

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI



FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA DE AGROPECUARIA

Tema: **“Efecto de la interacción Thidiazuron-Giberelina sobre la eficiencia de la micropropagación in vitro de *Solanum tuberosum* L. variedad Superchola a partir de segmentos nodales”**

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del
título de Ingenieros en Agropecuaria

AUTORES: Rodríguez Calpa Jesica Paola
Canacuán Patiño Alexis Ricardo

TUTOR: Ing. Jácome Sarchi Guillermo Alexander , MSc.

Tulcán, 2026.

CERTIFICADO DEL TUTOR

Certifico que los estudiantes Canacuán Patiño Alexis Ricardo y Rodríguez Calpa Jesica Paola con el número de cédula 0401880422 y 0450009162 respectivamente han desarrollado el Trabajo de Integración Curricular: "Efecto de la interacción Thidiazuron-Giberelina sobre la eficiencia de la micropropagación in vitro de *Solanum tuberosum* L. variedad Superchola a partir de segmentos nodales."

Este trabajo se sujeta a las normas y metodología dispuesta en la Codificación del Reglamento de Régimen Académico y de Estudiantes de la UPEC, por lo tanto, autorizo la presentación de la sustentación para la calificación respectiva.

Ing. Jácome Sarchi Guillermo Alexander , MSc.

TUTOR

Tulcán, septiembre de 2026

AUTORÍA DE TRABAJO

El presente Trabajo de Integración Curricular constituye un requisito previo para la obtención del título de Ingenieros en la Carrera de agropecuaria de la Facultad De Industrias Agropecuarias y Ciencias Ambientales

Nosotros, Canacután Patiño Alexis Ricardo y Rodríguez Calpa Jesica Paola con cédula de identidad número 0401880422 y 0450009162 respectivamente declaramos que la investigación es absolutamente original, auténtica, personal y los resultados y conclusiones a los que hemos llegado son de nuestra absoluta responsabilidad.

Canacután Patiño Alexis Ricardo

AUTOR

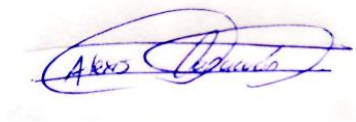
Rodríguez Calpa Jesica Paola

AUTORA

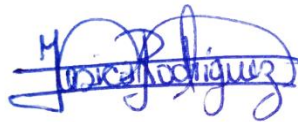
Tulcán, septiembre de 2026

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Nosotros Canacuán Patiño Alexis Ricardo y Rodríguez Calpa Jesica Paola declaramos ser autor de los criterios emitidos en el Trabajo de Integración Curricular: "Efecto de la interacción Thidiazuron-Giberelina sobre la eficiencia de la micropropagación in vitro de *Solanum tuberosum* L. variedad Superchola a partir de segmentos nodales" y se exime expresamente a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi y a sus representantes de posibles reclamos o acciones legales.



Canacuán Patiño Alexis Ricardo
AUTOR



Rodríguez Calpa Jesica Paola
AUTORA

Tulcán, septiembre de 2026

AGRADECIMIENTO

Alexis Ricardo Canacuán Patiño.

Agradezco, en primer lugar, a Dios, por ser mi guía, darme fortaleza y bendecirme en cada paso de mi vida, permitiéndome alcanzar una de las metas más importantes de mi formación profesional.

Con todo mi amor y gratitud, dedico este logro a mis queridos abuelitos, Pedro Canacuán y Olga Cangas, quienes con su cariño, consejos y apoyo han sido una fuente de inspiración y fortaleza a lo largo de mi camino.

Jesica Paola Rodríguez Calpa

Expreso mi sincero agradecimiento a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi por acogerme en sus aulas y permitirme culminar este proceso de formación universitaria. A mi tutor de investigación Ing. Guillermo Jácome, por su paciencia, visión crítica y transmisión de conocimientos, orientando cada fase del proceso experimental con solvencia y dedicación.

A los docentes y encargados de laboratorio, cuya asistencia fue clave durante la preparación de medios de cultivo, evaluación de fitorreguladores y análisis de datos en la investigación.

A mis padres y familiares, por su amor, esfuerzo y sacrificio constante, los cuales han sido el motor principal detrás de cada logro alcanzado. A mis compañeros de estudio y laboratorio, por las largas jornadas de trabajo compartido y el apoyo mutuo en los momentos de mayor reto académico.

DEDICATORIA

Alexis Ricardo Canacután Patiño.

Dedico este esfuerzo a mis queridos tíos Luis, Zulema, Andrea y Daniela, por estar presentes, brindarme su apoyo, confianza y motivación para seguir adelante y no rendirme ante las dificultades.

Este logro no representa únicamente el resultado de mi esfuerzo, sino también el apoyo y cariño de cada una de las personas que han formado parte de este camino. A todos ustedes, les dedico con profundo amor y gratitud este importante logro.

Jesica Paola Rodríguez Calpa

En primer lugar, expreso mi profunda gratitud a Dios por ser el faro y la guía constante en cada etapa de mi vida, otorgándome la sabiduría, serenidad y fortaleza necesarias para superar los desafíos académicos y alcanzar con éxito esta importante meta.

A mis amados padres, Luis Gilberto Rodríguez y Rosa Alba Calpa, cuyo amor incondicional, sacrificio continuo y valiosos valores han sido el pilar fundamental de mi formación personal y profesional. Gracias a su esfuerzo abnegado, confianza e impulso constante he logrado culminar este trabajo de titulación; este logro es, antes que mío, un tributo a su trabajo y dedicación.

A mis hermanos y hermanas, quienes, con su apoyo incondicional, palabras de aliento y constante respaldo aportaron significativamente para hacer este sueño realidad, acompañándome en cada paso del camino.

ÍNDICE

RESUMEN	13
ABSTRACT.....	14
INTRODUCCIÓN	15
I. EL PROBLEMA.....	16
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	17
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	17
1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	19
1.4.1. Objetivo General.....	19
1.4.2. Objetivos Específicos	19
1.4.3. Preguntas de Investigación.....	19
II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	21
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	21
2.2. MARCO TEÓRICO	26
2.2.1. Generalidades del cultivo de papa (<i>Solanum tuberosum</i> L.)	26
2.2.1.1. Origen y taxonomía	26
2.2.1.2. Variedad Super Chola	26
2.2.1.3. Cultivo in vitro.....	27
2.2.1.4. Medios de cultivo	27
2.2.1.5. Medio Cultivo Murashige & Skoog	28
2.2.1.6 Plant Preservative Mixture (PPM)	28
2.2.1.7. Micropropagación.....	29
2.2.1.8. Factores	29
2.2.1.9. Fases de la micropropagación.....	31

2.2.1.10. Segmentos Nodales	32
2.2.1.11. Los explantes.....	32
2.2.2. Reguladores de crecimiento vegetal.....	33
2.2.2.1. Thidiazuron (TDZ)	34
2.2.2.2. Giberelinas (GA3)	35
2.2.3. Interacción entre Thidiazuron y Giberelinas.....	36
2.2.3.1. Hiperhidricidad	37
2.2.3.2. Formación de callos.....	37
III. METODOLOGÍA	39
3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO	39
3.1.1. Enfoque	39
3.1.2. Tipo de Investigación	39
3.2. HIPÓTESIS O IDEA PARA DEFENDER.....	40
3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	40
3.3.1. Definición de las variables.....	40
3.3.2. Operacionalización de las variables	42
3.4. MÉTODOS UTILIZADOS	43
3.4.1. Área de estudio	43
3.4.2. Tratamientos del diseño experimental.....	43
3.4.3. Características del diseño experimental	44
3.4.4. Distribución y características del experimento	44
3.4.5. Población y muestra de la investigación	46
3.4.6. Procedimientos.....	47
3.4.7. Variables evaluadas	49
3.4.7.1. Número de brotes	49
3.4.7.2. Número de nudos.....	49
3.4.7.3. Longitud de vitroplántula (cm)	49
3.4.7.4. Diámetro de tallo (mm)	49

3.4.7.5. Biomasa fresca (g)	50
3.4.7.6. Biomasa seca (g).....	50
3.4.7.7. Porcentaje de materia seca (%)	50
3.4.7.8. Índice de vigor morfológico (IVM)	51
3.4.7.9. Incidencia de hiperhidricidad (%)	51
3.4.7.10. Formación de callo (Callogénesis) (%)	51
3.4.7.11. Índice de calidad.....	52
3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	52
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	54
4.1. RESULTADOS	54
4.1.1. Variable longitud de brotes	54
4.1.2. Variable Número de Brotes	55
4.1.3. Variable Número de Nudos	57
4.1.4. Variable diámetro de tallo	59
4.1.5. Variables de biomasa fresca, biomasa seca y porcentaje de materia seca	60
4.1.6. Índice de Vigor Morfológico (IVM)	61
4.1.7. Incidencia de Hiperhidricidad	63
4.1.8. Incidencia de Callogénesis.....	64
4.1.9. Análisis Beneficio/Costo (B/C)	65
4.2. DISCUSIÓN	67
4.2.1. Respuesta morfofisiológica de las vitroplantas,	67
4.2.2. Efecto del TDZ y GA ₃ en la proliferación de brotes.....	68
4.2.3. Desarrollo radicular y establecimiento in vitro	68
4.2.4. Vigor y calidad de las vitroplantas.....	69
4.2.5. Eficiencia de la micropropagación in vitro	69
4.2.6. Proliferación de brotes durante la micropropagación.....	70
4.2.7. Tasa de multiplicación y la elongación de brotes	70

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	71
5.1. CONCLUSIONES	71
5.2. RECOMENDACIONES	71
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
VII. ANEXOS.....	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía del cultivo de papa	26
Tabla 2. Operacionalización de Variables.....	42
Tabla 3. Tratamientos del diseño experimental.....	43
Tabla 4. Características del diseño experimental	44
Tabla 5. Efecto de las diferentes concentraciones de TDZ y GA ₃ sobre la longitud de brotes en explantes evaluados a los 7, 14, 21 y 28 días de cultivo.	54
Tabla 6. Efecto de los tratamientos sobre el número de brotes (D21 y D28) en micro plántulas evaluadas bajo diferentes concentraciones de TDZ y GA ₃	56
Tabla 7. Efecto de los tratamientos sobre el número de nudos en microplántulas de <i>Solanum tuberosum</i> L. a los 7, 14, 21 y 28 días de cultivo.	57
Tabla 8. Diámetro de tallo.....	59
Tabla 9. Efecto de los tratamientos sobre biomasa fresca, biomasa seca y porcentaje de materia seca en vitroplántulas de <i>Solanum tuberosum</i> L.	60
Tabla 10. Efecto de los tratamientos sobre el Índice de Vigor Morfológico.	61
Tabla 11. Frecuencia y porcentaje de hiperhidricidad en microplántulas de <i>Solanum tuberosum</i> L. bajo diferentes tratamientos a los 28 días de cultivo.	63
Tabla 12. Frecuencia y porcentaje de callogénesis en microplántulas de <i>Solanum tuberosum</i> L. bajo diferentes tratamientos a los 28 días de cultivo.	64
Tabla 13. Análisis Beneficio/Costo (B/C).....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. El Plant Preservative Mixture (PPM™)	29
Figura 2. Fases de la micropropagación.....	32
Figura 3. Segmentos Nodales	32
Figura 4. Explantes.....	33
Figura 5. Thidiazuron (TDZ)	35
Figura 6. Ácido Giberélico (GA ₃)	36
Figura 7. Hiperhidricidad	37
Figura 8. Formación de callos.....	38
Figura 9. Distribución del experimento	46
Figura 10. Distribución porcentual del Índice de Vigor Morfológico (IVM) por tratamiento a los 28 días,	62
Figura 11. Proporción de hiperhidricidad por tratamiento a los 28 días de cultivo. ...	63
Figura 12. Proporción de callogénesis por tratamiento a los 28 días de cultivo.	65
Figura 13. Lavado y secado de envases	79
Figura 14. Preparación de medios de cultivo	79
Figura 15. Auto clavar medios	79
Figura 16. Vertir medios de cultivo en frascos.....	79

Figura 17. Etiquetado de tratamientos 79

Figura 18.Distribución de tratamientos 79

Figura 19. Toma de datos..... 80

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Certificado del abstract por parte de idiomas 77

Anexo 2 . Procedimientos 79

RESUMEN

La producción tradicional de papa (*Solanum tuberosum* L.) enfrenta desafíos significativos relacionados con la baja calidad fitosanitaria de la semilla y la pérdida progresiva de vigor genético. En este contexto, la micropropagación *in vitro* mediante el uso de reguladores de crecimiento ha emergido como una estrategia prometedora para multiplicar material vegetal sano y de alta calidad de manera eficiente. Esta investigación tuvo como objetivos determinar la combinación óptima de Thidiazuron (TDZ) y Giberelina (GA₃) que maximice la tasa de multiplicación de brotes en la variedad Superchola a partir de segmentos nodales, analizar su calidad morfofisiológica y definir cuál de los tratamientos presenta mayor rentabilidad. Se evaluaron diferentes combinaciones hormonales bajo un diseño factorial 3x3, incluyendo dosis de TDZ (0; 0,05 y 0,10 mg/L) y GA₃ (0; 0,10 y 0,25 mg/L), aplicadas en medio de cultivo Murashige y Skoog. Los resultados mostraron que el tratamiento T6 (0,05 mg/L de TDZ + 0,25 mg/L de GA₃) obtuvo los mejores resultados en términos de desarrollo morfogénico, con una tasa de 1,75 brotes por explante, una biomasa fresca de 0,034 g y un 87,50 % de plantas clasificadas como "élite" a los 28 días. Además, este tratamiento presentó el mayor desempeño comercial, generando una utilidad neta positiva y la mayor rentabilidad, con una relación beneficio-coste de 1,27 USD por cada dólar invertido. Estos hallazgos indican que la combinación de una dosis intermedia de TDZ y una dosis alta de GA₃ mejora significativamente la multiplicación, la calidad estructural y la rentabilidad del cultivo *in vitro* de papa variedad Superchola. La investigación contribuye al conocimiento sobre el uso de herramientas biotecnológicas en la agricultura, ofreciendo alternativas sostenibles y rentables para optimizar la producción de semilla pre-básica.

Palabras Claves: Cultivo *in vitro*, Micropropagación, Rentabilidad, *Solanum tuberosum*, Thidiazuron.

ABSTRACT

Traditional potato (*Solanum tuberosum* L.) production faces significant challenges related to the low phytosanitary quality of seed and the progressive loss of genetic vigor. In this context, *in vitro* micropropagation using growth regulators has emerged as a promising strategy to efficiently multiply healthy, high-quality plant material. This research aimed to determine the optimal combination of Thidiazuron (TDZ) and Gibberellin (GA₃) that maximizes the shoot multiplication rate in the Superchola variety from nodal segments, to analyze their morphophysiological quality, and to define which of the treatments shows the highest profitability. Different hormonal combinations were evaluated under a 3×3 factorial design, including TDZ doses (0; 0.05 and 0.10 mg/L) and GA₃ (0; 0.10 and 0.25 mg/L), applied in Murashige and Skoog culture medium. The results showed that treatment T6 (0.05 mg/L TDZ + 0.25 mg/L GA₃) obtained the best results in terms of morphogenic development, with a rate of 1.75 shoots per explant, a fresh biomass of 0.034 g, and 87.50% of plants classified as "elite" at 28 days. In addition, this treatment presented the highest commercial performance, generating a positive net profit and the greatest profitability, with a benefit-cost ratio of 1.27 USD for each dollar invested. These findings indicate that the combination of an intermediate dose of TDZ and a high dose of GA₃ significantly improves multiplication, structural quality, and the profitability of *in vitro* culture of Superchola potato. The research contributes to knowledge on the use of biotechnological tools in agriculture, offering sustainable and profitable alternatives to optimize the production of pre-basic seed.

Keywords: *In vitro* culture, Micropropagation, Profitability, *Solanum tuberosum*, Thidiazuron

INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es uno de los de mayor relevancia a nivel mundial dado su alto valor alimenticio, así como relevancia económica en la seguridad alimentaria que en el Ecuador su producción se ha constituido como una actividad estratégica, siendo la provincia del Carchi una de las principales zonas productoras, La papa "Super Chola" es una de las variedades más cultivadas ya que se caracteriza por su aceptación en el mercado nacional y potencial de rendimiento, Sin embargo, su producción convencional enfrenta limitaciones como la baja calidad fitosanitaria de las semillas, presencia de patógenos o pérdida de vigor en el material propagativo (Arteaga et al., 2022).

La micropropagación in vitro es una técnica biotecnológica que garantiza la obtención de plantas libres de enfermedades, con mayor uniformidad, así como calidad genética donde se utilizan como reguladores de crecimiento el Thidiazuron (TDZ) y la Giberelina (GA_3) quienes permiten la inducción de brotes además de la elongación de tallos ya que influyen en la eficiencia de los protocolos de propagación (Cancino et al., 2024). No obstante, la interacción de ambos reguladores no ha sido estudiada lo suficiente en la variedad Super Chola bajo condiciones locales en el Centro Experimental San Francisco de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi (CESF-UPEC).

Es así como la investigación busca evaluar el efecto combinado de TDZ y GA_3 en la regeneración de segmentos nodales de *Solanum tuberosum* L. variedad Super Chola, para optimizar el proceso de micropropagación in vitro, aportar al desarrollo agrícola sostenible y ofrecer alternativas tecnológicas que aumenten la productividad de los sistemas de cultivo en el Carchi.

I. EL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El cultivo de papa es un pilar socioeconómico que garantiza la seguridad alimentaria y contribuyen significativamente a los ingresos de los agricultores en la zona altoandina de la provincia del Carchi. La variedad Superchola es una de las más apreciadas por su rendimiento, adaptación agroclimática y alta aceptación comercial. Sin embargo, la práctica tradicional de producción y conservación de semilla presenta limitaciones críticas relacionadas con la propagación lenta, la acumulación de patógenos y la pérdida progresiva de calidad genética, factores que reducen drásticamente la productividad y la sostenibilidad del cultivo.

A nivel nacional y local, la escasa disponibilidad de material vegetal certificado y libre de patógenos genera repercusiones económicas severas ya que el uso continuo de semilla no certificada incide en que los rendimientos promedio en la provincia del Carchi se mantengan por debajo de su potencial genético, registrando mermas en la productividad que pueden superar el 30% en ciclos de alta incidencia patógena (Sistema de Información Pública Agropecuaria del Ecuador, 2026).

Esta problemática ocasiona un incremento directo en los costos de producción debido al uso intensivo e ineficiente de agroquímicos para contrarrestar plagas y enfermedades y una disminución en la calidad comercial de los tubérculos cosechados (Petrova & Koleva, 2022).

Frente a esta situación, los pequeños y medianos productores continúan reutilizando tubérculos de cosechas anteriores como material de siembra, una práctica empírica que favorece la diseminación y transmisión de patógenos complejos (virales, bacterianos y fúngicos) que degradan el desarrollo fisiológico de la planta ciclo tras ciclo. A esta degradación sanitaria se adosan los efectos adversos del cambio climático, la degradación de los suelos altoandinos y el manejo empírico de la fertilización, limitando la rentabilidad del sector agrícola.

Según Romero et al. (2025), la necesidad de conservar y mejorar el germoplasma de papa es imperativa debido a la importancia socioeconómica del cultivo y al impacto negativo que las condiciones sanitarias ejercen sobre el rendimiento final.

