas se presenta en un rango específico de concentraciones y características fisicoquímicas adecuadas (Juárez- Maldonado *et al.*, 2019).

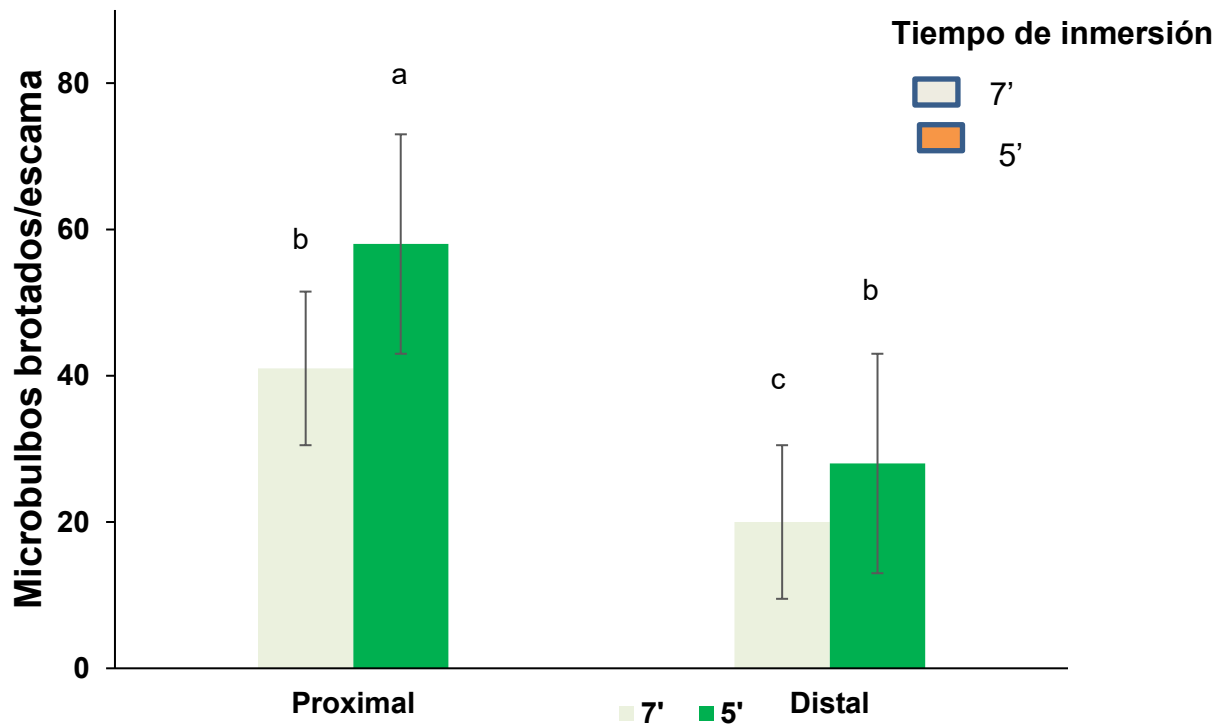


Figura 7. Efecto de bicloruro de mercurio (HgCl_2) (0.25%) en el número de microbulbos brotados por escamas durante el establecimiento *in vitro* de *Lilium sp.* Proximal: parte del explante más cercana al tejido meristemático. Distal: parte del explante más lejana al tejido meristemático. 7' minutos de inmersión. 5' minutos de inmersión. Letras diferentes indican diferencias significativas (LSD Fisher $p \leq 0.05$).