En este contexto, la biotecnología vegetal específicamente la técnica de cultivo *in vitro* para la obtención de microtubérculos ha cobrado relevancia como una alternativa eficiente para la producción masiva de material vegetal sano en periodos reducidos. No obstante, factores como el genotipo, la composición del medio de cultivo y las condiciones ambientales continúan influyendo en la respuesta morfogénica, evidenciando la necesidad de optimizar los protocolos experimentales para superar las restricciones de los sistemas convencionales de propagación (Zahia *et al.*, 2020).

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

"¿De qué manera incide la interacción de Thidiazuron (TDZ) y Giberelina (GA3) en la eficiencia de la micropropagación *in vitro* de la papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad Superchola, a partir de segmentos nodales, bajo condiciones de laboratorio en la Universidad Politécnica Estatal del Carchi, Tulcán en el periodo 2026?"

1.3. JUSTIFICACIÓN

El estudio se basa en la necesidad de optimizar la producción de material vegetal sano y con alta calidad fitosanitaria en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) considerando que los sistemas convencionales de propagación presentan limitaciones relacionadas con un bajo índice de multiplicación y una alta susceptibilidad a enfermedades.

De acuerdo con Desta *et al.* (2024), la escasa disponibilidad de semillas de alta calidad limita la producción de papa en países en vías de desarrollo, razón por la cual las técnicas de cultivo de tejidos y micropropagación han adquirido gran importancia para la obtención de plantas uniformes, vigorosas y libres de patógenos. La micropropagación produce una gran cantidad de plantas en un menor periodo de tiempo, contribuyendo al fortalecimiento de sistemas agrícolas más eficientes y sostenibles. Es así que evaluar la interacción de reguladores de crecimiento vegetal en la micropropagación *in vitro* de la variedad Superchola genera información técnica útil para optimizar protocolos de producción vegetal, además de mejorar la disponibilidad de semilla de calidad para los productores.

La investigación surge por la necesidad de disminuir las pérdidas productivas y los elevados costos asociados a la producción tradicional de semilla de papa, ya que la baja calidad fitosanitaria del material vegetal, junto con la limitada capacidad de multiplicación de los métodos convencionales, obliga a los productores a destinar

mayores recursos para el manejo sanitario y la adquisición de semilla, lo que afecta directamente la rentabilidad del cultivo.

Según Sota et al. (2020), el uso de reguladores de crecimiento vegetal como BAP y kinetina incrementa la eficiencia de la micropropagación, además de favorecer la formación de microtubérculos en condiciones *in vitro* para obtener una mayor cantidad de plantas sanas y uniformes en menor tiempo. Es por ello que implementar protocolos eficientes de micropropagación representa una alternativa con alto potencial económico, ya que contribuye a disminuir los costos de producción, optimizar el uso de recursos y mejorar la disponibilidad de semilla con alta calidad fitosanitaria. Fortalecer los sistemas tecnificados de producción vegetal incrementa la productividad y la competitividad de los productores paperos, favoreciendo una relación costo beneficio eficiente y sostenible para el sector agrícola.

De igual forma, se promueven alternativas biotecnológicas sostenibles orientadas a la producción de material vegetal sano y libre de enfermedades para reducir la dependencia de métodos tradicionales que favorecen tanto la propagación de patógenos como el deterioro fitosanitario del cultivo. La micropropagación *in vitro* es una herramienta biotecnológica que contribuye a disminuir la presión sobre los sistemas convencionales de producción, optimizando el uso de recursos para fortalecer la conservación de germoplasma vegetal de alta calidad. Según Shaheen et al. (2020), el desarrollo de protocolos eficientes de micropropagación mejora los procesos de regeneración, enraizamiento y aclimatación de las plantas en condiciones controladas para obtener material vegetal uniforme con mejores características agronómicas. Estas técnicas permiten alcanzar la sostenibilidad agrícola al fortalecer la seguridad productiva, reducir las pérdidas ocasionadas por material contaminado y promover sistemas de producción más seguros para el ambiente y la sociedad.

Por otra parte, la generación de información técnica y experimental contribuye al fortalecimiento de la micropropagación *in vitro* de papa en la provincia del Carchi. Frente a la limitada disponibilidad de protocolos específicos adaptados a las condiciones de laboratorio y a las características fisiológicas de la variedad Superchola, este estudio aportará evidencia cuantitativa y cualitativa sobre el comportamiento morfológico y fisiológico de los explantes evaluados mediante variables como longitud de planta, número de brotes, número de nudos, diámetro de planta, vigor, índice de calidad, biomasa fresca, biomasa seca, hiperhidricidad,

formación de callo y porcentaje de materia seca. Shaheen *et al.*, (2021) plantean que la eficiencia de los protocolos de micropropagación depende de la interacción entre el tipo de explante, los reguladores de crecimiento y las condiciones de cultivo utilizadas durante el desarrollo *in vitro*. Todo ello permitirá fortalecer el conocimiento científico local, optimizar futuras investigaciones biotecnológicas y establecer bases técnicas que faciliten la transferencia de tecnología hacia sistemas de producción más eficientes y sostenibles para el cultivo de papa en la región.

Finalmente, la presente investigación es factible y viable de realizar, ya que se cuenta con el acceso directo al Laboratorio de Biotecnología e infraestructura de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi (UPEC), así como con la disponibilidad de los insumos necesarios (medios de cultivo Murashige y Skoog, fitohormonas y reactivos) y el respaldo técnico-académico institucional indispensable para llevar a cabo de manera exitosa las fases experimentales del cultivo vegetal *in vitro*.

1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo General

Evaluar el efecto de la interacción entre Thidiazuron - Giberelina sobre la eficiencia de la micropropagación *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. variedad super chola a partir de segmentos nodales.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar la combinación óptima de (TDZ) y (GA_3) que maximice la tasa de multiplicación de brotes en *Solanum tuberosum* L. variedad Super Chola a partir de segmentos nodales.
- Analizar la calidad morfofisiológica de las vitroplántulas bajo diferentes combinaciones de Thidiazuron (TDZ) y Giberelina (GA_3).
- Realizar un análisis costo-beneficio de los tratamientos hormonales empleados en la micropropagación *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. variedad Superchola.

1.4.3. Preguntas de Investigación

1.- ¿Cuál es la combinación óptima de Thidiazuron (TDZ) y Giberelina (GA_3) que maximiza la tasa de multiplicación de brotes en *Solanum tuberosum* L. variedad Superchola a partir de segmentos nodales?

2.- ¿Cómo influye la aplicación de diferentes combinaciones de Thidiazuron (TDZ) y Giberelina (GA₃) en la calidad morfofisiológica de las microplántulas de *Solanum tuberosum* L. variedad Superchola obtenidas mediante cultivo *in vitro*?

3.- ¿Cuál de los tratamientos hormonales evaluados presenta la mejor relación costo-beneficio en la micropropagación *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. variedad Superchola?

II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Como base teórica para el desarrollo del presente estudio, se plantean investigaciones previas relacionadas con la micropropagación in vitro de papa y el uso de reguladores de crecimiento, debido a que estos factores influyen directamente en la eficiencia de la multiplicación vegetal.

Soto (2019), en su investigación titulada “Evaluación de tres medios de cultivo para la micropropagación de papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad Superchola”, la cual tuvo como objetivo evaluar el efecto de medios de cultivo alternativos para la micropropagación de papa variedad Superchola en condiciones controladas del Laboratorio 202 de Biotecnología y Microbiología de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi. La investigación se desarrolló bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA), con siete tratamientos y tres repeticiones, utilizando el medio Murashige & Skoog enriquecido con almidón de quinua, banano y papa en dosis de 25 g L⁻¹ y 75 g L⁻¹. Las variables evaluadas fueron número de nudos, número de hojas, número de raíces y altura de vitroplanta. Se encontró que el tratamiento T2 (MS + AQ25cc) presentó los mejores promedios con 19,50 nudos por vitroplanta, 19 hojas, 5,75 raíces y una altura de 7,80 cm por planta, demostrando una mejor respuesta fisiológica en comparación con los demás tratamientos. Se concluyó que el medio Murashige & Skoog suplementado con almidón de quínoa constituye una alternativa viable y económica para la mejora de la eficiencia de la micropropagación in vitro de papa variedad Superchola, favoreciendo el desarrollo y multiplicación del material vegetal.

Por otra parte, Villa (2016) desarrolló un estudio en el Centro Experimental San Francisco, ubicado en el cantón Huaca, provincia del Carchi, orientado a la producción de semilla de papa (*Solanum tuberosum* L.) mediante métodos de multiplicación acelerada. El objetivo principal fue validar tres métodos de multiplicación acelerada para la obtención de semilla de papa de calidad. Como metodología se aplicó un diseño experimental de Bloques Completos al Azar (DBCA), evaluando cuatro tratamientos: T1 (esqueje de planta joven de papa), T2 (brote de

tubérculo semilla), T3 (brote compartido de tubérculo semilla) y T4 (tubérculo semilla como testigo), con seis repeticiones. Las variables de estudio fueron altura de planta, diámetro de tallo, cobertura foliar, rendimiento (g/planta) y análisis económico. Como resultados se plantea que el tratamiento T4 (tubérculo semilla) alcanzó el mayor rendimiento con 1811,42 g/planta, seguido por T3 (brote compartido) con 1019,15 g/planta y T2 (brote) con 1016,10 g/planta, mientras que el menor rendimiento se obtuvo en T1 (esqueje) con 645 g/planta. A los 60 días después de la siembra, el tratamiento T2 presentó la mayor altura de planta con 8,83 cm, y en diámetro de tallo el tratamiento T3 alcanzó 6,33 mm, mostrando mejor vigor vegetativo. Se concluyó que los métodos de multiplicación acelerada permiten mejorar la producción de semilla de papa y constituyen una alternativa eficiente para incrementar la disponibilidad de material vegetal tanto sano como de calidad, aportando bases técnicas importantes para investigaciones relacionadas con la micropropagación *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. variedad Superchola.

Aguinsaca (2025) desarrolló un estudio denominado Introducción al cultivo *in vitro* de cultivares nativos de papa de la Sierra Sur del Ecuador, en la Universidad Técnica Particular de Loja, cuyo objetivo fue establecer un protocolo eficiente para la introducción *in vitro* de los cultivares chaucha tomate y chaucha rosada (*Solanum phureja*). Para ello, empleó un diseño experimental completamente al azar, mediante el cual evaluó diferentes tratamientos de desinfección y medios MS suplementados con Plant Preservative Mixture (PPM). Se estudiaron variables como contaminación bacteriana, fúngica, total, número de hojas, número de raíces y vigor de las vitroplantas. Los tratamientos evaluados combinaron yodo al 2%, propiconazole al 1% y agua como predesinfectantes, con tiempos de inmersión de 3 y 12 horas, además de medios MS suplementados con 0; 0,3; 0,5 y 1 mL/L de PPM, incluyendo un tratamiento con 0,3 PPM + coco. Se plantea entre los hallazgos que tratamiento 27, conformado por propiconazole al 1% durante 3 horas y medio MS con 0,3 PPM + coco, presentó el mejor comportamiento para el cultivar chaucha tomate, reduciendo la contaminación además de mejorar el desarrollo de las vitroplantas. Por otra parte, el tratamiento 17, con inmersión en agua durante 3 horas y medio MS con 0,5 PPM, fue el más eficiente para chaucha rosada. Como conclusión se plantea que la concentración de PPM tuvo mayor influencia en el control de contaminantes que el tipo de desinfectante utilizado, permitiendo optimizar la adaptación y el

establecimiento in vitro de cultivares nativos de papa para programas de conservación y propagación.

Sangacha (2025), en su investigación que planteó por objetivo evaluar el efecto de las citoquininas Bencilaminopurina (BAP) y Kinetina (KIN) en diferentes dosis sobre la propagación in vitro de papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad INIAP-Natividad, mediante el diseño completamente al azar en arreglo factorial 2 x 4 con cuatro repeticiones como metodología, Se estudiaron variables como porcentaje de frascos contaminados, número de brotes por explante, altura de brotes, tasa de velocidad de multiplicación, porcentaje de viabilidad y tasa de proliferación final, evaluando los tratamientos: BAP y KIN en dosis de 0, 2, 4 y 6 mg/L incorporadas al medio de cultivo MS, Se plantean como hallazgos que a los 60 días después del establecimiento del cultivo in vitro, la Bencilaminopurina presentó el mejor comportamiento con un promedio de 2,16 brotes por explante, mientras que la Kinetina registró 1,31 brotes, Además, el porcentaje de contaminación disminuyó de 15,63% a los 30 días hasta 3,13% a los 60 días, evidenciando un adecuado control aséptico durante el cultivo, Se concluyó que la suplementación del medio MS con BAP favoreció significativamente la proliferación de brotes y mejoró la eficiencia de la micropropagación in vitro de papa, constituyéndose en una alternativa viable para la producción masiva de material vegetal de calidad.

De manera complementaria, Saputro et al. (2020) evaluaron la respuesta de explantes de tallo de papa (*Solanum tuberosum* L.) ante diferentes concentraciones de TDZ en medio MS, con el propósito de determinar el tipo de explante y la concentración más adecuada para favorecer la viabilidad y la organogénesis in vitro. En este estudio se utilizó un diseño experimental completamente al azar (DCA), bajo un arreglo factorial 2 x 4. Los tratamientos evaluados correspondieron a dos tipos de explantes: tallos sin yema (B0) y tallos con yema (B1), combinados con cuatro concentraciones de TDZ: 0 ppm (T0), 4,5 ppm (T4,5), 6 ppm (T6) y 7,5 ppm (T7,5), Las variables de estudio fueron porcentaje de explantes estériles, porcentaje de explantes vivos, número de brotes, número de hojas y número de raíces. Como resultados se plantea que los explantes con yema (B1) presentaron mayor viabilidad y supervivencia en comparación con los explantes sin yema, mientras que la concentración de 4,5 ppm de TDZ mostró la mejor respuesta organogénica, incrementando significativamente el número de brotes y hojas respecto a las demás concentraciones y al testigo, Por otra parte, el aumento de TDZ hasta 7,5 ppm redujo

la viabilidad y el desarrollo de los explantes. La conclusión fue que el uso adecuado de TDZ en medio MS mejora la respuesta morfogénica y la multiplicación *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. constituyéndose en un antecedente relevante para investigaciones relacionadas con la interacción Thidiazuron-Giberelina en la variedad Superchola.

En concordancia con los antecedentes expuestos, Sota et al. (2020) evaluaron el efecto de diferentes reguladores de crecimiento sobre la micropropagación y la tuberización *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. Vermosh, con el propósito de determinar la respuesta del material vegetal frente a la aplicación de dichos reguladores y su influencia en la formación de microtubérculos bajo condiciones *in vitro*, aplicaron un diseño experimental completamente al azar utilizando medio MS suplementado con distintas concentraciones y combinaciones de BAP, kinetina e IAA. Se estudiaron variables como número de raíces, longitud de raíces, número de brotes, número de hojas, formación de callo y porcentaje de tuberización, evaluando ocho tratamientos hormonales durante las fases de proliferación y microtuberización. Como resultados se planteó que el tratamiento VII compuesto por BAP 2 mg/L + IAA 1 mg/L presentó el mayor porcentaje de tuberización con 53,3%, superando a los tratamientos con kinetina, mientras que el tratamiento III con kinetina 2 mg/L + IAA 0,5 mg/L registró el menor porcentaje de tuberización con 25,9%. Además, concentraciones elevadas de BAP y kinetina (1 mg/L) disminuyeron varios parámetros biométricos, excepto el número de hojas. Se concluyó que el uso de BAP en combinación con auxinas favorece significativamente la micropropagación y tuberización *in vitro* de *Solanum tuberosum* L.

En relación con la propagación *in vitro* de papa, Shafique et al. (2025) evaluaron la influencia de los reguladores de crecimiento vegetal sobre la micropropagación *in vitro* de las variedades Asterix y Bartina, con el objetivo de determinar su efecto sobre la respuesta morfogénica de estos genotipos bajo condiciones *in vitro*. Aplicaron un diseño completamente al azar (DCA) con tres repeticiones, utilizando ápices meristemáticos cultivados en medio basal Murashige y Skoog (MS) suplementado con diferentes concentraciones de benzilaminopurina (BAP: 0, 1,5; 3 y 4,5 mg/L) y ácido indolacético (IAA: 0; 0,5 y 1 mg/L) para la multiplicación de brotes, mientras que para el enraizamiento emplearon ácido indolbutírico (IBA) en concentraciones de 0; 0,5; 1 y 2 mg/L. Se evaluaron variables como número de brotes, longitud de brotes, número de hojas, número de raíces y longitud de raíces. Como resultados se determinó que

el tratamiento compuesto por 4,5 mg/L de BAP + 1 mg/L de IAA presentó la mejor respuesta para ambas variedades. En la variedad Asterix se obtuvo un promedio de 9,2 brotes por explante, una longitud de brote de 10,2 cm y 7 hojas por planta, mientras que en la variedad Bartina se registraron 7,8 brotes, una longitud de 9,9 cm y 8,9 hojas por planta. Para la fase de enraizamiento, la concentración de 1 mg/L de IBA mostró los mejores resultados, alcanzando 9,53 raíces con una longitud de 9,86 cm en la variedad Asterix y 8,60 raíces con una longitud de 7,60 cm en la variedad Bartina. Se concluyó que la combinación de 4,5 mg/L de BAP + 1 mg/L de IAA favorece significativamente la multiplicación y desarrollo de brotes, mientras que la aplicación de 1 mg/L de IBA optimiza el enraizamiento *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. constituyéndose en una alternativa eficiente para la producción masiva de material vegetal de alta calidad.

Respecto a la regeneración de tejido vegetal, Laila et al. (2025) estudiaron la capacidad de regeneración de callos seleccionados de tres cultivares de *Solanum tuberosum* L. —Salvador, Yalas y Arizona— y evaluaron su tolerancia al estrés hídrico bajo condiciones *in vitro*. Aplicaron un diseño completamente al azar con tres repeticiones, utilizando callos obtenidos a partir de hojas e internodos cultivados en medio Murashige y Skoog (MS) suplementado con 3 mg/L de 2,4-D para la inducción de callo. Posteriormente, los callos seleccionados fueron regenerados en medio MS suplementado con diferentes concentraciones de benzilaminopurina (BAP: 0,5; 1 y 1,5 mg/L) y sulfato de adenina (AdSO₄: 15 y 25 mg/L). Se evaluaron variables como porcentaje de regeneración, número de brotes formados por callo, altura de planta, número de hojas, área foliar, longitud y número de raíces, además de la tolerancia al estrés osmótico inducido por sorbitol. Como resultados se determinó que el mejor tratamiento para la regeneración de callos fue la combinación de 25 mg/L de sulfato de adenina + 1,5 mg/L de BAP en la variedad Yalas, alcanzando un porcentaje de regeneración de 32,1% y un promedio de dos brotes por callo. En la variedad Salvador, el mejor tratamiento correspondió a 15 mg/L de sulfato de adenina + 1,5 mg/L de BAP, obteniéndose un 21,4% de regeneración, mientras que en Arizona se alcanzó un 14,5% con el mismo tratamiento. Además, los somaclones Y3 y Y2 de la variedad Yalas, S3 y S6 de Salvador, y A1 de Arizona mostraron mayor tolerancia al estrés hídrico inducido con sorbitol. Se concluyó que la combinación de BAP y sulfato de adenina favorece significativamente la regeneración *in vitro* de callos de *Solanum tuberosum* L. permitiendo la obtención de somaclones con mayor capacidad de

regeneración y tolerancia al estrés, constituyendo una herramienta útil para programas de mejoramiento genético y propagación in vitro.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Generalidades del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.)

2.2.1.1. Origen y taxonomía

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es un cultivo originario de la región andina de América del Sur de las zonas cercanas al lago Titicaca entre Perú y Bolivia, donde fue domesticada hace aproximadamente entre 6,000 y 10,000 años por las antiguas civilizaciones andinas. En esta se destaca su valor alimenticio además de su amplia diversidad genética y capacidad de adaptación a diferentes condiciones agroecológicas. Este tubérculo se considera uno de los cultivos alimentarios de mayor importancia del mundo, debido a su aporte a la seguridad alimentaria y a la economía de millones de productores agrícolas, es por ello que en la Tabla 1 se detalla su taxonomía (Parra et al., 2021).

Tabla 1. Taxonomía del cultivo de papa

Categoría	Nombre
Reino	Plantae
Phylum	Tracheophyta (Espermatofitas)
Subphylum	Angiospermae
Clase	Magnoliopsida
Orden	Solanales
Familia	Solanaceae
Subfamilia	Solanoideae
Tribu	Solaneae
Género	<i>Solanum</i>
Especie	<i>tuberosum</i>
Nombre científico	<i>Solanum tuberosum</i> L.
Nombre vulgar	Papa, patata

Fuente: (Soto, 2019)

2.2.1.2. Variedad Super Chola

La variedad de papa Superchola (*Solanum tuberosum* L.) constituye uno de los cultivos de mayor relevancia en la región andina del Ecuador, especialmente en las provincias de Carchi e Imbabura, debido a su amplia adaptación a distintas condiciones agroecológicas y a su importante valor comercial. Esta se distingue por su buen nivel de productividad, su alta aceptación en el mercado y su aporte dentro de la cadena de producción, así como comercialización agrícola del país.

Esta forma parte de los sistemas agrícolas tradicionales de la Sierra ecuatoriana, donde es cultivada principalmente por pequeños y medianos productores. Su producción contribuye al fortalecimiento de la seguridad alimentaria y al dinamismo de la economía rural. Es así que según Basantes et al. (2020), esta variedad representa un componente esencial de los sistemas productivos andinos debido a su importancia socioeconómica y adaptación a las condiciones de la zona.

2.2.1.3. Cultivo in vitro

También llamado micropropagación es una técnica de la biotecnología vegetal que consiste en el cultivo de células, tejidos u órganos de plantas en condiciones completamente controladas y asépticas que utiliza medios nutritivos específicos para favorecer su crecimiento y desarrollo. Esta busca la regeneración de plantas completas, genéticamente uniformes, así como de alta calidad fitosanitaria a partir de pequeños fragmentos vegetales (explantes). Esta permite la multiplicación rápida y masiva de especies vegetales en un periodo relativamente corto, sin depender de factores climáticos o estacionales convirtiéndose en una herramienta de producción agrícola moderna.

Este se utiliza ampliamente en la obtención de plantas libres de enfermedades, conservación de germoplasma y propagación de especies de importancia agrícola, ornamental o comercial, Su aplicación ha cobrado gran relevancia en programas de mejoramiento vegetal permitiendo obtener material propagativo sano, homogéneo con características agronómicas deseables. Es una alternativa eficiente para mejorar la disponibilidad de semilla de calidad además de fortalecer los sistemas de producción agrícola sostenibles (Hasnain et al., 2022).

2.2.1.4. Medios de cultivo

Son un elemento fundamental en la micropropagación in vitro de *Solanum tuberosum* L. ya que aportan los nutrientes necesarios para el crecimiento, desarrollo y diferenciación de los explantes bajo condiciones completamente asépticas. Entre estos, el medio Murashige y Skoog (MS) es el más utilizado, debido a su equilibrada composición de macronutrientes, micronutrientes, vitaminas y fuente de carbono favoreciendo los procesos fisiológicos como la multiplicación de brotes y la formación de microtubérculos. La composición del medio puede ajustarse según la etapa del cultivo, incorporando reguladores de crecimiento vegetal como auxinas, citocininas y giberelinas para influir en la morfogénesis del tejido vegetal. Parámetros como el

pH, la concentración de sacarosa y el tipo de agente gelificante son determinantes para optimizar la respuesta de los explantes y asegurar una propagación eficiente, así como controlada en condiciones in vitro. Según Jácome *et al.*, (2025), la adecuada formulación del medio de cultivo mejorar la eficiencia y calidad del proceso de micropropagación (Hasnain *et al.*, 2022).

2.2.1.5. Medio Cultivo Murashige & Skoog

Este se utiliza en la micropropagación de plantas debido a su alta concentración de macronutrientes, micronutrientes y vitaminas esenciales para el desarrollo in vitro siendo originalmente formulado para optimizar el crecimiento de tejidos vegetales, pero en la actualidad es la base fundamental para la propagación de diversas especies agrícolas, entre ellas *Solanum tuberosum* L. (Hasnain *et al.*, 2022).

Su composición favorece procesos fisiológicos clave como la división celular, la formación de callos y la regeneración de brotes, y muestra una alta eficiencia cuando se combina con reguladores de crecimiento vegetal. Las modificaciones en la formulación del medio MS pueden mejorar significativamente procesos como la embriogénesis somática y la regeneración de tejidos en condiciones in vitro, lo que confirma su importancia como medio estándar en biotecnología vegetal. En este sentido, destaca su relevancia como base fundamental en los sistemas de cultivo de tejidos vegetales (Dalton, 2020).

2.2.1.6 Plant Preservative Mixture (PPM)

El Plant Preservative Mixture (PPM™) detallado en la figura 1 es un agente biocida de amplio espectro utilizado en el cultivo in vitro de plantas para controlar la contaminación causada por bacterias y hongos, permitiendo mantener condiciones asépticas durante la micropropagación. Este se incorpora al medio de cultivo sin afectar significativamente la viabilidad de los explantes, lo que lo convierte en una alternativa eficaz frente al uso de antibióticos. El PPM™ reduce de manera significativa la contaminación endofítica en explantes vegetales y mejora las tasas de establecimiento in vitro, aunque su eficacia puede variar según la especie y las condiciones del cultivo. Por ello, su concentración debe ser optimizada en cada protocolo de micropropagación para evitar posibles efectos fitotóxicos y maximizar la supervivencia del material vegetal (Romadanova *et al.*, 2022).



Figura 1. Plant Preservative Mixture

2.2.1.7. Micropropagación

Es una técnica de cultivo *in vitro* que permite la multiplicación clonal rápida y eficiente de plantas a partir de pequeños fragmentos vegetales llamados explantes, bajo condiciones completamente asépticas en medios de cultivo nutritivos controlados. Su base está en la totipotencialidad de las células vegetales, es decir, su capacidad para regenerar una planta completa a partir de una sola célula o tejido haciendo posible la obtención de un gran número de plantas genéticamente idénticas en un periodo corto de tiempo (Romadanova *et al.*, 2022).

La micropropagación se ha convertido en una herramienta que facilita la producción de material vegetal uniforme, de alta calidad y libre de patógenos, por lo que su aplicación es importante en programas de mejoramiento genético, producción comercial de cultivos y conservación de especies vegetales de interés tanto agrícola como económico. Esta técnica permite optimizar el uso de material inicial, acelerar los procesos de multiplicación y garantizar la disponibilidad de plantas sanas para su establecimiento en campo, contribuyendo así a sistemas de producción más eficientes y sostenibles (Gupta *et al.*, 2020).

2.2.1.8. Factores

Temperatura

Este influye en procesos fisiológicos como la división celular, la morfogénesis y el desarrollo de brotes y raíces ya que, en condiciones de micropropagación, se ha reportado que rangos óptimos entre 21 y 27 °C favorecen el crecimiento adecuado de los explantes, mientras que temperaturas fuera de este intervalo pueden generar efectos negativos como la reducción de la multiplicación, deformaciones en los

tejidos o inhibición del desarrollo radicular. La temperatura interactúa con otros factores como la luz y el fotoperiodo, modulando la actividad metabólica y la eficiencia del cultivo. En sistemas controlados, mantener una temperatura cercana a 25 °C suele considerarse ideal para la mayoría de las especies cultivadas in vitro, incluyendo cultivos de importancia agrícola como la papa (*Solanum tuberosum* L.) debido a que permite un equilibrio entre crecimiento y estabilidad fisiológica (Çelikel *et al.*, 2021).

Fotoperiodo

Es la duración del periodo de luz que se presenta dentro de un ciclo de 24 horas y constituye una de las principales señales ambientales que regulan el desarrollo de las plantas. Este influye en diversos procesos fisiológicos, ya que permite sincronizar eventos como la germinación, floración y senescencia con las variaciones estacionales. Las plantas poseen mecanismos especializados para percibir, así como medir la longitud del día, lo que les posibilita ajustar su crecimiento y desarrollo en función de las condiciones de luz del entorno. Este permite la adaptación de las plantas a cambios ambientales y para la optimización de sus procesos biológicos (Roeber *et al.*, 2022).

En cultivos in vitro, el fotoperiodo desempeña un papel fundamental en la regulación de la fotosíntesis, la elongación de brotes, la formación de hojas, el desarrollo radicular y la eficiencia de la multiplicación vegetal. La exposición adecuada a la luz favorece la acumulación de biomasa y la diferenciación de tejidos, mientras que periodos insuficientes o excesivos pueden afectar negativamente el crecimiento de los explantes (Roeber *et al.*, 2022).

Chen *et al.*, (2025), en un estudio realizado con plantas de papa libres de virus (*Solanum tuberosum* L.) evaluaron diferentes combinaciones de intensidad lumínica y fotoperiodo bajo una misma integral diaria de luz. Entre los tratamientos estudiados se incluyó un fotoperiodo de 16,5 horas de luz y 7,5 horas de oscuridad, observándose un adecuado crecimiento vegetativo, desarrollo foliar y actividad fotosintética. Los autores señalaron que los fotoperiodos prolongados favorecen la acumulación de fotoasimilados y el crecimiento de las plantas, constituyendo una alternativa eficiente para la producción de material vegetal de calidad en sistemas de propagación controlada.

De manera similar, Askari et al. (2025) evaluaron el efecto de diferentes espectros lumínicos y fotoperiodos de 4, 8, 12 y 16 horas sobre plántulas de papa cultivadas in vitro. Los resultados demostraron que el fotoperiodo de 16 horas de luz promovió los mayores valores de longitud de tallo, área foliar, número de hojas y acumulación de biomasa seca, especialmente cuando se combinó con radiación rojo azul más rojo lejano. Los autores concluyeron que los periodos largos de iluminación favorecen la multiplicación y calidad de las plántulas destinadas a programas de micropropagación.

Es así que el fotoperiodo de 16 horas de luz y 8 horas de oscuridad es uno de los más utilizados en protocolos de cultivo in vitro de papa, debido a que proporciona condiciones favorables para el crecimiento y desarrollo de los explantes, permitiendo obtener plantas vigorosas y con mayor capacidad de multiplicación (Askari et al., 2025).

2.2.1.9. Fases de la micropropagación

Es una técnica de cultivo in vitro que permite la multiplicación masiva de plantas genéticamente idénticas en condiciones controladas desarrollada a través de una serie de fases bien definidas que aseguran la obtención de material vegetal sano y uniforme como se detalla en la figura 2.

En la Fase 0 se realiza la selección y preparación de la planta madre, garantizando el uso de material vegetal con buen estado fitosanitario y alto potencial regenerativo.

La Fase 1 comprende la desinfección del material vegetal y el establecimiento de un cultivo aséptico para eliminar contaminantes microbianos.

En la Fase 2 se lleva a cabo la introducción del explante en condiciones in vitro para su establecimiento en el medio de cultivo.

La Fase 3 se caracteriza por la multiplicación de brotes, mediante la estimulación de la proliferación celular y el aumento del número de explantes.

La Fase 4 corresponde al enraizamiento, etapa en la que se favorece la formación de raíces mediante el uso de medios de cultivo específicos, previo a la fase de aclimatación en condiciones ex vitro permitiendo así una producción eficiente, controlada y uniforme de plantas con características fitosanitarias adecuadas (Bidabadi & Jain, 2020).



Figura 2. Fases de la micropropagación

2.2.1.10. Segmentos Nodales

Esta se emplea en la micropropagación in vitro de plantas, debido a su alta eficiencia para la regeneración de brotes a partir de yemas axilares ya existentes que consiste en la utilización de fragmentos del tallo que contienen nudos, los cuales son colocados en medios de cultivo estériles con el fin de inducir la brotación y favorecer la posterior multiplicación de plántulas genéticamente uniformes, para lo cual se detalla la figura 3 (Askari et al., 2025).

Cada nudo intermedio ha demostrado una respuesta morfogénica eficiente en comparación con otros tipos de explantes, ya que presentan una mayor capacidad de regeneración y desarrollo de brotes. Esto permite una propagación rápida, controlada, así como altamente eficiente bajo condiciones in vitro, lo que lo convierte en una herramienta clave dentro de los sistemas de cultivo de tejidos vegetales (Shaheen et al., 2021).



Figura 3. Segmentos Nodales

2.2.1.11. Los explantes

Son porciones de tejido vegetal extraídas de una planta madre, que pueden corresponder a segmentos de tallo, hojas, meristemos o nudos, y representan el material inicial esencial para el establecimiento de cultivos in vitro. Destaca por la

capacidad de regenerar plantas completas gracias a la totipotencia celular para obtener individuos genéticamente idénticos al progenitor (Shaheen et al., 2021).

La selección del explante como se indica en la figura 4 es un aspecto que influye directamente en la eficiencia del establecimiento, la regeneración y la susceptibilidad a la contaminación del cultivo ya que el uso de segmentos nodales se ha generalizado debido a su alta capacidad de brotación axilar y a su menor riesgo de variación somaclonal, lo que incrementa la eficiencia del proceso de propagación vegetal bajo condiciones controladas. De acuerdo con Shaheen et al., (2021) estas características hacen que los explantes nodales sean una de las opciones efectivas para la micropropagación clonal de especies vegetales.



Figura 4. Explantes

2.2.2. Reguladores de crecimiento vegetal

Los reguladores de crecimiento vegetal, conocidos también como fitohormonas, son sustancias orgánicas producidas de forma natural por las plantas que actúan en concentraciones muy bajas, pero con un gran impacto en su desarrollo. Estos compuestos intervienen en la regulación de múltiples procesos fisiológicos, como el crecimiento, la división y diferenciación celular, la germinación de semillas y la floración, entre otros (Zahia et al., 2020).

Se producen en diferentes partes de la planta y pueden desplazarse hacia otros tejidos donde ejercen su acción, lo que permite coordinar de manera equilibrada el desarrollo general del organismo vegetal. En el ámbito agrícola, su importancia es considerable, ya que su uso o regulación contribuye a mejorar el rendimiento de los

cultivos, optimizar procesos metabólicos y ayudar a las plantas a adaptarse mejor a condiciones ambientales desfavorables (Zahia et al., 2020).

2.2.2.1. Thidiazuron (TDZ)

El thidiazuron (TDZ) es un regulador sintético del crecimiento vegetal perteneciente al grupo de las fenilureas, caracterizado por presentar una alta actividad citoquinínica indicado en la figura 5, cuya aplicación en sistemas de cultivo *in vitro* puede favorecer la proliferación y formación de brotes, por lo que constituye una herramienta de interés en los procesos de micropropagación. A pesar de que su estructura química no corresponde propiamente a la de las auxinas o citocininas, el TDZ puede ejercer respuestas fisiológicas asociadas con la acción de ambos grupos de reguladores, interviniendo en procesos fundamentales como la división celular, diferenciación y regeneración de tejidos vegetales (Erland et al., 2020).

De acuerdo con Erland et al. (2020), este es capaz de modificar el metabolismo endógeno de las plantas, actuando como un regulador altamente potente del desarrollo vegetal, especialmente en especies consideradas recalcitrantes para la micropropagación. Su aplicación ha demostrado ser fundamental para mejorar la eficiencia de los protocolos de cultivo *in vitro*, favoreciendo la formación de brotes y la regeneración de material vegetal en diversas especies.

Aunque estructuralmente no pertenece a las auxinas ni a las citocininas, el TDZ presenta una actividad biológica similar a las citocininas, ya que estimula la división celular, la diferenciación y la formación de brotes adventicios. Además, puede interactuar indirectamente con rutas hormonales de auxinas, lo que le permite inducir procesos complejos como la organogénesis directa e indirecta y la embriogénesis somática. En este sentido, los reguladores de crecimiento vegetal, incluyendo el TDZ, actúan como moduladores de señales hormonales que controlan el desarrollo y la diferenciación celular en plantas (Dick & VanderWeide, 2025).

A nivel fisiológico, el TDZ modifica el equilibrio hormonal endógeno, afectando la relación auxina/citocinina, lo cual es determinante en la inducción de estructuras organogénicas. Estudios recientes indican que este compuesto regula vías de señalización hormonal asociadas al crecimiento, promoviendo la multiplicación de brotes y la regeneración de tejidos en sistemas de cultivo controlado (Wang et al., 2025).

Asimismo, se ha reportado que el TDZ puede alterar la expresión de genes relacionados con la biosíntesis y degradación de citocininas, así como influir en la actividad de enzimas relacionadas con el metabolismo hormonal, lo que explica su alta potencia como regulador de crecimiento. Sin embargo, su uso requiere un manejo preciso de concentraciones, ya que dosis elevadas pueden provocar efectos fisiológicos adversos como hiperhidricidad, vitrificación o inhibición del crecimiento longitudinal de los brotes (Wei et al., 2025).

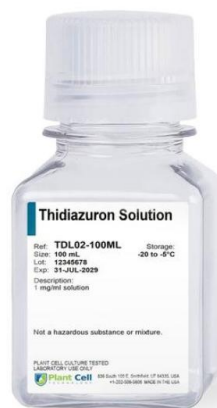


Figura 5. Thidiazuron (TDZ)

2.2.2.2. Giberelinas (GA3)

Indicado en la figura 6, estas son fitohormonas de naturaleza diterpenoide tetracíclica que desempeñan un papel fundamental en la regulación del crecimiento y desarrollo vegetal ya que participan en diversos procesos fisiológicos como la germinación de semillas, elongación del tallo, expansión de las hojas e inducción de la floración, influyendo en el comportamiento general de la planta (He et al., 2020).

Este es una de las formas más activas y relevantes dentro de este grupo hormonal en plantas superiores ya que interviene en la activación del crecimiento celular y en la regulación de etapas clave del desarrollo vegetal. Las giberelinas coordinan el metabolismo de las plantas para favorecer su adaptación a diferentes condiciones ambientales (He et al., 2020).

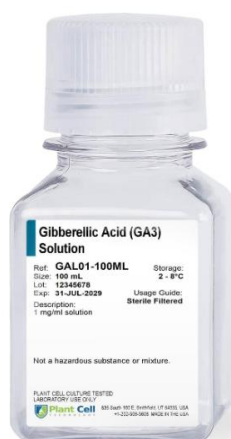


Figura 6. Ácido Giberélico (GA₃)

2.2.3. Interacción entre Thidiazuron y Giberelinas

Estas se relacionan con la regulación del crecimiento y la elongación celular siendo considerado un análogo funcional de las citocininas, puede influir en la inhibición del crecimiento longitudinal de los brotes al alterar el equilibrio hormonal interno de la planta, afectando especialmente la síntesis y actividad de giberelinas bioactivas como GA₃ (Borjas *et al.*, 2020).