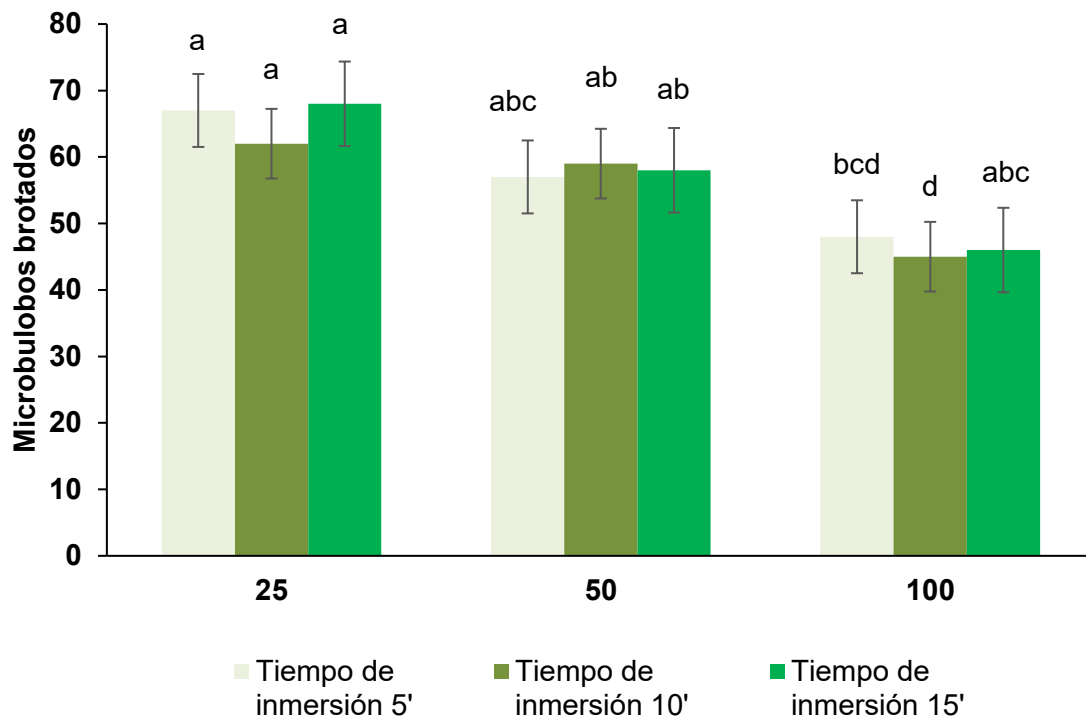


Figura 8. Efecto de nanopartículas de plata (NPsAg) con concentraciones de 25, 50 y 100 mg L⁻¹ en el número de microbulbos brotados por escamas en el establecimiento *in vitro* de escamas de *Lilium sp.* mediante 5, 10 y 15 minutos de inmersión. Letras diferentes indican diferencias significativas (LSD Fisher $p \leq 0.05$).

5.0 CONCLUSIONES

1. Se logró un protocolo para la regeneración *in vitro* de *Lilium* sp. a partir de escamas mediante la utilización de NPsAg Argovit™ en la etapa de establecimiento *in vitro* del cultivo.
2. Se demostró la efectividad de las concentraciones utilizadas de NPsAg Argovit™ para promover el crecimiento de explantes de *Lilium* sp. 'Concador select'; y a su vez contrarrestaron la contaminación en la etapa de establecimiento *in vitro* del cultivo.