Según Celikel *et al.*, (2021), la aplicación de TDZ puede reducir la expresión de genes asociados a la biosíntesis de giberelinas, lo que conlleva una disminución en la elongación de los tallos. No obstante, cuando se aplica GA₃ de manera complementaria, es posible contrarrestar parcialmente este efecto inhibitorio, favoreciendo la recuperación del crecimiento normal de la planta, En este sentido, se evidencia una interacción hormonal de tipo regulatorio y parcialmente antagonista entre TDZ y GA₃ durante el desarrollo vegetal (Borjas *et al.*, 2020).

El Thidiazuron (TDZ) es una fenilurea sustituida que presenta una potente actividad biológica similar a las citocininas. A nivel celular, el TDZ estimula de forma drástica la proliferación de brotes axilares y la callogénesis al inhibir con alta eficacia la actividad de la enzima citocinina oxidasa (CKX), provocando una rápida acumulación de citocininas endógenas. Sin embargo, su aplicación aislada o en concentraciones elevadas suele inducir fuerte estrés fisiológico, manifestándose en el enanismo de los brotes (acortamiento severo de entrenudos) y una alta incidencia de vitrificación o hiperhidricidad (Gautam *et al.*, 2024).

En este escenario, la interacción antagónica y complementaria con el ácido giberélico (GA₃) resulta imprescindible. Mientras el TDZ promueve la división celular

explosiva para generar una alta tasa de brotación, el GA3 actúa de manera sinérgica para restituir la calidad estructural del explante, promoviendo la elongación celular de los entrenudos y mitigando el efecto inhibitorio del crecimiento longitudinal. Esta dinámica hormonal equilibrada permite la obtención de microbrotes vigorosos, elongados y con alta viabilidad morfofisiológica en *Solanum tuberosum* L. (Gautam et al., 2024).

2.2.3.1. Hiperhidricidad

También conocida como vitrificación, es un desorden fisiológico frecuente en el cultivo in vitro de plantas que afecta negativamente el desarrollo normal de los explantes como se indica en la figura 7 que se caracteriza por un exceso de hidratación en los tejidos, lo que provoca anomalías morfológicas como tallos frágiles, hojas translúcidas, baja lignificación y alteraciones en el funcionamiento estomático. Como consecuencia, las plantas presentan una disminución en su capacidad de regeneración y, en casos severos, pueden llegar a morir o no adaptarse adecuadamente a condiciones ex vitro. Este problema está asociado a factores como la alta humedad dentro del recipiente de cultivo, desequilibrios hormonales y condiciones inadecuadas del medio de cultivo, Por ello, su control es fundamental para garantizar la calidad del material propagado en sistemas de micropropagación (Torres, 2021).



Figura 7. Hiperhidricidad

2.2.3.2. Formación de callos

Es una etapa fundamental en la biotecnología vegetal y el cultivo de tejidos, ya que es el punto de partida para la regeneración de plantas a partir de que se caracteriza por la dediferenciación de células vegetales maduras como se indica en la figura 8,

las cuales recuperan su capacidad de división celular cuando son cultivadas en un medio nutritivo suplementado con reguladores de crecimiento, especialmente auxinas como el 2,4-D. Bajo condiciones controladas in vitro, el callo puede ser de tipo friable o compacto, dependiendo de la especie y del equilibrio hormonal del medio de cultivo. La inducción de callos es importante en procesos como la organogénesis y la embriogénesis somática dado que permite la generación de tejidos indiferenciados capaces de regenerar brotes o raíces (Klimek et al., 2020).

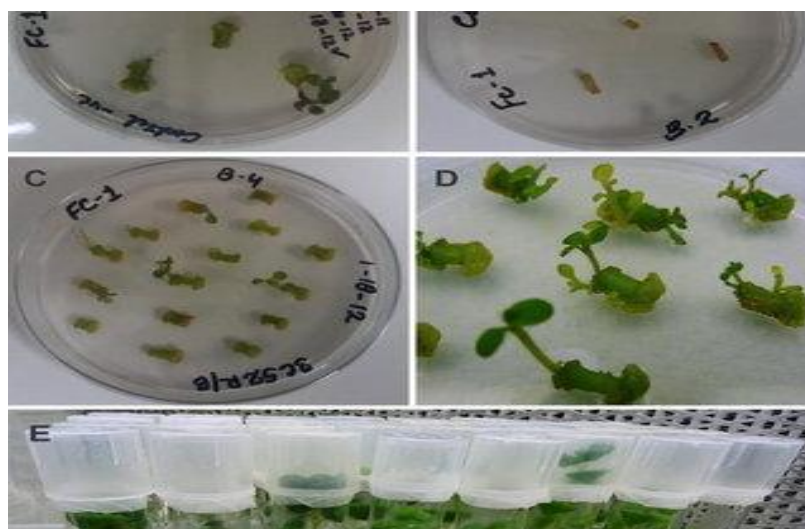


Figura 8. Formación de callos

III. METODOLOGÍA

3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO

3.1.1. Enfoque

Integra los enfoques tanto cuantitativo como cualitativo, mediante el primero se realizará la medición y análisis numérico de variables morfofisiológicas, así como de calidad del cultivo *in vitro*, tales como la longitud de brotes, número de brotes, número de nudos, diámetro de tallo, biomasa fresca, biomasa seca, porcentaje de materia seca e índice de calidad, las cuales serán evaluadas mediante estadística inferencial para determinar el efecto de los tratamientos aplicados.

Por otra parte, el enfoque cualitativo se fundamenta en la evaluación descriptiva de respuestas morfológicas y fisiológicas de los explantes, tales como el vigor de las plántulas, presencia de hiperhidricidad o formación de callos, permitiendo interpretar la calidad del desarrollo *in vitro* y la respuesta biológica del material vegetal bajo las condiciones de cultivo establecidas.

Integrar ambos enfoques permite un análisis más completo del comportamiento de los explantes de *Solanum tuberosum* L. variedad Superchola en condiciones de micropropagación.

3.1.2. Tipo de Investigación

La investigación es de tipo experimental porque se manipulan deliberadamente variables independientes relacionadas con las condiciones de cultivo *in vitro*, tales como el tipo de medio de cultivo, concentración de reguladores de crecimiento y condiciones ambientales para evaluar su efecto sobre el desarrollo morfofisiológico de los explantes de *Solanum tuberosum* L. variedad Superchola.

De igual forma se utilizó la investigación aplicada debido a que los resultados obtenidos buscan generar información técnica y soluciones prácticas orientadas a optimizar los protocolos de micropropagación, mejora de la calidad del material vegetal contribuyendo al desarrollo de sistemas eficientes de producción de plantas libres de patógenos en condiciones de laboratorio.

3.2. HIPÓTESIS O IDEA PARA DEFENDER

H1: Existen diferencias significativas en la interacción entre Thidiazuron (TDZ) y Giberelinas (GA_3) sobre las variables morfofisiológicas de la papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad Superchola en condiciones de cultivo *in vitro*.

H0: No existen diferencias significativas en la interacción entre Thidiazuron (TDZ) y Giberelinas (GA_3) sobre las variables morfofisiológicas de la papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad Superchola en condiciones de cultivo *in vitro*.

3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.3.1. Definición de las variables

Variable Independiente

Interacción entre Thidiazuron (TDZ) y Giberelinas (GA_3): es la aplicación combinada de dos reguladores de crecimiento vegetal, Thidiazuron (TDZ) y ácido giberélico (GA_3), en diversas concentraciones para evaluar su efecto sobre la micropropagación *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. variedad Superchola, Esta interacción hormonal influye en los procesos de organogénesis, elongación celular, multiplicación de brotes y calidad morfofisiológica de los explantes cultivados en condiciones controladas.

Los niveles de estudio son:

TDZ (Thidiazuron):

Dosis baja: 0 mg/L

Dosis media: 0,05 mg/L

Dosis alta: 0,10 mg/L

GA_3 (Giberelinas):

- Dosis baja: 0 mg/L
- Dosis media: 0,10 mg/L

- Dosis alta: 0,25 mg/L

Tratamiento control: Medio MS sin reguladores de crecimiento,

Variable Dependiente

Respuesta morfofisiológica de *Solanum tuberosum* L. variedad Superchola en cultivo *in vitro*.

Esta variable macro mide el efecto de la interacción TDZ-GA₃ en el desarrollo y calidad de los explantes cultivados *in vitro*, evaluando cambios morfológicos, fisiológicos además de calidad del material vegetal. Se estructura en las siguientes dimensiones:

1. Desarrollo morfológico

- Longitud de brotes: crecimiento del explante (cm).
- Número de brotes: cantidad de brotes generados por explante.
- Número de nudos: formación de entrenudos en el tallo.
- Diámetro de tallo: grosor del tallo principal (mm).

2. Biomasa y calidad fisiológica

- Biomasa fresca: peso del explante recién cosechado (g).
- Biomasa seca: peso después de secado (g).
- Porcentaje de materia seca: relación entre biomasa seca y fresca (%).
- Índice de calidad: relación integrada entre crecimiento, vigor y uniformidad del explante.

3. Respuesta fisiológica y morfogénica

- Vigor de plántula: evaluación del desarrollo general (deficiente, regular, excelente).
- Hiperhidricidad: presencia de vitrificación o tejidos anormales (% o presencia/ausencia).
- Formación de callos: aparición de tejido indiferenciado en el explante (presencia/ausencia).

3.3.2. Operacionalización de las variables

En la tabla 2 se describe a continuación la operacionalización de Variables

Tabla 2. Operacionalización de Variables

Variable	Dimensión	Indicadores	Técnicas	Instrumentos
Independiente	TDZ (Thidiazuron)	Concentraciones de TDZ (0,00, 0,05, 0,10 mg/L) utilizadas en el medio de cultivo.	Preparación y suplementación del medio de cultivo in vitro.	Balanza analítica, micropipetas, material de laboratorio, medio MS.
	(Ácido giberélico) GA ₃	Concentraciones de GA ₃ (0,00, 0,10, 0,25 mg/L) utilizadas en el medio de cultivo.	Preparación y suplementación del medio de cultivo in vitro.	Balanza analítica, micropipetas, material de laboratorio, medio MS.
Dependiente	Longitud de la planta	Altura de la planta a los 7, 14, 21 y 28 días expresada en centímetros (cm),	Medición directa de las plántulas.	Regla milimétrica.
	Número de brotes	Cantidad de brotes formados por explante a los 7, 14, 21 y 28 días.	Conteo manual.	Computadora
	Número de nudos	Cantidad de nudos desarrollados por planta a los 7, 14, 21 y 28 días.	Conteo visual directo,	Computadora
	Callogénesis	Presencia o ausencia de callo y grado de formación de callo al día 28.	Observación visual	Computador y lupa y fotografías.
	Hiperhidricidad	Porcentaje de explantes con síntomas de vitrificación al día 28.	Evaluación visual	Libreta de campo y celular,
	Diámetro del tallo	Grosor del tallo al día 28 extrayendo los explantes del medio de cultivo, expresado en milímetros (mm).	Medición directa,	Calibrador digital (pie de rey),
	Vigor	Escala visual de desarrollo vegetativo de las plantas al día 28 en una escala de 1 al 3. 1= Deficiente 2=Regular 3=Excelente	Observación y clasificación visual	Escala de valoración y libreta de campo
	Índice de calidad	Relación entre variables morfológicas y biomasa de la planta al día 28.	Cálculo matemático a partir de la longitud de la planta dividido por el número de brotes.	Calculadora y hoja de cálculo Excel.
	Porcentaje de materia seca	Relación entre biomasa seca y biomasa fresca expresada en porcentaje en el día 28.	Pesaje antes y después del secado	Hoja de cálculo de Excel
	Biomasa fresca	Peso fresco total de la planta (g) en el día 28.	Pesaje directo después sustraer las plántulas del medio de cultivo.	Balanza analítica
	Biomasa seca	Peso seco total de la planta (g) después del secado tomando en cuenta que se lo coloco en la estufa por 48 horas a 60° C.	Pesaje posterior al secado en estufa.	Estufa de secado y balanza analítica.

3.4. MÉTODOS UTILIZADOS

3.4.1. Área de estudio

El estudio se realizó en la provincia del Carchi, cantón Tulcán, en las instalaciones de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi ejecutándose en el laboratorio 201 de microbiología, un espacio equipado para el desarrollo de investigaciones con condiciones controladas, con un fotoperiodo de 16 horas luz y 8 horas de oscuridad así como una temperatura de 20 – 22°C lo cual aseguró la estabilidad del experimento para reducir posibles sesgos ocasionados por variaciones ambientales que favorecen la consistencia de los resultados obtenidos durante la investigación.

3.4.2. Tratamientos del diseño experimental

Para el desarrollo de la presente investigación se empleó un diseño experimental completamente al azar (DCA) con arreglo factorial 3x3 correspondiente a la interacción entre diferentes concentraciones de Thidiazuron (TDZ) y ácido giberélico (GA3) en la micropropagación in vitro de *Solanum tuberosum* L. variedad Superchola,

El estudio estuvo conformado por dos factores experimentales: el Factor A correspondiente a las concentraciones del TDZ y el Factor B relacionado con las concentraciones de GA3, La combinación de ambos factores generó un total de nueve tratamientos experimentales evaluados bajo condiciones controladas de laboratorio.

Cada tratamiento estuvo constituido por 20 repeticiones con 4 explantes utilizando segmentos nodales establecidos en medio de cultivo Murashige & Skoog (MS) suplementado con los respectivos reguladores de crecimiento, como se indica en la tabla 3.

Tabla 3. Tratamientos del diseño experimental

Tratamientos	Factor A: TDZ (mg/L)	Factor B: GA ₃ (mg/L)	Repeticiones de Tratamientos	Total, de explantes por tratamiento
T1	0,0	0,0	20	80
T2	0,0	0,1	20	80
T3	0,0	0,25	20	80
T4	0,05	0,0	20	80
T5	0,05	0,1	20	80
T6	0,05	0,25	20	80
T7	0,1	0,0	20	80
T8	0,1	0,1	20	80
T9	0,1	0,25	20	80

3.4.3. Características del diseño experimental

Para el desarrollo de la presente investigación se empleó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo factorial 3×3 , correspondiente a la interacción entre tres concentraciones de Thidiazuron (TDZ) y tres concentraciones de ácido giberélico (GA_3) en la micropropagación in vitro de *Solanum tuberosum* L. variedad Superchola. El experimento estuvo constituido por nueve tratamientos distribuidos en 20 repeticiones experimentales por tratamiento obteniéndose un total de 180 unidades experimentales. Cada unidad experimental estuvo conformada por un frasco de vidrio conteniendo cuatro explantes nodales establecidos en medio de cultivo Murashige & Skoog (MS) suplementado con las respectivas concentraciones hormonales. En total se utilizaron 720 explantes nodales durante la investigación.

Los frascos fueron establecidos bajo condiciones controladas dentro del área de crecimiento del laboratorio, manteniendo temperatura, fotoperiodo y humedad relativa adecuadas para el desarrollo in vitro de las microplántulas. La distribución de los tratamientos se realizó de forma aleatoria dentro de la cámara de crecimiento con el propósito de minimizar posibles efectos asociados a variaciones microambientales de luz, temperatura o ubicación de los frascos.

Para la evaluación de las variables morfofisiológicas y fisiológicas se consideraron los explantes establecidos en cada unidad experimental, registrándose variables relacionadas con multiplicación, elongación, vigor morfológico, biomasa, hiperhidricidad y formación de callo.

A continuación, se detallan las características técnicas consolidadas del experimento en la tabla 4:

Tabla 4. Características del diseño experimental

Características	Dimensiones / Cantidad
Diseño estadístico	DCA con arreglo factorial 3×3
Tratamientos	9
Repeticiones	20
Unidades experimentales totales	180
Explantes por unidad experimental	4
Total, de explantes por tratamiento	720

3.4.4. Distribución y características del experimento

Para el desarrollo de la presente investigación se estableció un Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo factorial 3×3 , correspondiente a la interacción entre tres concentraciones de Thidiazuron (TDZ) y tres concentraciones de

ácido giberélico (GA_3) en la micropropagación in vitro de *Solanum tuberosum* L. variedad Superchola.

Las 180 unidades experimentales, producto de los nueve tratamientos evaluados y las 20 repeticiones por tratamiento, fueron distribuidas aleatoriamente dentro del área de crecimiento in vitro de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi (UPEC). La aleatorización tuvo como finalidad minimizar posibles variaciones ocasionadas por factores ambientales dentro de la cámara o área de crecimiento, tales como diferencias de iluminación, temperatura, humedad relativa o posición de los frascos durante el cultivo in vitro.

Cada unidad experimental estuvo conformada por un frasco de vidrio conteniendo cuatro explantes nodales establecidos en medio de cultivo Murashige & Skoog (MS) suplementado con las respectivas concentraciones hormonales de TDZ y GA_3 según el tratamiento correspondiente. Los frascos fueron identificados individualmente mediante códigos y etiquetas que permitieron el seguimiento y control experimental durante todo el periodo de evaluación.

La distribución de los tratamientos dentro del área de crecimiento se realizó de forma completamente aleatorizada, procurando mantener uniformidad en las condiciones ambientales y evitar interferencias entre tratamientos como se indica en la figura 9, asimismo, las vitroplántulas fueron mantenidas bajo condiciones controladas de temperatura, fotoperiodo y humedad relativa, garantizando un adecuado desarrollo fisiológico y morfogénico de los explantes durante la fase de multiplicación in vitro.

Este diseño experimental permitió evaluar de manera precisa el efecto de las diferentes combinaciones hormonales sobre las variables morfológicas, fisiológicas y organogénicas estudiadas en la investigación.



Figura 9. Distribución del experimento

3.4.5. Población y muestra de la investigación

La población experimental de la presente investigación estuvo conformada por 720 explantes de papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad Superchola, establecidos bajo condiciones controladas de cultivo in vitro. Los explantes fueron distribuidos en 9 tratamientos experimentales, con 20 repeticiones por tratamiento, con el objetivo de evaluar la respuesta del material vegetal frente a la aplicación de diferentes concentraciones hormonales durante el proceso de micropropagación.

Cada unidad experimental estuvo constituida por 4 explantes, los cuales fueron cultivados en condiciones homogéneas de laboratorio para asegurar uniformidad en el desarrollo y minimizar la influencia de factores externos. La distribución del material vegetal permitió realizar el seguimiento del comportamiento de los explantes durante todo el periodo de evaluación.

Muestra:

Para la recolección y análisis de datos se empleó un muestreo censal, considerando como muestra la totalidad de la población experimental; por lo tanto, se evaluaron los 720 explantes establecidos en el ensayo. Esta metodología se adoptó debido a que el tamaño de la población permitió efectuar un monitoreo completo de todas las unidades experimentales y obtener información representativa de cada tratamiento.

Durante la evaluación se consideraron únicamente los explantes que mantuvieron condiciones adecuadas de crecimiento y viabilidad durante el desarrollo del experimento. Debido a que el estudio se realizó bajo condiciones controladas de laboratorio, no fue necesario aplicar criterios de exclusión asociados al efecto de borde, permitiendo que las diferencias observadas respondan exclusivamente al efecto de los tratamientos hormonales sobre el proceso de micropropagación in vitro de la variedad Superchola.

3.4.6. Procedimientos

1. Obtención y selección del material vegetal

El material vegetal utilizado en la presente investigación correspondió a plantas madre de *Solanum tuberosum* L. variedad Superchola obtenidas del Programa Nacional de Raíces y Tubérculos del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP Estación Experimental Santa Catalina, ubicada en la ciudad de Quito, Ecuador. Las plantas fueron entregadas bajo condiciones sanitarias adecuadas para su establecimiento y multiplicación en laboratorio.

Posteriormente, el material vegetal fue trasladado al Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi (UPEC) donde se realizaron los procesos de selección y acondicionamiento del material vegetal bajo condiciones asépticas. Preparación del medio de cultivo.

Se preparó el medio de cultivo basal Murashige & Skoog (MS) utilizando las sales minerales y vitaminas correspondientes a la formulación estándar, Para la preparación general del medio se elaboraron 800 mL, incorporando sacarosa como fuente de carbono, agar como agente gelificante y ppm.

Posteriormente, el pH del medio fue ajustado a 5,8 y el medio preparado fue esterilizado en autoclave a 121 °C y 15 psi durante 20 minutos. Una vez esterilizado y enfriado el medio de cultivo, se adicionaron las diferentes concentraciones hormonales de Thidiazuron (TDZ) y ácido giberélico (GA₃) correspondientes a cada tratamiento experimental.

La incorporación de las hormonas se realizó posteriormente al proceso de autoclavado con la finalidad de evitar la degradación de los reguladores de crecimiento por efecto de la temperatura. Finalmente, el medio de cultivo fue distribuido bajo condiciones asépticas dentro de la cámara de flujo laminar,

colocando aproximadamente 40 ml en cada frasco de vidrio para el establecimiento de los explantes nodales. Esterilización de materiales y medios.

Los frascos de vidrio, instrumentos de disección y materiales de laboratorio fueron esterilizados en autoclave a 121 °C y 15 psi durante 20 minutos para garantizar condiciones asépticas durante el establecimiento de los explantes. Asimismo, todas las manipulaciones se realizaron bajo cámara de flujo laminar previamente desinfectada con alcohol al 70 %.

2. Siembra de los explantes

La siembra se realizó bajo condiciones asépticas dentro de la cámara de flujo laminar, En cada frasco de vidrio se establecieron cuatro segmentos nodales sobre el medio de cultivo correspondiente según el tratamiento evaluado. Posteriormente, los frascos fueron sellados e identificados mediante códigos y etiquetas para facilitar el seguimiento experimental.

3. Distribución de los tratamientos

Los frascos correspondientes a los nueve tratamientos fueron distribuidos completamente al azar dentro del área de crecimiento in vitro. Cada tratamiento estuvo conformado por 20 repeticiones, obteniéndose un total de 180 unidades experimentales, La aleatorización permitió minimizar posibles variaciones ambientales dentro de la estantería.

4. Condiciones de crecimiento in vitro

Las unidades experimentales fueron mantenidas en estanterías de crecimiento bajo condiciones controladas de laboratorio, con una temperatura de 20 a 22 °C, fotoperiodo de 16 horas luz y 8 horas oscuridad. Estas condiciones permitieron favorecer el desarrollo fisiológico y morfogénico de las vitroplántulas durante la fase de multiplicación in vitro. Monitoreo y evaluación de las vitroplántulas.

Durante el periodo experimental se realizaron evaluaciones periódicas del desarrollo de las vitroplántulas para registrar las variables morfológicas, fisiológicas y organogénicas establecidas en la investigación. Las observaciones permitieron identificar diferencias en vigor, elongación, formación de brotes, hiperhidricidad y callogénesis entre tratamientos.

3.4.7. Variables evaluadas

Para la evaluación del efecto de las diferentes concentraciones hormonales sobre la micropropagación in vitro de *Solanum tuberosum* L. variedad Superchola, se registraron variables morfológicas, fisiológicas y organogénicas en las vitroplántulas desarrolladas durante el experimento.

3.4.7.1. Número de brotes

El número de brotes se determinó mediante el conteo directo de los brotes generados por cada explante establecido en las unidades experimentales. Las evaluaciones se realizaron a los 7, 14, 21 y 28 días después de la siembra in vitro, con la finalidad de monitorear la capacidad de multiplicación inducida por las diferentes concentraciones de Thiazuron (TDZ) y ácido Giberélico (GA_3). Esta variable permitió evaluar la respuesta organogénica y el potencial de multiplicación de las vitroplántulas desarrolladas bajo condiciones in vitro.

3.4.7.2. Número de nudos

El número de nudos se cuantificó mediante observación directa en cada vitroplántula desarrollada dentro de los tratamientos experimentales. Las evaluaciones se efectuaron a los 7, 14, 21 y 28 días de cultivo in vitro. Esta variable permitió determinar el desarrollo vegetativo de las vitroplántulas y estimar el potencial de propagación futura mediante segmentos nodales.

3.4.7.3. Longitud de vitroplántula (cm)

La longitud de las vitroplántulas se midió utilizando una regla milimetrada, registrando la distancia desde la base del tallo hasta el ápice de crecimiento. Las mediciones se realizaron a los 7, 14, 21 y 28 días después del establecimiento in vitro. Esta variable permitió evaluar el efecto de las diferentes concentraciones hormonales sobre la elongación y crecimiento vegetal de las vitroplántulas.

3.4.7.4. Diámetro de tallo (mm)

El diámetro del tallo fue medido utilizando un calibrador Vernier en la parte media de cada vitroplántula. La evaluación se realizó únicamente a los 28 días de cultivo in vitro. Esta variable se utilizó como indicador del vigor fisiológico y la robustez estructural de las vitroplántulas desarrolladas bajo las diferentes combinaciones hormonales,

3.4.7.5. Biomasa fresca (g)

La biomasa fresca se determinó a los 28 días después del establecimiento in vitro mediante el pesaje inmediato de las vitroplántulas utilizando una balanza analítica de precisión. Previamente, las vitroplántulas fueron extraídas cuidadosamente del medio de cultivo para eliminar residuos de agar adheridos a los tejidos vegetales, Esta variable permitió evaluar la acumulación de biomasa vegetal producida bajo cada tratamiento experimental.

3.4.7.6. Biomasa seca (g)

Para la determinación de biomasa seca, las vitroplántulas evaluadas fueron extraídas cuidadosamente de los frascos a los 28 días después del establecimiento in vitro, Posteriormente, los explantes correspondientes a cada unidad experimental fueron colocados en fundas de papel utilizadas para secado en estufa.

Las muestras fueron sometidas a secado en estufa a temperatura de 60°C por 48 horas, hasta eliminar el contenido de humedad presente en los tejidos vegetales. Finalizado el proceso de secado, se realizó el pesaje utilizando una balanza analítica de precisión para obtener el valor de biomasa seca correspondiente a cada tratamiento experimental.

Esta variable permitió determinar la cantidad real de materia orgánica acumulada en las vitroplántulas desarrolladas bajo condiciones in vitro.

3.4.7.7. Porcentaje de materia seca (%)

El porcentaje de materia seca se calculó posteriormente a la obtención de los valores de biomasa fresca y biomasa seca mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Materia seca (\%)} = \left(\frac{\text{Biomasa seca}}{\text{Biomasa fresca}} \right) \times 100$$

Esta variable permitió evaluar el grado de organización estructural, acumulación de tejidos y estabilidad fisiológica de las vitroplántulas obtenidas bajo las diferentes combinaciones hormonales durante la fase de multiplicación in vitro.

3.4.7.8. Índice de vigor morfológico (IVM)

El índice de vigor morfológico se determinó mediante evaluación visual de las vitroplántulas a los 28 días después del establecimiento in vitro. Para esta evaluación se consideraron características como coloración, desarrollo estructural, vigor general, uniformidad y apariencia fisiológica de las vitroplántulas obtenidas en cada tratamiento experimental.

La evaluación del vigor se realizó utilizando una escala cualitativa de tres categorías:

1 = Bajo vigor: vitroplántulas con escaso desarrollo, coloración deficiente o alteraciones fisiológicas visibles.

2 = Vigor intermedio: vitroplántulas con desarrollo moderado y características fisiológicas aceptables.

3 = Alto vigor: vitroplántulas con buen desarrollo estructural, coloración uniforme y adecuada apariencia fisiológica.

Posteriormente, los datos obtenidos fueron utilizados para determinar el índice de vigor morfológico (IVM) correspondiente a cada tratamiento experimental.

3.4.7.9. Incidencia de hiperhidricidad (%)

La hiperhidricidad se evaluó a los 28 días de cultivo in vitro mediante observación visual de las vitroplántulas que presentaron tejidos translúcidos, acuosos, quebradizos o con apariencia vítrea, características típicas de este desorden fisiológico.

Los resultados fueron expresados como porcentaje de explantes afectados por tratamiento experimental, permitiendo determinar el efecto de las diferentes concentraciones hormonales sobre la estabilidad fisiológica de los tejidos cultivados in vitro.

3.4.7.10. Formación de callo (Callogénesis) (%)

La formación de callo se evaluó a los 28 días después del establecimiento in vitro mediante observación directa de la presencia de tejido calloso en la base de los explantes nodales.

Los resultados fueron expresados como porcentaje de explantes con presencia de callo por tratamiento experimental. Esta variable permitió evaluar la respuesta organogénica inducida por las diferentes combinaciones hormonales y determinar la incidencia de procesos de dediferenciación celular durante el cultivo in vitro.

3.4.7.11. Índice de calidad

El índice de calidad se determinó posteriormente al registro de todas las variables morfológicas evaluadas durante la investigación. Para su cálculo se utilizaron los datos correspondientes a la longitud de vitroplántula y número de brotes obtenidos a los 28 días de cultivo in vitro.

El índice fue calculado mediante la relación entre la longitud de la vitroplántula y el número de brotes utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Índice de calidad} = \left(\frac{\text{Longitud de la planta}}{\text{Número de brotes (día 28)}} \right)$$

Esta variable permitió evaluar de manera integral la calidad morfológica y fisiológica de las vitroplántulas obtenidas bajo las diferentes combinaciones hormonales, considerando simultáneamente el crecimiento vegetal y la capacidad de multiplicación durante la fase de micropropagación in vitro.

3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico se realizó mediante el software RStudio, utilizando un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial 3×3 , correspondiente a la interacción de tres concentraciones de Thidiazuron (TDZ: 0; 0,05 y 0,10 mg/L) y tres concentraciones de Giberelinas (GA_3 : 0; 0,10 y 0,25 mg/L), conformando un total de nueve tratamientos evaluados en vitroplántulas de *Solanum tuberosum* L. variedad Superchola. Para las variables cuantitativas relacionadas con el crecimiento y desarrollo morfológico, como longitud de planta, número de brotes, número de nudos, diámetro de tallo, biomasa fresca, biomasa seca, porcentaje de materia seca e índice de calidad, se verificaron los supuestos de normalidad mediante Shapiro-Wilk y homogeneidad de varianzas mediante Levene.

Las variables que cumplieron los supuestos fueron analizadas mediante ANOVA de dos factores ($TDZ \times GA_3$) y, cuando se presentaron diferencias significativas, se aplicó la prueba de Tukey. En aquellas variables que no cumplieron los supuestos se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, complementada con ajuste de Bonferroni. Para las variables cualitativas y ordinales, como vigor, hiperhidricidad y formación de callos, se aplicaron pruebas estadísticas de acuerdo con su naturaleza, incluyendo Kruskal-Wallis y modelos lineales generalizados (GLM). Los resultados se presentaron

mediante tablas y gráficos, considerando $p < 0,05$ como nivel de significancia estadística para determinar diferencias entre los tratamientos hormonales.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Variable longitud de brotes

El análisis estadístico mediante ANOVA detallado en la tabla 5 se demostró diferencias entre los tratamientos evaluados para la variable longitud de brotes en los diferentes tiempos de evaluación. A los 7 días (D7), se encontraron diferencias altamente significativas para GA₃ y la interacción TDZ × GA₃ ($p < 0,001$), mientras que TDZ no presentó efecto significativo ($p > 0,05$). En D14, D21 y D28, tanto TDZ, GA₃ como su interacción mostraron diferencias altamente significativas ($p < 0,001$), mostrando un efecto combinado de los reguladores de crecimiento sobre la longitud de los explantes. Para establecer las diferencias entre tratamientos se aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey ($p < 0,05$).

Tabla 5. Efecto de las diferentes concentraciones de TDZ y GA₃ sobre la longitud de brotes en explantes evaluados a los 7, 14, 21 y 28 días de cultivo.

Tratamientos	Dosis (TDZ+ GA3)	Long_D7	Grupo (D7)	Long_D14	Grupo (D14)	Long_21	Grupo (D21)	Long_28	Grupo (D28)
T1	0,0 TDZ 0,0 GA3	2,21	bcd	2,95	bc	3,82	bc	4,21	bcd
T2	0,0 TDZ 0,1 GA3	2,15	bcd	2,82	cd	3,43	c	3,74	d
T3	0,0 TDZ 0,25 GA3	2,15	bcd	2,73	cd	3,50	c	3,91	cd
T4	0,05 TDZ 0,0 GA3	1,76	de	2,82	cd	3,52	c	3,73	d
T5	0,05 TDZ 0,1 GA3	2,04	cd	2,97	bc	3,74	bc	4,03	cd
T6	0,05 TDZ 0,25 GA3	2,90	a	4,00	a	4,61	ab	5,22	ab
T7	0,1 TDZ 0,0 GA3	1,45	e	2,16	d	3,14	c	4,01	cd
T8	0,1 TDZ 0,1 GA3	2,66	ab	3,96	a	4,98	a	5,59	a
T9	0,1 TDZ 0,25 GA3	2,43	abc	3,63	ab	4,49	ab	4,84	abc

Nota. Medias seguidas por letras iguales dentro de cada tiempo de evaluación no presentan diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, según la prueba de comparación múltiple de Tukey posterior al análisis de varianza (ANOVA) ($p < 0,05$).

Para la variable longitud de brotes, fue observado un comportamiento diferencial entre tratamientos a lo largo del tiempo de evaluación. A los 7 días (D7), el tratamiento T6 presentó la mayor longitud promedio de brotes (2,90), ubicándose en el grupo de mayor significancia estadística (grupo "a"), seguido por T8 con 2,66 (grupo "ab"). Por su parte, T7 registró el menor valor (1,45), diferenciándose estadísticamente en el grupo inferior ("e"), lo que muestra un efecto limitado del TDZ cuando no se combina con GA₃. A los 14 días (D14), los tratamientos T6 (4,00) y T8 (3,96) mantuvieron los mayores valores de longitud de brotes, agrupándose en el rango superior de significancia (grupo "a"), mientras que T7 siguió revelando el menor crecimiento (2,16), ubicándose en el grupo "d". Esto sugiere que las combinaciones de TDZ y GA₃ favorecieron el crecimiento longitudinal de los explantes durante esta etapa. A los 21 días (D21), el tratamiento T8 destacó como el de mayor respuesta, alcanzando una longitud promedio de 4,98 y posicionándose en el grupo de mayor significancia ("a"), seguido por T6 (4,61) y T9 (4,49), ambos en el grupo "ab". Por el contrario, T7 presentó nuevamente el valor más bajo (3,14), permaneciendo en el grupo de menor respuesta ("c"). A los 28 días (D28), T8 registró el mayor valor promedio de longitud de brotes (5,59), ubicándose en el grupo estadísticamente superior ("a"), seguido de T6 (5,22) en el grupo "ab". Los tratamientos T2 (3,74) y T4 (3,73) mostraron los menores valores, agrupándose en el rango inferior ("d"). Esto muestra que las combinaciones de TDZ y GA₃, particularmente 0,10 mg/L TDZ + 0,10 mg/L GA₃ y 0,05 mg/L TDZ + 0,25 mg/L GA₃, originaron un mayor crecimiento longitudinal de los brotes durante el periodo de cultivo.

4.1.2. Variable Número de Brotes

El análisis estadístico general detallado en la tabla 6 mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis mostró diferencias entre los tratamientos evaluados para la variable número de brotes a los 21 y 28 días de cultivo ($p < 0,001$). La aplicación de esta prueba fue necesaria debido a que los datos no cumplieron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, determinados por medio de las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente.

Tabla 6. Efecto de los tratamientos sobre el número de brotes (D21 y D28) en micro plántulas evaluadas bajo diferentes concentraciones de TDZ y GA₃.

Tratamientos Dosis (TDZ + GA ₃)		Brotes D_21	Grupo (D21)	Brotes D_28	Grupo (D28)
T1	0,0 TDZ - 0,0 GA ₃	1,01	c	1,14	bcd
T2	0,0 TDZ - 0,1 GA ₃	1,05	bc	1,10	cd
T3	0,0 TDZ - 0,25 GA ₃	1,09	bc	1,23	bcd
T4	0,05 TDZ - 0,0 GA ₃	1,06	bc	1,19	bcd
T5	0,05 TDZ - 0,1 GA ₃	1,26	ab	1,48	ab
T6	0,05 TDZ - 0,25 GA ₃	1,49	a	1,75	a
T7	0,1 TDZ - 0,0 GA ₃	1,03	c	1,05	d
T8	0,1 TDZ - 0,1 GA ₃	1,21	ab	1,41	ab
T9	0,1 TDZ - 0,25 GA ₃	1,16	abc	1,38	abc

Nota. Medias seguidas por letras iguales dentro de cada tiempo de evaluación no difieren estadísticamente según la prueba de Kruskal-Wallis con ajuste de Bonferroni ($p > 0,05$).

A los 21 días de evaluación (D21), el tratamiento T6 (0,05 mg/L TDZ + 0,25 mg/L GA₃) presentó el mayor promedio de brotes (1,49), situándose en el grupo estadístico superior (a), mostrando un efecto favorable de esta combinación hormonal sobre la inducción de brotes. De igual forma, los tratamientos T5 (0,05 mg/L TDZ + 0,10 mg/L GA₃) y T8 (0,10 mg/L TDZ + 0,10 mg/L GA₃) mostraron valores relativamente altos (1,26 y 1,21 brotes, respectivamente), sin diferencias significativas con el tratamiento superior al compartir el grupo (ab). Por su parte, los tratamientos T1 (0,0 TDZ + 0,0 GA₃) y T7 (0,10 mg/L TDZ + 0,0 mg/L GA₃) registraron los menores promedios (1,01 y 1,03 brotes, respectivamente), lo que le ubica en el grupo estadístico inferior (c).

A los 28 días de evaluación (D28), existió un aumento general en el número de brotes en la mayoría de los tratamientos. El tratamiento T6 (0,05 mg/L TDZ + 0,25 mg/L GA₃) mantuvo el mejor desempeño con un promedio de 1,75 brotes, perteneciendo al grupo estadístico superior (a). Los tratamientos T5 (0,05 mg/L TDZ + 0,10 mg/L GA₃) y T8 (0,10 mg/L TDZ + 0,10 mg/L GA₃) presentaron promedios de 1,48 y 1,41 brotes, respectivamente, agrupándose estadísticamente en el grupo (ab). Por otro lado, el tratamiento T7 (0,10 mg/L TDZ + 0,0 mg/L GA₃) mostró el valor más bajo (1,05 brotes), lo que le sitúa en el grupo estadístico inferior (d), indicando un menor efecto en la inducción de brotes cuando el TDZ se aplicó sin giberelina.

Estos hallazgos sugieren que la interacción entre TDZ y GA₃, particularmente la combinación de 0,05 mg/L TDZ + 0,25 mg/L GA₃ (T6), favoreciendo significativamente la formación de brotes durante la micropropagación *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. variedad Superchola, lo que muestra un efecto positivo de la suplementación hormonal combinada sobre la capacidad regenerativa de los explantes.