6.0 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alfosea-Simón, F. J., Burgos, L., y Alburquerque, N. (2025). Silver nanoparticles help plants grow, alleviate stresses, and fight against pathogens. *Plants*, 14, 428.
2. Aguilar-Jimenez, D., Herrera-Lopez, H., Piña-Guillen, J., Salgado-Bravo, R., Pestryakov-Alexey, B, N. (2021). Micropropagación de *Capsicum annuum* (Jalapeños) con aplicación de nanopartículas de plata. *Rev. MIX-TEC* 1(1):29-47.
3. Andújar, I., González, N., García-Ramos, JC *et al.* Las nanopartículas de plata Argovit™ reducen los niveles de contaminación y mejoran el crecimiento morfológico en el cultivo in vitro de *Psidium friedrichsthalianum* (O. Berg) Nied. *SN Appl. Sci.* 2 , 2110 (2020). <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03948-9>
4. Anisah, S., Ratnadewi, D., & Supena, E. D. J. (2023). Exogenous gibberellic acid stimulates bulb dormancy breaking and the role of paclobutrazol in maintaining the size of harvested bulb of lily (*Lilium sp.*) cv. Tisento. *Sains Malays*, 52, 1967-1976.
5. Arboleda. (2017). Floricultura en México. www.prolocker.mx (11 abril 2017).
6. Arévalo-Galarza, M., Rios-Florida, L., & García-Osorio, C. (2024). Paclobutrazol y prohexadiona de calcio en la producción de plantas enanas de *Lilium sp.* *Agro-Divulg*, 4.
7. Ávila-Quezada, G. D., Valles-Aragón, M. C., y Mercado-Meza, D. Y. (2024). Implicaciones bioéticas en la aplicación de nanopartículas de plata (AgNPs) para el manejo de fitopatógenos. *Mundo Nano* 17(33).
8. Basit, A., & Lim, K.-B. (2024). Recent approaches towards characterization, genetic, and genomic perspectives of genus *Lilium*. *Genet Res Crop Evol*, 1-28.
9. Bello-Bello, J. J., y Spinoso- Castillo, J. L. (2022). Utilización de nanopartículas de plata en la micropropagación de plantas. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria En Nanociencias Y Nanotecnología*, 16(30), 1e-14e.
10. Benavides-Mendoza A., y Fuentes-Lara L. O.(2022). Introducción a los bioestimulantes agrícolas.
11. Buschman, J. C y Soriano-García J. M. (2004). Partes botánicas de *Lilium*. Cultivo de *Lilium* de calidad. Producción de Ornamentales. *Revista Horticultura Internacional*, 34-37.
12. Casillas-Figueroa F., Arellano-García M. E., Leyva-Aguilera C., Ruiz-Ruiz B., Vazquez-Gomez R. L., Radilla-Chavez P., Chavez-Santoscoy R.A., Pestryakov. A., Toledano-Magaña Y., Garcia-Ramos J.C., Y Bogdanchikova N. (2020). Efectos de las nanopartículas

- de plata Argovit™ en *Allium cepa*: Promoción del crecimiento vegetal sin daño citogenotóxico. *Nanomateriales*, 10 (7), 1386.
13. Castro, D. & Londoño, S. (2008). Producción in vitro de microbulbos de lirio (*Lilium* sp). *Temas Agrarios*, 13 (1): 5-13.
 14. Chávez-García, J. A., Andrade-Rodríguez, M., Bello-Bello, J. J., Rueda-Barrientos, M. C., Guillén-Sánchez, D., & Sainz-Aispuro, M. D. J. (2020). Nanopartículas de plata en el establecimiento in vitro de ápices de gladiolo. *Revista fitotecnia mexicana*, 43(4A), 557-564.
 15. Chen, Si, Xin Yan, Jose R. Peralta-Videa, Ziyao Su, Jie Hong, Lijuan Zhao. (2022). Biological effects of AgNPs on crop plants: environmental implications and agricultural applications. *Environmental Science: Nano*. <https://doi.org/10.1039/d2en00801g>.
 16. Dhorajiwala R. (2022). How do lilies open? The regulation of flower opening in lilies, and how to control it to improve post-harvest quality, Cardiff University, Cardiff, UK.
 17. Fan, X., y Sun, H. (2024). Exploring *Agrobacterium*-mediated genetic transformation methods and its applications in *Lilium*. *Plant Meth*, 20, 120
 18. García-Pérez, F., Sánchez-Hernández, C., Sánchez-Cabrera, I., Granados-Echegoyen, C. A., Dorantes-Jiménez, J., y Villanueva-Sánchez, E. (2023). Nuevo reporte de *Bradysia* sp.(Diptera: Sciaridae) asociada con *Lilium* sp. (Liliaceae) en Ocotlán de Morelos. *Rev Mex Cienc Agríc*, <https://doi.org/10.29312/remexcav14i73133> 14
 19. García-Velasco R., y Companioni-González B. (2018). "*Lilium*: situación actual en México". *Revista TECSISTECATL*, n. 23
 20. Gómez-Gómez, A. A. (2009). La situación de las flores de corte mexicanas dentro de la política comercial internacional de México *Tecsis-Tecat* 2:1-30. <http://www.eumed.net/rev/tecsistecat/n9/aagg.htm> (11 de septiembre de 2018).
 21. Gong, H., Dusengemungu, L., Lv P., y Igiraneza, C. (2023). Advancements in lily viruses management: challenges and solutions in elimination and detection. *Horticulturae*, 9, 790.
 22. Heimberger-Preisler, K. (2004). Flores de bulbo y Co. Editorial Hispano-Europea.
 23. Hernández-Díaz, J. A., Garza-García, J. J., Zamudio-Ojeda, A., León-Morales, J. M., López-Velázquez, J. C., y García-Morales, S. (2021). Plant-mediated synthesis of nanoparticles and their antimicrobial activity against phytopathogens. *J Sci Food Agric*, 101, 1270-1287.