4.1.3. Variable Número de Nudos

Se determinó la existencia de diferencias altamente significativas ($p < 0,001$) entre los medios de cultivo evaluados para la variable número de nudos en las diferentes fechas de evaluación (D7, D14, D21 y D28) como se plantea en la tabla 7. Debido a que los datos no cumplieron completamente los supuestos de normalidad y, en algunos casos, tampoco el de homogeneidad de varianzas, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, seguida de comparaciones múltiples con ajuste de Bonferroni para identificar los tratamientos responsables de estas diferencias.

Tabla 7. Efecto de los tratamientos sobre el número de nudos en microplántulas de *Solanum tuberosum* L. a los 7, 14, 21 y 28 días de cultivo.

Tratamientos Dosis (TDZ + GA3)	Nudos_D7	Grupo (D7)	Nudos_D14	Grupo (D14)	Nudos_21	Grupo (D21)	Nudos_28	Grupo (D28)
T1 0,0 TDZ 0,0 GA3	2,00	a	3,25	a	4,50	b	5,25	ab
T2 0,0 TDZ 0,1 GA3	1,38	cd	2,75	a	3,75	cd	4,13	d
T3 0,0 TDZ 0,25 GA3	1,13	d	2,00	b	3,00	e	3,25	e
T4 0,05 TDZ 0,0 GA3	1,75	ab	2,88	a	4,00	bc	4,75	bc
T5 0,05 TDZ 0,1 GA3	1,75	abc	2,75	a	3,75	cd	4,00	cd
T6 0,05 TDZ 0,25 GA3	1,75	abc	2,75	a	3,50	de	4,00	d
T7 0,1 TDZ 0,0 GA3	1,25	d	3,00	a	5,38	a	6,50	a
T8 0,1 TDZ 0,1 GA3	1,50	bcd	3,00	a	4,00	bc	4,25	d
T9 0,1 TDZ 0,25 GA3	1,50	bcd	3,00	a	4,00	bc	4,25	d

Nota. Letras diferentes en una misma columna indican diferencias estadísticas significativas según la prueba de comparaciones múltiples con ajuste de Bonferroni posterior a Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).

Al analizar los grupos de significancia para el número de nudos a los 7 días de cultivo, se observó que el tratamiento T1 se posicionó en el rango superior de rendimiento (grupo 'a'), registrando el mayor valor numérico con una mediana de 2,00 nudos. Este comportamiento fue compartido parcialmente con el tratamiento T4, ubicado en el grupo 'ab', así como con T5 y T6, los cuales presentaron un desempeño intermedio (grupo 'abc'). Por su parte, los tratamientos T3 y T7 mostraron el menor desempeño, ubicándose en el grupo inferior de significancia estadística (grupo 'd') con medianas de 1,13 y 1,25 nudos, respectivamente lo que muestra que, a lo largo

de la primera semana de cultivo, la ausencia de reguladores de crecimiento favoreció una mayor formación inicial de nudos.

Para la variable número de nudos a los 14 días de cultivo, el comportamiento de los tratamientos indicó menor diferenciación estadística ya que el tratamiento presentó el mayor valor numérico con una mediana de 3,25 nudos, ubicándose dentro del grupo de mayor significancia (grupo 'a'), el cual compartió con T2, T4, T5, T6, T7, T8 y T9, evidenciando un comportamiento estadísticamente similar entre estos tratamientos. Por otra parte, el tratamiento T3 presentó el menor desempeño, registrando una mediana de 2,00 nudos y separándose significativamente del resto al ubicarse en el grupo inferior (grupo 'b') indicando que la mayor concentración de GA₃ en ausencia de TDZ limitó el desarrollo de nudos durante esta etapa del cultivo.

En la variable número de nudos a los 21 días de cultivo, el comportamiento de los tratamientos varió sustancialmente dado que el tratamiento T7 destacó como el más eficiente del experimento, alcanzando la mayor mediana con 5,38 nudos y situándose en el grupo de mayor significancia estadística (grupo 'a'). En una posición intermedia se ubicó el tratamiento T1, con una mediana de 4,50 nudos (grupo 'b'), mientras que los tratamientos T4, T8 y T9 mostraron valores intermedios (grupo 'bc'), El tratamiento T3 presentó el menor rendimiento, registrando únicamente 3,00 nudos y separándose completamente como el tratamiento de menor desempeño (grupo 'e'). Esto evidencia que la combinación de 0,10 mg/L de TDZ sin GA₃ favoreció significativamente la formación de nudos durante esta fase del cultivo.

En la variable número de nudos a los 28 días de cultivo, el tratamiento T7 mantuvo el mayor rendimiento del experimento, acumulando una mediana de 6,50 nudos y posicionándose en el grupo de mayor significancia estadística (grupo 'a'). El tratamiento T1 presentó el segundo mejor desempeño, con una mediana de 5,25 nudos, compartiendo parcialmente el rango superior (grupo 'ab'), Por otro lado, los tratamientos T2, T6, T8 y T9 mostraron un comportamiento estadísticamente similar (grupo 'd'), mientras que el tratamiento T3 volvió a presentar el menor desempeño, registrando una mediana de 3,25 nudos y ubicándose en el grupo inferior de significancia estadística (grupo 'e'), Todo ello indica que la aplicación de 0,10 mg/L de TDZ sin adición de GA₃ promovió un desarrollo sostenido y superior del número de nudos hasta el final del periodo experimental.

4.1.4. Variable diámetro de tallo

La prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis determinó la existencia de diferencias altamente significativas ($p < 0,001$) expresado en la tabla 8 entre los medios de cultivo evaluados para la variable diámetro de explante a los 28 días de cultivo. La aplicación de este análisis fue necesaria debido a que los datos no cumplieron el supuesto de normalidad (Shapiro-Wilk, $p < 0,05$), aunque sí presentaron homogeneidad de varianzas (Levene, $p > 0,05$). Para identificar los tratamientos responsables de estas diferencias, se realizó una prueba de comparaciones múltiples con ajuste de Bonferroni.

Tabla 8. Diámetro de tallo

Tratamientos	Dosis (TDZ + GA ₃)	D28_Diámetro del tallo	Grupo (D28)
T1	0,0 TDZ - 0,0 GA ₃	0,56	a
T2	0,0 TDZ - 0,1 GA ₃	0,50	c
T3	0,0 TDZ - 0,25 GA ₃	0,50	c
T4	0,05 TDZ - 0,0 GA ₃	0,54	ab
T5	0,05 TDZ - 0,1 GA ₃	0,54	ab
T6	0,05 TDZ - 0,25 GA ₃	0,53	b
T7	0,1 TDZ - 0,0 GA ₃	0,56	a
T8	0,1 TDZ - 0,1 GA ₃	0,49	c
T9	0,1 TDZ - 0,25 GA ₃	0,48	c

Nota. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas significativas según la prueba de comparaciones múltiples con ajuste de Bonferroni posterior a Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).

Al analizar los grupos de significancia para la variable diámetro de explante, se observó que los tratamientos T1 (0,00 mg/L TDZ + 0,00 mg/L GA₃) y T7 (0,10 mg/L TDZ + 0,00 mg/L GA₃) se posicionaron en el rango superior de respuesta (grupo 'a'), registrando los mayores valores de diámetro con 0,56 cm, lo que evidencia un efecto favorable sobre el crecimiento radial del explante. De igual forma los tratamientos T4 (0,05 mg/L TDZ + 0,00 mg/L GA₃) y T5 (0,05 mg/L TDZ + 0,10 mg/L GA₃) mostraron un comportamiento intermedio, situándose en el grupo 'ab' con un diámetro de 0,54 cm, sin diferir estadísticamente de los tratamientos con mejor desempeño.

Por su parte, el tratamiento T6 (0,05 mg/L TDZ + 0,25 mg/L GA₃) presentó una respuesta moderada, consiguiendo un diámetro de 0,53 cm y ubicándose en el grupo 'b', lo que indica un rendimiento levemente inferior respecto a los tratamientos superiores. Por otro lado, los tratamientos T2 (0,00 mg/L TDZ + 0,10 mg/L GA₃), T3 (0,00 mg/L TDZ + 0,25 mg/L GA₃), T8 (0,10 mg/L TDZ + 0,10 mg/L GA₃) y T9 (0,10 mg/L TDZ + 0,25 mg/L GA₃) se agruparon en el nivel inferior de significancia estadística (grupo 'c'), presentando los menores diámetros de explante, con valores entre 0,48 y 0,50 cm,

Todo ello indica que concentraciones elevadas o combinadas de GA₃ limitan el incremento del diámetro del explante, mientras que concentraciones bajas o ausencia de esta fitohormona favorecieron un mayor desarrollo.

4.1.5. Variables de biomasa fresca, biomasa seca y porcentaje de materia seca

Se determinó la existencia de diferencias altamente significativas entre los tratamientos evaluados para las variables biomasa fresca, biomasa seca y porcentaje de materia seca en vitroplántulas de *Solanum tuberosum* L. variedad Superchola como se muestra en la tabla 9 donde los valores de significancia obtenidos en la evaluación realizada a los 28 días de cultivo fueron menores a 0,001, lo que evidencia diferencias altamente significativas entre tratamientos.

Tabla 9. Efecto de los tratamientos sobre biomasa fresca, biomasa seca y porcentaje de materia seca en vitroplántulas de *Solanum tuberosum* L.

Tratamientos Dosis (TDZ + GA3)	Biomasa Fresca (g)	Grupo (BF)	Biomasa Seca (g)	Grupo (BS)	% Materia Seca	Grupo (%MS)
T1 0,0 TDZ 0,0 GA3	0,022	de	0,00210	cde	9,545	a
T2 0,0 TDZ 0,1 GA3	0,020	e	0,00170	ef	8,500	ab
T3 0,0 TDZ 0,25 GA3	0,022	cde	0,00190	def	8,636	ab
T4 0,05 TDZ 0,0 GA3	0,025	cd	0,00150	f	6,000	c
T5 0,05 TDZ 0,1 GA3	0,026	bc	0,00240	bc	9,231	a
T6 0,05 TDZ 0,25 GA3	0,034	a	0,00325	a	9,189	a
T7 0,1 TDZ 0,0 GA3	0,031	a	0,00250	abc	8,087	bc
T8 0,1 TDZ 0,1 GA3	0,030	ab	0,00270	ab	9,000	a
T9 0,1 TDZ 0,25 GA3	0,026	bc	0,00230	bcd	8,978	a

Nota. Letras diferentes dentro de una misma columna indican diferencias estadísticas significativas según la prueba de comparaciones múltiples con ajuste de Bonferroni posterior a Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).

Al analizar los grupos de significancia para la biomasa fresca, se determinó que el tratamiento T6, junto con T7, se posicionaron en el rango superior de rendimiento (grupo "a"), siendo T6 el que registró el mayor valor numérico con 0,034 g. El tratamiento T8 presentó un comportamiento similar al ubicarse en el grupo "ab" con un valor de 0,030 g. Por su parte el tratamiento T2 mostró el menor desempeño, ubicándose en el grupo inferior de significancia estadística (grupo "e") con una biomasa fresca de 0,020 g mostrando que las combinaciones hormonales con TDZ y

mayores concentraciones de GA₃, particularmente en el tratamiento T6, favorecieron una mayor acumulación de biomasa fresca en los explantes.

Para la variable de biomasa seca, el comportamiento de los tratamientos varió sustancialmente, El tratamiento T6 (0,05 mg/L TDZ + 0,25 mg/L GA₃) destacó como el más eficiente del experimento, acumulando la mayor cantidad de materia seca (0,00325 g) y situándose en el grupo de mayor significancia (grupo "a"), el cual compartió parcialmente con T8 y T7, que registraron valores de 0,00270 g y 0,00250 g, respectivamente, Por otra parte, el tratamiento T4 presentó el menor rendimiento de tejido seco, reportando apenas 0,00150 g y separándose completamente como el tratamiento con menor desempeño (grupo "f").

En la variable porcentaje de materia seca, fue observado que los tratamientos T1, T5, T6, T8 y T9 se posicionaron en el rango superior de rendimiento (grupo "a"), siendo T1 el tratamiento que registró el mayor valor numérico con 9,545 %, En contraste, el tratamiento T4 presentó el menor porcentaje de materia seca (6,000 %) y se ubicó en el grupo inferior de significancia estadística (grupo "c"), Todo ello muestra que algunos tratamientos favorecieron una mayor acumulación de materia seca, aunque varios medios de cultivo presentaron respuestas estadísticamente similares.

4.1.6. Índice de Vigor Morfológico (IVM)

De acuerdo con la tabla 10 se estableció que la existencia de diferencias altamente significativas entre los tratamientos evaluados para el Índice de Vigor Morfológico a los 28 días de cultivo ($p < 0,001$) indicando que los tratamientos influyeron significativamente sobre el vigor de las vitroplántulas de *Solanum tuberosum* L. como se plantea en la figura 10.

Tabla 10. Efecto de los tratamientos sobre el Índice de Vigor Morfológico.

Tratamientos	Dosis (TDZ + GA ₃)	Mediana (IVM)*	Plantas "Élite"	Grupo de Significancia
T1	0,0 TDZ - 0,0 GA ₃	2	11	b
T2	0,0 TDZ - 0,1 GA ₃	2	16	b
T3	0,0 TDZ - 0,25 GA ₃	2	14	b
T4	0,05 TDZ - 0,0 GA ₃	3	63	a
T5	0,05 TDZ - 0,1 GA ₃	3	68	a
T6	0,05 TDZ - 0,25 GA ₃	3	70	a
T7	0,1 TDZ - 0,0 GA ₃	2	8	b
T8	0,1 TDZ - 0,1 GA ₃	3	61	a
T9	0,1 TDZ - 0,25 GA ₃	2	18	b

Nota. Letras diferentes en la columna de grupo indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$).

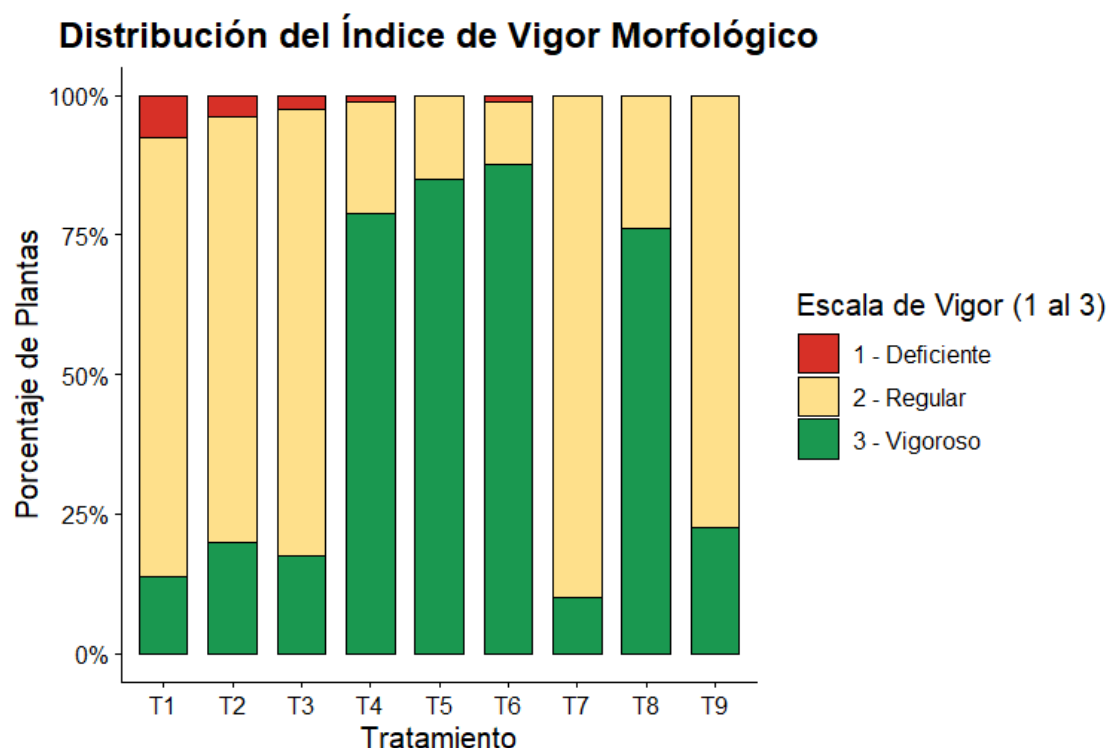


Figura 10. Distribución porcentual del Índice de Vigor Morfológico (IVM) por tratamiento a los 28 días.

Análisis de resultados

La evaluación ordinal del vigor comprobó una superioridad compartida y marcadamente significativa de los tratamientos T4, T5, T6 y T8 siendo los únicos tratamientos en registrar una Mediana de 3 ("Vigoroso"), posicionándose en conjunto en el estrato estadístico superior (grupo "a"). De manera sobresaliente, el T6 logró que 70 de sus 80 plántulas (87,50%) alcanzaran la calificación de calidad "Élite", seguido muy de cerca por el T5 con 68 plántulas (85,00%), el T4 con 63 plántulas (78,75%) y el T8 con 61 plántulas (76,25%).

Por el contrario, el resto de los medios evaluados (T1, T2, T3, T7 y T9) promovieron un vigor predominantemente "Regular" (Mediana de 2). Dentro de este bloque inferior (grupo "b"), el tratamiento T7 se segregó como el de menor desempeño estadístico global en términos absolutos, logrando inducir apenas 8 plántulas (10,00%) con la máxima calificación visual, seguido por el T1 el cual solo alcanzó 11 plántulas (13,75%) en la categoría "Vigoroso".

4.1.7. Incidencia de Hiperhidricidad

Se determinó en la tabla 11 que no existen diferencias significativas entre los tratamientos evaluados para la variable de hiperhidricidad a los 28 días de cultivo ($p > 0,05$). La incidencia de este trastorno fisiológico fue sumamente baja en todos los tratamientos evaluados, mostrando un comportamiento homogéneo entre los medios de cultivo.

Tabla 11. Frecuencia y porcentaje de hiperhidricidad en microplántulas de *Solanum tuberosum* L. bajo diferentes tratamientos a los 28 días de cultivo.

Tratamientos Dosis (TDZ + GA3)		Explantos Evaluados	Casos Hiperhídricos	Incidencia (%)	Grupo
T1	0,0 TDZ - 0,0 GA3	80	0	0,00 %	A
T2	0,0 TDZ - 0,1 GA3	80	0	0,00 %	A
T3	0,0 TDZ - 0,25 GA3	80	0	0,00 %	A
T4	0,05 TDZ - 0,0 GA3	80	0	0,00 %	A
T5	0,05 TDZ - 0,1 GA3	80	2	2,50 %	A
T6	0,05 TDZ - 0,25 GA3	80	2	2,50 %	A
T7	0,1 TDZ - 0,0 GA3	80	0	0,00 %	A
T8	0,1 TDZ - 0,1 GA3	80	0	0,00 %	A
T9	0,1 TDZ - 0,25 GA3	80	0	0,00 %	A

Nota. Letras iguales en la columna de grupo indican que no existen diferencias estadísticas significativas según la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($p > 0,05$).