24. Hernandez-León M. C., Gómez-Kosky R., Toledo-Rodríguez E. A., Bernal-Villegas A., Alejo-Sierra M., Álvarez-Ferreiro J., Aguilar-Hernandez A.T., Bermúdez -Calimano M., Valdés-Martínez A., Gonzalez-Alfaro Y (2022). Efecto de las nanopartículas de plata (NPs-Ag) en el enraizamiento *in vitro* de la caña de azúcar (*Saccharum spp.*). *Icidca sobre los derivados de la caña de azúcar*, 56(3): 24-31
25. Herreros, L. (1983). CULTIVO DEL LILIUM (Azucena hibrida). Hojas Divulgadoras del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 10-83.
26. Imbago-Lanchimba, J. P., y Gómez-Cabezas, M. A. (2021). Evaluación de grados día desarrollo en la fenología de variedades de *Lilium sp*, en la Florícola Florisol, San José de Minas; <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11145>.
27. Juárez-Maldonado, A., Ortega-Ortíz, H., Morales-Díaz, A. B., González-Morales, S., Morelos-Moreno, Á., Cabrera-De la Fuente, M., Sandoval-Rangel, A., Cadenas-Pliego, G., Y Benavides-Mendoza, A. (2019). Nanoparticles and Nanomaterials as Plant Biostimulants. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(1), 162. <https://doi.org/10.3390/ijms20010162>
28. Kamalashree, S., y Nayaka, K. S. (2023). Studies on effects of different sources of levels of calcium on growth, flowering, quality and yield in asiatic lily (*Lilium spp.*), College of Horticulture, Mudigere, Keladi Shivappa Nayaka University, Mudigere, India.
29. Khan, M. S., Gao, J., Munir, I., Zhang, M., Liu, Y., Moe, T. S., Xue, J., y Zhang, X. (2021). Characterization of endophytic fungi, *Acremonium sp.*, from *Lilium davidii* and analysis of its antifungal and plant growth-promoting effects. *BioMed Res Int*, 2021, 9930210.
30. Lashin, I., Fouda, A., Gobouri, A. A., Azab, E., Mohammedsaleh, Z. M., y Makharita, R. R. (2021). Antimicrobial and *in vitro* cytotoxic efficacy of biogenic silver nanoparticles (Ag-NPs) fabricated by callus extract of *Solanum incanum* L. *Biomolecules*, 11, 341.
31. Mahanta, M., Gantait, S., Mukherjee, E., y Bhattacharyya, S. (2023). Propagación masiva inducida por meta-Topolin, aclimatación y evaluación de la fidelidad citogenética de la gerbera (*Gerbera jamesonii* Bolus ex Hooker f.). *Revista Sudafricana de Botánica*, 153, 236-245.
32. Mantilla, G., Chludil, H., y Martínez, G. (2023). Estudios preliminares del efecto del tratamiento con melatonina sobre la calidad postcosecha en flores de *Lilium sp*. *Invest Joven*, 10, 226-226.

33. Medina-Jiménez, F. (2012). Nutrición mineral y riego de *Lilium*. Granja Agrícola Experimental. 71-72
34. Morales, C. y Arbeláez, J. (2015). La producción de lirios (*Lilium* spp.) como flor de corte para exportación. Una revisión. Revista Universidad Católica de Oriente, 28 (39): 45-60.
35. Mosonyi, I. D., Tilly-Mándy, A., y Honfi, P. (2022). Bud clusters of *Spathiphyllum* cultivars: a novel way to propagate peace lilies *in vitro*. *Acta Sci Pol Hortorum Cultus*, 21, 63-75.
36. Murashige T., Skoog F. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue culture. *Plant Physiology* 15: 473-497. <https://doi.org/10.1111/j.1399.3054.1962.tb08052.x>
37. Nard, M. y Hertogh, AA (1993). Crecimiento y desarrollo de bulbos y floración. En: De Hertogh, AA y Le Nard, M., Eds., *The Physiology of Flower Bulbs*, Elsevier, Amsterdam, 29-44.
38. Noori, A., Hasanuzzaman, M., Roychowdhury, R., Sarraf, M., Afzal, S., Das, S., y Rastogi, A. (2024). Silver nanoparticles in plant health: physiological response to phytotoxicity and oxidative stress. *Plant Physiol Biochem*, 108538.
39. Okoroafor, U. (2022). Microbial contamination in plant tissue culture and elimination strategies. *Nig Agric J*, 53, 348-355.
40. Orlikowski, L., Sas-Paszt, L., Wojdyła, A., y Orlikowska, T. (2023). The use of hydrogen peroxide and silver nanoparticles in horticulture. *J Horticult Res*, 31, 1-22
41. Pałka, P., Cioć, M., Hura, K., Szewczyk-Taranek, B., y Pawłowska, B. (2023). Adventitious organogenesis and phytochemical composition of Madonna lily (*Lilium candidum* L.) *in vitro* modeled by different light quality. *Plant Cell Tiss. Org. Cult.*, 152, 99-114.
42. Pastelín-Solano. M., Ramírez-Mosqueda. M, Bogdanchikova. N., Castro-Gonzalez. C., Bello-Bello. J. (2020). Las nanopartículas de plata afectan la micropropagación de vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews). *Agrociencia* 54(1): 1-13.
43. Patil, A. M., Gunjal, P. P., y Das, S. (2021). *In vitro* micropropagation of *Lilium candidum* bulb by application of multiple hormone concentrations using plant tissue culture technique. *Int J Res Appl Sci Biotechnol*, 8, 244-253.
44. Pramanik P., P. Krishnan, A. Maity, N. Mridha, A. Mukherjee and V. Rai (2020). Application of Nanotechnology in Agriculture. *In: Dasgupta N., Ranjan S., Lichtfouse E. (eds)*