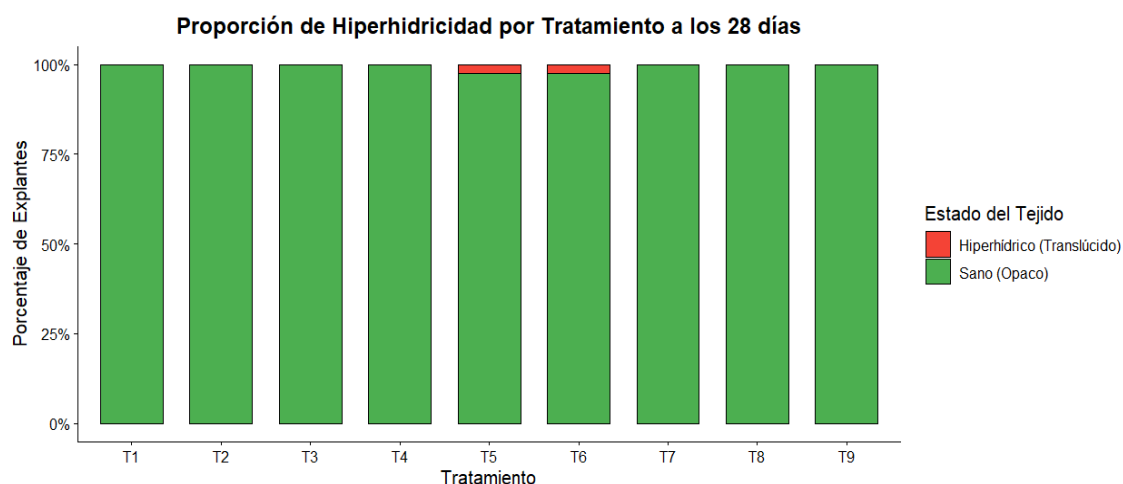


Figura 11. Proporción de hiperhidricidad por tratamiento a los 28 días de cultivo.

La combinación y concentración de los reguladores de crecimiento evaluados no actuaron como factores desencadenantes de hiperhidricidad (vitrificación) en las vitroplántulas. Las tasas de incidencia como se indica en la figura 11 variaron entre el 0,00% (observado en la gran mayoría de las condiciones basales y combinaciones ensayadas) y un máximo apenas perceptible en los tratamientos T5 y T6.

Estadísticamente, estas ligeras variaciones responden a la variabilidad biológica azarosa y no a un efecto directo deletéreo de los tratamientos, manteniendo una homogeneidad absoluta en la respuesta fitosanitaria del tejido.

La casi nula presencia de explantes con apariencia translúcida o acuosa es un indicador de éxito crítico en el protocolo de multiplicación *in vitro* de *Solanum tuberosum* L. La hiperhidricidad suele presentarse por desbalances hormonales (especialmente por excesos de citoquininas), estrés osmótico extremo o deficiencias en el intercambio gaseoso del frasco. El hecho de que ni siquiera las combinaciones con mayor actividad biológica (como el grupo de tratamientos superiores del IVM) hayan inducido este trastorno de forma significativa, sugiere que las condiciones físicas y químicas del microambiente micropropagado fueron óptimas lo que permite una estabilidad anatómico-estructuralmente sana en la inmensa mayoría de las vitroplántulas.

4.1.8. Incidencia de Callogénesis

El análisis mediante regresión logística (GLM Binomial) detallado en la tabla 12 determinó que no existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados respecto a la formación de callo en la base de los explantes a los 28 días de cultivo ($p > 0,05$). Sin embargo, se observaron pequeñas diferencias entre tratamientos en la formación de callo, aunque estas no fueron lo suficientemente fuertes como para considerarse estadísticamente significativas como se muestra en la figura 12.

Tabla 12. Frecuencia y porcentaje de callogénesis en microplántulas de *Solanum tuberosum* L. bajo diferentes tratamientos a los 28 días de cultivo.

	Tratamiento	Explantos Evaluados	Casos con Callo	Incidencia (%)	Grupo
T1	0,0 TDZ - 0,0 GA3	80	0	0,00 %	a
T2	0,0 TDZ - 0,1 GA3	80	0	0,00 %	a
T3	0,0 TDZ - 0,25 GA3	80	0	0,00 %	a
T4	0,05 TDZ - 0,0 GA3	80	0	0,00 %	a
T5	0,05 TDZ - 0,1 GA3	80	14	17,50 %	ab
T6	0,05 TDZ - 0,25 GA3	80	20	25,00 %	ab
T7	0,1 TDZ - 0,0 GA3	80	2	2,50 %	b
T8	0,1 TDZ - 0,1 GA3	80	13	16,25 %	ab
T9	0,1 TDZ - 0,25 GA3	80	8	10,00 %	ab

Nota. Letras iguales o compartidas indican ausencia de diferencias significativas entre tratamientos.

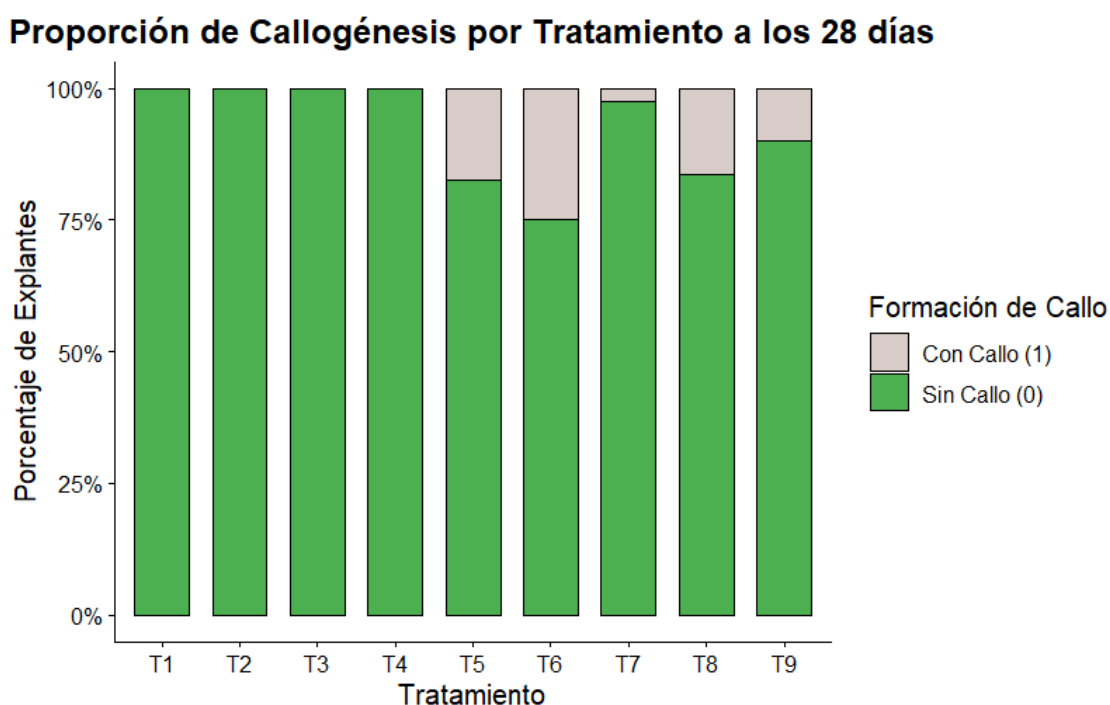


Figura 12. Proporción de calogénesis por tratamiento a los 28 días de cultivo.

Análisis de los Resultados:

Los datos obtenidos en un diseño balanceado (por tratamiento) manifiestan que las distintas combinaciones y concentraciones de los reguladores de crecimiento evaluados ejercieron un efecto diferenciado sobre la inducción de calogénesis en los segmentos nodales. Los tratamientos T1, T2, T3 y T4 inhibieron por completo (0,00%) esta respuesta morfogénica desorganizada, manteniendo a la totalidad de sus explantes libres de masa celular indiferenciada.

Por otra parte, la formación de tejido calloso comenzó a manifestarse de forma discreta en el resto de los medios, siendo el tratamiento T6 el que presentó el porcentaje más alto, con un 25,00% de explantes desarrollando callo (20 de las 80 microplántulas), seguido por el T8 con un 16,25% (13 explantes). Aunque se observa una tendencia al aumento de esta masa celular en las combinaciones intermedias y altas de fitohormonas, la respuesta global se mantuvo controlada indicando que las condiciones químicas permitieron priorizar la vía de desarrollo organogénico directo en la inmensa mayoría de las vitroplántulas de *Solanum tuberosum* L.

4.1.9. Análisis Beneficio/Costo (B/C)

La evaluación económica de los tratamientos permitió determinar la rentabilidad asociada a la producción de plantas de *Solanum tuberosum* L. variedad Superchola

obtenidas mediante micropropagación in vitro. Para este análisis se consideró una cantidad inicial de 1000 explantes por tratamiento, el porcentaje de rendimiento, el número de plantas destinadas a la venta, el precio unitario de comercialización, los ingresos generados, el costo de cada tratamiento, la utilidad neta y la relación beneficio/costo.

Los resultados presentados en la tabla 13 evidencian diferencias importantes entre los tratamientos evaluados donde los tratamientos T1, T2, T3, T4 y T5 presentaron relaciones beneficio/costos inferiores a la unidad, con valores de 0,66; 0,73; 0,76; 0,83 y 0,86, respectivamente. Esto indica que los ingresos obtenidos no fueron suficientes para cubrir los costos de producción. De igual manera, estos tratamientos registraron utilidades netas negativas, comprendidas entre USD -253,63 y USD -106,13, evidenciando que económicamente no resultaron rentables bajo las condiciones establecidas para el análisis.

En el caso del T7, T8 y T9, aunque presentaron valores de relación beneficio/costos cercanos a la unidad (0,99; 0,97 y 0,92, respectivamente), tampoco alcanzaron el punto de equilibrio económico. Las utilidades netas fueron de USD -9,63 para T7, USD -22,28 para T8 y USD -59,73 para T9, mientras que el beneficio directo presentó valores negativos de -0,01; -0,03 y -0,08, respectivamente. Estos resultados indican que, a pesar de que dichos tratamientos generaron ingresos relativamente cercanos a los costos de producción, todavía existieron pérdidas económicas y, por tanto, no pueden considerarse alternativas rentables bajo el precio de venta establecido.

En contraste, el tratamiento T6 presentó el mejor comportamiento económico de todos los tratamientos evaluados. Se alcanzó 1550 plantas destinadas a la venta, con un precio unitario de USD 0,62, generando un ingreso total de USD 961,00. Frente a un costo de producción de USD 754,38, se obtuvo una utilidad neta de USD 206,62. Asimismo, la relación beneficio/costo fue de 1,27, acompañada de un beneficio directo de 0,27, lo que demuestra que por cada dólar invertido se obtuvo un retorno de USD 1,27, generando una ganancia adicional de USD 0,27 por cada dólar invertido.

Por lo tanto, desde el punto de vista económico, el T6 constituye el tratamiento más viable y rentable, debido a que fue el único que superó la relación beneficio/costo de 1,00 y presentó una utilidad neta positiva. Estos resultados permiten establecer que la aplicación de este tratamiento favoreció no solamente la obtención de un mayor

número de plantas comercializables, sino también un mejor aprovechamiento de los recursos económicos destinados al proceso de micropropagación. Es así que el T6 representa la alternativa con mayor viabilidad económica para la producción de plantas in vitro de *Solanum tuberosum* L. variedad Superchola, bajo las condiciones y precios considerados en el presente estudio.

Tabla 13. Análisis Beneficio/Costo (B/C)

TABLA	Expl.	P. (%)	Pl.venta	P.venta	I. venta	C.trat.	U.neta	B/C	B. directo
T1	1000	100	1000	0.50 \$	500.00 \$	753.63\$	-253.63	0.66	-0.34
T2	1000	100	1100	0.50 \$	550.00 \$	753.88\$	-203.88	0.73	-0.27
T3	1000	100	1150	0.50 \$	575.00 \$	754.13\$	-179.13	0.76	-0.24
T4	1000	100	1250	0.50 \$	625.00 \$	753.88\$	-128.88	0.83	-0.17
T5	1000	100	1300	0.50 \$	650.00 \$	756.13\$	-106.13	0.86	-0.14
T6	1000	100	1550	0.62 \$	961.00 \$	754.38\$	206.62	1.27	0.27
T7	1000	100	1200	0.62 \$	744.00 \$	753.63\$	-9.63	0.99	-0.01
T8	1000	100	1180	0.62 \$	731.60 \$	753.88\$	-22.28	0.97	-0.03
T9	1000	100	1120	0.62 \$	694.40 \$	754.13\$	-59.73	0.92	-0.08

4.2. DISCUSIÓN

4.2.1. Respuesta morfofisiológica de las vitroplantas.

Los resultados obtenidos en el estudio indicaron que la interacción entre Thidiazuron (TDZ) y ácido giberélico (GA_3) influye en el comportamiento morfofisiológico de *Solanum tuberosum* L. variedad Superchola bajo condiciones in vitro. Se observó que cada combinación hormonal afecta de forma directa la brotación, elongación, formación de hojas y desarrollo general de las vitroplantas lo que demuestra que el equilibrio hormonal del medio MS es determinante para la micropropagación.

Este comportamiento está relacionado con Sangacha (2025), quien reporta que la Bencilaminopurina (como citocinina de referencia en la micropropagación de papa) favorece la proliferación de brotes, mostrando así que los reguladores de tipo citocinina son fundamentales para la activación de yemas axilares y el crecimiento inicial del explante.

Asimismo, Sota et al, (2020) señalan que los reguladores de crecimiento en papa influyen en la morfogénesis y calidad del desarrollo vegetativo, respaldando los resultados obtenidos donde el equilibrio entre TDZ y GA_3 permitió una mejor conformación estructural de las vitroplantas.

Los resultados evidencian que la tasa de multiplicación y la elongación de brotes se maximizó en el tratamiento T6 (0.05 mg/L TDZ + 0.25 mg/L GA_3). Fisiológicamente, esto

se sustenta en que el Thidiazuron (TDZ) actúa como un regulador morfogénico sumamente potente que inhibe la actividad de las enzimas citocinina oxidasas (CKX), disparando una intensa división celular y la activación de yemas axilares. Sin embargo, la literatura demuestra que la exposición exclusiva a este compuesto frecuentemente induce estrés fisiológico, manifestándose en el enanismo de los entrenudos o hiperhidricidad (Ali et al., 2022). En este escenario, la suplementación estratégica con ácido giberélico (GA₃) contrarrestó estos efectos adversos al estimular la elongación celular, garantizando la calidad estructural y la viabilidad morfológica de las vitroplantas. Esta interacción sinérgica coincide con los balances hormonales requeridos para evitar anomalías en el cultivo de tejidos vegetales."

4.2.2. Efecto del TDZ y GA₃ en la proliferación de brotes

Se encontraron diferencias entre tratamientos en la tasa de multiplicación de brotes por explante, mostrando que la respuesta organogénica de *Solanum tuberosum* L. variedad Superchola depende de la interacción entre TDZ y GA₃.

Los tratamientos con TDZ en concentraciones intermedias presentaron mayor número de brotes, situación que se relaciona con lo expresado por Aguinsaca (2025), quien señala que el uso adecuado del medio Murashige & Skoog suplementado con reguladores permite optimizar el establecimiento in vitro y mejorar el desarrollo de los explantes en papa.

Por su parte, Sangacha (2025) menciona que la respuesta en la proliferación de brotes está altamente influenciada por el tipo de citocinina utilizada y su concentración, explicando el comportamiento observado en el presente estudio.

El efecto del GA₃ complementó la acción del TDZ al favorecer la elongación de los brotes, evitando estructuras compactas y mejorando la calidad morfológica del material vegetal.

4.2.3. Desarrollo radicular y establecimiento in vitro

El desarrollo radicular mostró variaciones entre tratamientos indicando que la formación de raíces en papa in vitro está influenciada por el equilibrio hormonal del medio de cultivo.

Este comportamiento se relaciona con Villa (2016), quien indica que la calidad del material propagativo influye en el vigor y desarrollo del cultivo, lo que también se

refleja en sistemas de propagación acelerada, donde un material inicial adecuado favorece una mejor respuesta fisiológica.

Del mismo modo, Aguinsaca (2025) reporta que la optimización del medio MS mejora el establecimiento in vitro disminuyendo problemas asociados a contaminación y estrés fisiológico, favoreciendo así un mejor desarrollo inicial de raíces y brotes.

4.2.4. Vigor y calidad de las vitroplantas

El vigor de las vitroplantas presentó diferencias entre tratamientos lo que indica que la interacción TDZ-GA₃ influye en la calidad morfológica del material vegetal.

Los tratamientos con mejor desempeño presentaron plantas con mayor altura, mayor número de hojas y mejor estructura general, coincidiendo con Soto (2019), quien señala que la suplementación del medio MS influye en la respuesta fisiológica de la papa variedad Superchola, mejorando el desarrollo de nudos, hojas y raíces.

De igual manera, Villa (2016) plantea que el uso de material propagativo de calidad mejora el vigor del cultivo, lo cual es coherente con los resultados obtenidos en la presente investigación, donde los tratamientos más equilibrados presentaron vitroplantas de mayor vigorosidad y uniforme.

4.2.5. Eficiencia de la micropropagación in vitro

Los resultados generales permiten establecer que la eficiencia de la micropropagación in vitro de *Solanum tuberosum* L. variedad Superchola depende del equilibrio entre inducción de brotes, elongación y calidad fisiológica de las vitroplantas.

En este sentido, Sangacha (2025) señala que los reguladores de crecimiento tipo citocinina permiten la multiplicación de brotes, aunque su efecto depende de la concentración utilizada. Esto se relaciona con lo expuesto en la presente investigación, donde los tratamientos con TDZ presentaron mayor inducción de brotes, pero requirieron del GA₃ para mejorar la calidad estructural.

Asimismo, Sota et al, (2020) confirman que el uso de reguladores de crecimiento en papa debe estar equilibrado para obtener una micropropagación eficiente, lo que respalda los resultados obtenidos. Los resultados demuestran que la interacción TDZ-GA₃ constituye una alternativa eficiente para la micropropagación de papa variedad Superchola, permitiendo obtener vitroplantas vigorosas, uniformes y con adecuada calidad fisiológica para su posterior aclimatación.

4.2.6. Proliferación de brotes durante la micropropagación.

El thidiazuron (TDZ) es un regulador sintético del crecimiento vegetal perteneciente al grupo de las fenilureas, que presenta una elevada actividad de tipo citoquinínico y puede estimular la proliferación de brotes durante la micropropagación *in vitro*. En *Solanum tuberosum* L. Sajid y Aftab (2009) evaluaron diferentes concentraciones de TDZ (10^{-10} , 10^{-9} y 10^{-8} M) en las variedades Desiree y Cardinal, observando que este regulador modificó diferentes parámetros de crecimiento, incluyendo la formación y desarrollo de brotes. Los autores señalan que el TDZ puede presentar una actividad similar a las citoquininas y favorecer la proliferación de brotes cuando se utiliza a concentraciones bajas; sin embargo, concentraciones superiores pueden inhibir la proliferación y favorecer respuestas morfogénicas como la formación de callo. Es un regulador de crecimiento vegetal sintético perteneciente al grupo de las fenilureas, ampliamente empleado en la biotecnología vegetal debido a su alta eficacia para inducir procesos morfogénicos como la organogénesis, así como la embriogénesis somática en condiciones de cultivo *in vitro*. Aunque no pertenece estructuralmente ni a las auxinas ni a las citocininas, presenta una actividad biológica similar a ambas, influyendo en procesos como la división celular, diferenciación y regeneración de tejidos vegetales.