- Environmental Nanotechnology, volume 4. Environmental Chemistry for a Sustainable World, volume 32.
45. Rivas-Ramirez, L.K., y Torres-Pacheco, I (2021). Nanopartículas: Nuevas Aliadas de la Agricultura. Digital Ciencia UAQRO. 14(2)
 46. Santos-Pino, A., López. Torres, J., Montano-Pérez, N., Basail-Pérez, M., Rayas-Cabreras, A., Gutiérrez-Sánchez, Y., Rodríguez-González, D., Medero-Vega, V., Beovide-García, Y., Rodríguez-Pérez, D. (2020). Propagación in vitro de Lirios de Pascua (*Lilium longiflorum* L.). *Agricultura Tropical*, 5 (2), 52-61.
 47. SIAP, (2020). SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2016). Cierre de la producción agrícola por cultivo.
 48. Sigarroa-Rieche, A. (1998). Estudio de las diferentes fases para la micropropagación de las easter lilies (*Lilium Longiflorum*, thunb). *Respuestas*3(1)26-29
 49. Sigarroa-Rieche, A.K., y García-Delgado, C.L., (2011). Establecimiento y multiplicación in vitro de mora de castilla (*Rubus glaucus Benth.*) variedad sin espinas, mediante ápices meristemáticos. *Acta Agronómica*, 60 (4), 347-354.
 50. Silva, J., y Rocio, J. (2024). Producción de tres cultivares de *Lilium sp.* (Starfighter, zambessi y Pavia) bajo condiciones de invernadero, en Mancos-Yungay-Áncash. *AGR-HO Tesis*, <https://hdlhandlenet/2050012996/6303>
 51. Singh, Y., Kumar, U., Panigrahi, S., Balyan, P., Mehla, S., Sihag, P., Sagwal, V., Singh, K. P., White, J. C., y Dhankher, O. P. (2023). Nanoparticles as novel elicitors in plant tissue culture applications: current status and future outlook. *Plant Physiol Biochem*, 203, 108004.
 52. Tomanguilla-Llanos, O., Meléndez-Mori, J. B., Tejada-Alvarado, J. J., Lapid-Culqui, Y. K., Huaman-Huaman, e., Zuta-Puscan, m., Mego-Perez, R. S., Y Oliva-Cruz, M., (2025). Impulsar la producción de bulbos de lirio: un estudio sobre los efectos de la 6 bencilaminopurina y las nanopartículas de plata. *Representante científico* 15, 22099 <https://doi.org/10.1038/s41598-025-06078-7>
 53. Tung, H.T., Van, H.T., Bao, H.G., Bien, L.T., Khai, H.D., Luan, V.Q., Cuong, D.M., Phong, T.H. y Nhut, D.T. (2021). Las nanopartículas de plata mejoraron la eficiencia de la desinfección de la superficie del explante y la embriogénesis somática en *Begonia tuberosa* mediante el cultivo de capas finas de células. *Vietnam Journal of Biotechnology*, 19 (2), 337–347

54. Vázquez-Muñoz, R., Borrego, B., Juárez-Moreno, K., García-García, M., Mota Morales, J. D., Bogdanchikova, N. y Huerta-Saquero, A. (2017). Toxicity of silver nanoparticles in biological systems: Does the complexity of biological systems matter? *Toxicology letters*, 276: 11-20. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2017.05.007>.
55. Vera-Ramos, M.A; Millones-Chaname, C.E.; Vázquez-Castro, E.R. (2020). Inducción de bulbillos de azucena (*Lilium* sp.) a partir de escamas, empleando auxinas y citocininas. *Scientia Agropecuaria* 11(1): 75-81.
56. Winarto, B., Kartikaningrum, S., Rachmawati, F., Pramanik, D., Shintiavira, H., y Wegadara, M. (2024). Potential utilization of filaments and ovules as explant sources in in vitro propagation of *Lilium* sp. *Not Bot Horti Agrobo Cluj-Napoca*, 52, 13324-13324.
57. Zeng, Z., Wang, Y., Wang, H., Li, Y., Chen, B., Gou, R., Wang, D., Jiang, Y., Zheng, Y., y Hamed, K. E. (2024). Nanomaterials: cross-disciplinary applications in ornamental plants. *Nanotechnol Rev*, 13, 20240049.
58. Zuo, G., Li, K., Guo, Y., Niu, X., Yin, L., Wu, Z., Zhang, X., Cheng, X., Yu, J., y Zheng, S. (2024). Development and optimization of a rapid *in vitro* micropropagation system for the perennial vegetable night lily, *Hemerocallis citrina* Baroni. *Agronomy*, 14, 244.