4.2.7. Tasa de multiplicación y la elongación de brotes

Los resultados evidencian que la tasa de multiplicación y la elongación de brotes se maximizó en el tratamiento T6 (0,05 mg/L TDZ + 0,25 mg/L GA3). Fisiológicamente, esto se sustenta en que el Thidiazuron (TDZ) actúa como un regulador morfogénico sumamente potente que inhibe la actividad de las enzimas citocinina oxidasas (CKX), disparando una intensa división celular y la activación de yemas axilares. Sin embargo, la literatura demuestra que la exposición exclusiva a este compuesto frecuentemente induce estrés fisiológico, manifestándose en el enanismo de los entrenudos o hiperhidricidad (Ali et al., 2022). En este escenario, la suplementación estratégica con ácido giberélico (GA3) contrarrestó estos efectos adversos al estimular la elongación celular, garantizando la calidad estructural y la viabilidad morfológica de las vitroplantas. Esta interacción sinérgica coincide con los balances hormonales requeridos para evitar anomalías en el cultivo de tejidos vegetales."

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Se determinó que el tratamiento T6, compuesto por 0,05 mg/L de TDZ y 0,25 mg/L de GA₃, presentó la combinación más favorable para la multiplicación de brotes de *Solanum tuberosum* L. variedad Superchola. En contraste, T7 con 0,10 mg/L de TDZ sin GA₃ registró la menor multiplicación final, con 1,05 brotes. Por tanto, la eficiencia regenerativa no dependió del incremento aislado de TDZ, sino del equilibrio entre su acción inductora y el efecto de GA₃ sobre el desarrollo de los brotes.

La calidad morfofisiológica presentó una respuesta diferenciada según la combinación hormonal y la variable examinada. T8 alcanzó la mayor longitud a los 28 días, con 5,59 cm, mientras que T7 obtuvo 6,50 nudos y uno de los mayores diámetros de tallo con 0,56 mm. No obstante, T6 mostró el mejor comportamiento integral al registrar 0,034 g de biomasa fresca, 0,00325 g de biomasa seca y 87,50 % de microplántulas clasificadas como élite. La hiperhidricidad fue baja y no presentó diferencias significativas, mientras que la callogénesis alcanzó 25 % en T6, sin diferenciación estadística entre tratamientos. En consecuencia, T6 reunió las condiciones más favorables de vigor con 70 plantas élite, acumulación de biomasa y multiplicación, aunque la formación de callo requiere seguimiento durante fases posteriores.

El análisis costo-beneficio confirmó que T6 fue el único tratamiento económicamente rentable. Se alcanzó un ingreso de USD 961,00 frente a un costo de USD 754,38, generando una utilidad neta de USD 206,62 y una relación beneficio/costo de 1,27. Esto significa que cada dólar invertido produjo un retorno total de USD 1,27 y un beneficio neto de USD 0,27.

5.2. RECOMENDACIONES

Es necesario utilizar la combinación hormonal de Thidiazuron (TDZ) y ácido giberélico (GA₃) en protocolos de micropropagación in vitro de *Solanum tuberosum* L. variedad Superchola, debido a que mostró una respuesta morfofisiológica favorable, mayor proliferación de brotes y mejor calidad estructural de las vitroplantas.

Hay que evitar el uso de concentraciones elevadas de TDZ sin el adecuado balance con GA_3 , ya que generan brotes compactos, menor elongación y posibles alteraciones en el desarrollo morfológico de las vitroplantas.

Para futuras líneas de investigación orientadas a la optimización de la micropropagación de la variedad Superchola, se recomienda evaluar el efecto sinérgico de otras citocininas como la Zeatina, o auxinas como el Ácido Indolbutírico (IBA), en interacción con giberelinas (GA_3).

Es necesario que las vitroplantas obtenidas no sean evaluadas únicamente a los 28 días de cultivo, sino que se amplíe el tiempo de evaluación, ya que un periodo mayor de crecimiento permitiría que las plantas alcancen una mejor estructura morfológica, mayor desarrollo radicular y una mayor estabilidad fisiológica.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguinsaca, D. (2025). *Introducción al cultivo in vitro de cultivares nativos de papa de la Sierra Sur del Ecuador*.
- Ali, H. M., Khan, T., Khan, M. A., & Ullah, N. (2022). The multipotent thidiazuron: A mechanistic overview of its roles in callogenesis and other plant cultures in vitro. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 69(6), 2624–2640. <https://doi.org/10.1002/bab.2311>
- Arteaga, G. A., Ortiz, R. S., & Cartagena, Y. E. (2022). Dinámica de la absorción de nutrientes en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad Superchola, para la producción de semilla prebásica. *Siembra*, 9(2), e3481. <https://doi.org/10.29166/siembra.v9i2.3481>
- Askari, N., Ghahremani, R., Raisi, A., Sadat-Hosseini, M., Motlagh, B. P., & Visser, R. G. F. (2025). Far-Red Radiation Enhances In Vitro Potato Plantlet Growth by Stimulating Dry Weight Accumulation. *Potato Research*, 68(2), 1849–1868. <https://doi.org/10.1007/s11540-024-09809-x>
- Basantes, F., Aragón Suárez, J. P., Albuja Illescas, L. M., & Vásquez Hernández, L. del R. (2020). Diagnóstico de la situación actual de la producción y comercialización de la papa (*Solanum tuberosum* L.) en la Zona 1 del Ecuador. *E-Agronegocios*, 6(2), 103–120. <https://doi.org/10.18845/ea.v6i2.5103>
- Bidabadi, S. S., & Jain, S. M. (2020). Cellular, Molecular, and Physiological Aspects of In Vitro Plant Regeneration. *Plants*, 9(6), 702. <https://doi.org/10.3390/plants9060702>
- Borjas, R., Julca, A., & Alvarado, L. (2020). Las fitohormonas una pieza clave en el desarrollo de la agricultura. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 8(2), 150. <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2020.080200150>
- Cancino, G., Villamizar, C., & Cancino, S. (2024). Evaluación de la Eficacia de un Protocolo de Micropropagación en dos Variedades de Papa: *Solanum tuberosum* (Perla Negra) y *Solanum phureja* (Criolla Colombia). *BISTUA REVISTA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS*, 22(1), 1–6. <https://doi.org/10.24054/bistua.v22i1.2710>
- Çelikel, F. G., Zhang, Q., Zhang, Y., Reid, M. S., & Jiang, C.-Z. (2021a). A Cytokinin Analog Thidiazuron Suppresses Shoot Growth in Potted Rose Plants via the Gibberellic Acid Pathway. *Frontiers in Plant Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.639717>
- Çelikel, F. G., Zhang, Q., Zhang, Y., Reid, M. S., & Jiang, C.-Z. (2021b). A Cytokinin Analog Thidiazuron Suppresses Shoot Growth in Potted Rose Plants via the

- Gibberellic Acid Pathway. *Frontiers in Plant Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.639717>
- Chen, S., Wang, D., Lin, J., & Xu, Z. (2025). The Comprehensive Regulation of Light Intensity and Photoperiod on Growth and Yield of Virus-Free Potato Under the Same Daily Light Integral. *Agronomy*, 15(4), 898. <https://doi.org/10.3390/agronomy15040898>
- Dalton, S. J. (2020). A reformulation of Murashige and Skoog medium (WPBS medium) improves embryogenesis, morphogenesis and transformation efficiency in temperate and tropical grasses and cereals. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 141(2), 257–273. <https://doi.org/10.1007/s11240-020-01784-8>
- Desta, B., Alemu, M., & Tadesse, S. (2024). In vitro micropropagation protocol development for potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties using lateral buds as explants. *International Journal of Agronomy*, 9(5), 1–8. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7884170/pdf/TSWJ2021-5928769.pdf>
- Dick, D., & VanderWeide, J. (2025). A meta-analysis and systematic review of plant growth regulator use in blueberry production. *Frontiers in Plant Science*, 16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1632855>
- Erland, L. A. E., Giebelhaus, R. T., Victor, J. M. R., Murch, S. J., & Saxena, P. K. (2020). The Morphoregulatory Role of Thidiazuron: Metabolomics-Guided Hypothesis Generation for Mechanisms of Activity. *Biomolecules*, 10(9), 1253. <https://doi.org/10.3390/biom10091253>
- Gautam, N., Faroda, P., Agarwal, T., Harish, & Gupta, A. K. (2024). Effect of microclimatic physical factors on in vitro morphogenesis of plants: a systematic review. *Discover Agriculture*, 2(1), 13. <https://doi.org/10.1007/s44279-024-00022-5>
- Gupta, N., Jain, V., Joseph, M. R., & Devi, S. (2020). A Review on Micropropagation Culture Method. *Asian Journal of Pharmaceutical Research and Development*, 8(1), 86–93. <https://doi.org/10.22270/ajprd.v8i1.653>
- Hasnain, A., Naqvi, S. A. H., Ayesha, S. I., Khalid, F., Ellahi, M., Iqbal, S., Hassan, M. Z., Abbas, A., Adamski, R., Markowska, D., Baazeem, A., Mustafa, G., Moustafa, M., Hasan, M. E., & Abdelhamid, M. M. A. (2022). Plants in vitro propagation with its applications in food, pharmaceuticals and cosmetic industries; current scenario and future approaches. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1009395>
- He, J., Xin, P., Ma, X., Chu, J., & Wang, G. (2020). Gibberellin Metabolism in Flowering Plants: An Update and Perspectives. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00532>
- Klimek, M., Kadluczka, D., Lukasiewicz, A., Malec-Pala, A., Baranski, R., & Grzebelus, E. (2020). Effective callus induction and plant regeneration in callus and protoplast cultures of *Nigella damascena* L. *Plant Cell, Tissue*

and Organ Culture (PCTOC), 143(3), 693–707.
<https://doi.org/10.1007/s11240-020-01953-9>

- Laila, L. A., Zaid, S. H., Al-Biski, F., & Dakah, A. (2025). Regeneration of selected callus of three potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.) and studying their tolerance to drought stress. *BMC Plant Biology*, 25(1), 460. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06512-y>
- Parra, F., Casas, A., Begazo, D., Paco, A., Márquez, E., Cruz, A., Segovia, J., Torres-García, I., Zarazúa, M., Lizárraga, L., & Torres-Guevara, J. (2021). Natural and Cultural Processes Influencing Gene Flow Among Wild (atoq papa), Weedy (araq papa and k'ipa papa), and Crop Potatoes in the Andean Region of Southern Peru. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9. <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.617969>
- Petrova, I., & Koleva, L. (2022). MICROPROPAGATION OF POTATO SEED TUBERS (*Solanum tuberosum* L.) UNDER IN VITRO CONDITIONS. *Journal of Agriculture and Plant Sciences*, 20(2), 37–43. <https://doi.org/10.46763/JAPS22202037p>
- Roeber, V. M., Schmölling, T., & Cortleven, A. (2022). The Photoperiod: Handling and Causing Stress in Plants. *Frontiers in Plant Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.781988>
- Romadanova, N. V., Tolegen, A. B., Kushnarenko, S. V., Zholdybayeva, E. V., & Bettoni, J. C. (2022). Effect of Plant Preservative Mixture™ on Endophytic Bacteria Eradication from In Vitro-Grown Apple Shoots. *Plants*, 11(19), 2624. <https://doi.org/10.3390/plants11192624>
- Romero, M., Alberto, S., & Espinosa, M. (2025). *Influencia del biocarbón sobre la respuesta morfofisiológica de vitroplantas de Solanum tuberosum L. Var Superchola 2024*.
- Sajid, Z., & Aftab, F. (2009). Efecto del tiazurón (TDZ) en la micropropagación in vitro de *Solanum tuberosum* L. cvs. Desiree y Cardinal. *Pakistan Journal of Botany*, 41(4), 1811–1815.
- Sangacha, E. (2025). *Efecto de las citoquininas Bencilaminopurina y Kinetina en la propagación in vitro de papa (Solanum tuberosum L.) variedad INIAP-Natividad*.
- Saputro, S., Setiari, N., Nurchayati, Y., & Izzati, M. (2020). Respuesta de explantes de tallo de papa (*Solanum tuberosum* L.) a diversas concentraciones de tiazurón. *Boletín de Anatomía y Fisiología*, 5(2), 1–15.
- Shafique, I., Mehmood, K., Hussain Shah, S., Mehmood Baig, R., & Hasnain, Z. (2025). INFLUENCE OF PLANT GROWTH REGULATORS ON INVITRO MICROPROPAGATION OF POTATO VARIETIES. *Journal of Agricultural Research*, 63(1), 87–93. <https://doi.org/10.58475/2025.63.1.135>
- Shaheen, A., Ali, M., Ahmad, N., Hassan Dewir, Y., El-Hendawy, S., & Abd-El Gawad, A. M. (2020). Micropropagation of licorice (*Glycyrrhiza glabra* L.) by using intermediate nodal explants. *Chilean Journal of Agricultural*

- Shaheen, A., Ali, M., & Dewir, Y. (2021). Effect of Growth Regulators on Micropropagation and In Vitro Tuberization of *Solanum tuberosum* L. cv. Vermosh. *Revista Chilena de Investigación Agrícola*, 80(3), 67–78.
- Sistema de Información Pública Agropecuaria del Ecuador. (2026). *Caracterización de la producción de papa*.
- Sota, V., Bekheet, S., & Kongjika, E. (2020). Effect of growth regulators on micropropagation and in vitro tuberization of potato. *Notulae Scientia Biologicae*, 6(3), 1–15.
- Soto, A. (2019). *Evaluación de tres medios de cultivo para la micropropagación de papa (Solanum tuberosum L.) variedad Superchola* [Tesis de pregrado]. UPEC.
- Torres, M. (2021). Efectos de la hiperhidricidad sobre la regeneración de ápices crioconservados de ajo (*Allium sativum* L.). *Agrotecnia De Cuba*, 45(2), 1–14.
- Villa, W. (2016). *Producción de semilla de papa (Solanum tuberosum L.) usando métodos de multiplicación* [Trabajo de presgrado]. Universidad Politécnica Estatal del Carchi.
- Wang, F., Li, Y., Pang, Y., Hu, J., Kang, X., & Qian, C. (2025). Thidiazuron Enhances Strawberry Shoot Multiplication by Regulating Hormone Signal Transduction Pathways. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(9), 4060. <https://doi.org/10.3390/ijms26094060>
- Wei, Z., Li, J., Yu, X., Zhang, T., Liao, B., Han, H., Qi, H., Du, M., Li, F., Wang, B., Tian, X., & Li, Z. (2025). Effects of thidiazuron and methyl jasmonate tank mixes on cotton defoliation and the underlying phytohormonal mechanisms. *Journal of Cotton Research*, 8(1), 28. <https://doi.org/10.1186/s42397-025-00235-z>
- Zahia, K., Malika, R. K., Sara, K., Abderrezeq, C., Hichem, K., Ramzi, H., Lilia, R., & Zahira, B. (2020). Interactive effect of genotype and medium on microtuberization of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) grown *in vitro*. *Acta Scientifica Naturalis*, 7(1), 8–25. <https://doi.org/10.2478/asn-2020-0003>
- Zahia, K., Malika, R. K., Sara, K., Abderrezeq, C., Hichem, K., Ramzi, H., Lilia, R., & Zahira, B. (2020). Interactive effect of genotype and medium on microtuberization of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) grown *in vitro*. *Acta Scientifica Naturalis*, 7(1), 8–25. <https://doi.org/10.2478/asn-2020-0003>

VII. ANEXOS

Anexo 1. Certificado del abstract por parte de idiomas



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI FOREIGN AND NATIVE LANGUAGES CENTER

ABSTRACT- EVALUATION SHEET				
NAMES: Canacuan Patiño Alexis Ricardo; Rodríguez Calpa Jesica Paola				
DATE: Monday, August 31st, 2026				
Topic: "Effect of the Thidiazuron-Gibberellin interaction on the in vitro micropropagation efficiency of Solanum tuberosum L., Superchola variety, from nodal segments"				
MARKS AWARDED QUANTITATIVE AND QUALITATIVE				
VOCABULARY AND WORD USE	Use new learnt vocabulary and precise words related to the topic	Use a little new vocabulary and some appropriate words related to the topic	Use basic vocabulary and simplistic words related to the topic	Limited vocabulary and inadequate words related to the topic
	EXCELLENT: 2 ☒	GOOD: 1,5 ☒	AVERAGE: 1 ☐	LIMITED: 0,5 ☐
WRITING COHESION	Clear and logical progression of ideas and supporting paragraphs.	Adequate progression of ideas and supporting paragraphs.	Some progression of ideas and supporting paragraphs.	Inadequate ideas and supporting paragraphs.
De	EXCELLENT: 2 ☒	GOOD: 1,5 ☐	AVERAGE: 1 ☐	LIMITED: 0,5 ☐
ARGUMENT	The message has been communicated very well and identify the type of text	The message has been communicated appropriately and identify the type of text	Some of the message has been communicated and the type of text is little confusing	The message hasn't been communicated and the type of text is inadequate
	EXCELLENT: 2 ☒	GOOD: 1,5 ☐	AVERAGE: 1 ☐	LIMITED: 0,5 ☐
CREATIVITY	Outstanding flow of ideas and events	Good flow of ideas and events	Average flow of ideas and events	Poor flow of ideas and events
	EXCELLENT: 2 ☐	GOOD: 1,5 ☐	AVERAGE: 1 ☐	LIMITED: 0,5 ☐
SCIENTIFIC SUSTAINABILITY	Reasonable, specific and supportable opinion or thesis statement	Minor errors when supporting the thesis statement	Some errors when supporting the thesis statement	Lots of errors when supporting the thesis statement
	EXCELLENT: 2 ☒	GOOD: 1,5 ☐	AVERAGE: 1 ☐	LIMITED: 0,5 ☐
TOTAL/AVERAGE	9 - 10: EXCELLENT 7 - 8,9: GOOD 5 - 6,9: AVERAGE 0 - 4,9: LIMITED TOTAL 9			



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI- FOREIGN AND NATIVE LANGUAGES CENTER

Informe sobre el Abstract de Artículo Científico o Investigación.

Autores: Canacuán Patiño Alexis Ricardo; Rodríguez Calpa Jesica Paola

Fecha de recepción del abstract: martes 18 de agosto del 2026

Fecha de entrega del informe: lunes, 31 de agosto del 2026

El presente informe validará la traducción del idioma español al inglés si alcanza un porcentaje de: 9 - 10 Excelente.

Si la traducción no está dentro de los parámetros de 9 - 10, el autor deberá realizar las observaciones presentadas en el ABSTRACT, para su posterior presentación y aprobación.

Observaciones:

Tras evaluar el resumen presentado, se concluye que la traducción al inglés es adecuada y fiel al contenido. De acuerdo con la rúbrica aplicada para su valoración, se le asigna una calificación de 9, por lo que el trabajo queda aprobado.

Atentamente



Validar únicamente en FirmaEC. Firmado
electrónicamente por:
MARTHA ARACELLY
VIVEROS ALMEIDA

MA. Martha Viveros
RESPONSABLE CIDEN

Anexo 2. Procedimientos



Figura 13. Lavado y secado de envases cultivo.



Figura 14. Preparación de medios de



Figura 15. Auto clavar medios



Figura 16. Verter medios de cultivo en frascos



Figura 17. Etiquetado de tratamientos



Figura 18. Distribución de tratamientos

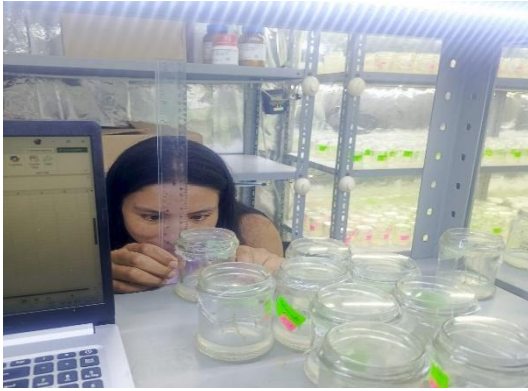


Figura 19. Toma de datos