

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE OCCIDENTE
Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales

Sustentabilidad y tecnología

PROYECTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL (PAP)
Programa de Apoyo a la Investigación II



**ITESO, Universidad
Jesuita de Guadalajara**

4G03 Programa de Apoyo a la Investigación II

**Establecimiento de protocolos de micropropagación e inducción de
poliploidía en *Tradescantia orchidophylla* en el Centro de Investigación y
Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ)**

PRESENTAN

Programas educativos y Estudiantes

Ing. en Biotecnología, Mariana Michelle Zuno Torres

Profesor(es) PAP: Dr. José Manuel Rodríguez Domínguez

Tlaquepaque, Jalisco, mayo de 2026

ÍNDICE

Contenido

REPORTE PAP	2
Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional	2
Resumen	0
1. Ciclo participativo del Proyecto de Aplicación Profesional.....	0
1.1 Entendimiento del ámbito y del contexto	2
1.2 Caracterización de la organización.....	4
1.3 Identificación de la(s) problemática(s)	4
1.4. Planeación de alternativa(s), objetivo(s) particular(es) y formalización de acuerdos de colaboración.....	6
1.5. Desarrollo de la propuesta de mejora	9
1.6. Valoración de productos, resultados e impactos	19
1.7. Bibliografía y otros recursos	22
1.8. Anexos generales.....	24
2. Productos	25
3. Reflexión crítica y ética de la experiencia.....	26
3.1 Sensibilización ante las realidades	26
3.2 Aprendizajes logrados	27
3.3 Congruencia con perfil de egreso	29

REPORTE PAP

Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional

[Este texto deberá aparecer en todos los RPAP]

Los Proyectos de Aplicación Profesional (PAP) son experiencias socio-profesionales de los alumnos que desde el currículo de su formación universitaria- enfrentan retos, resuelven problemas o innovan una necesidad sociotécnica del entorno, en vinculación (colaboración) (co-participación) con grupos, instituciones, organizaciones o comunidades, en escenarios reales donde comparten saberes.

El PAP, como espacio curricular de formación vinculada, ha logrado integrar el Servicio Social (acorde con las Orientaciones Fundamentales del ITESO), los requisitos de dar cuenta de los saberes y del saber aplicar los mismos al culminar la formación profesional (Opción Terminal), mediante la realización de proyectos profesionales de cara a las necesidades y retos del entorno (Aplicación Profesional).

El PAP es un proceso acotado en el tiempo en que estudiantes, actores sociales y profesores se asocian colaborativamente y en red, en un proyecto, e incursionan en un mundo social, como actores que enfrentan verdaderos problemas y desafíos traducibles en demandas pertinentes y socialmente relevantes. Frente a éstas transfieren experiencia de sus saberes profesionales y demuestran que saben hacer, innovar, co-crear o transformar en distintos campos sociales.

El PAP trata de sembrar en los estudiantes una disposición permanente de encargarse de la realidad con una actitud comprometida y ética frente a las disimetrías sociales. En otras palabras, se trata del reto de “saber y aprender a transformar”.

El Reporte PAP consta de tres componentes:

El primer componente refiere al ciclo participativo del PAP, en donde se documentan las diferentes fases del proyecto y las actividades que tuvieron lugar durante el desarrollo de éste y la valoración de las incidencias en el entorno.

El segundo componente presenta los productos elaborados de acuerdo con su tipología.

El tercer componente es la reflexión crítica y ética de la experiencia, el reconocimiento de las competencias y los aprendizajes profesionales que el estudiante desarrolló en el transcurso de su labor.

Resumen

El presente PAP “Establecimiento de protocolos de micropropagación e inducción de poliploidía en *Tradescantia orchidophylla* en el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ)” se desarrolló en el CIATEJ para abordar la falta de protocolos y escasas de información científica sobre *Tradescantia orchidophylla* especie con alto potencial ornamental. El objetivo general fue realizar experimentos factoriales para obtener un protocolo eficiente de micropropagación e inducir poliploidía, con el fin de generar una variante con características ornamentales mejoradas para su posible inserción en el mercado.

La metodología consistió en el establecimiento *in vitro* de yemas axénicas en medio MS suplementado con reguladores de crecimiento (BA, KIN y AIA), utilizando frascos con 40 ml de agar esterilizados en autoclave. Para el análisis citogenético se empleó la técnica SteamDrop.

Los resultados más relevantes destacan una respuesta diferencial según el balance hormonal, el tratamiento suplementado con BA resultó ser el más eficaz en términos cuantitativos, logrando la mayor tasa de brotación a los 12 días, por otro lado, el tratamiento suplementado con AIA destacó por producir una menor cantidad de brotes, pero con una mayor longitud, aportando una morfología distinta. Como producto principal, se entrega un protocolo funcional para la producción acelerada, quedando como prospectiva la validación final del incremento cromosómico en los individuos tratados.

1. Ciclo participativo del Proyecto de Aplicación Profesional

El PAP es una experiencia de aprendizaje y de contribución social integrada por estudiantes, profesores, actores sociales y responsables de las organizaciones, que de manera colaborativa aplican sus conocimientos y generan alternativas para dar respuesta a problemáticas de un contexto específico y en un tiempo delimitado. Por tanto, la experiencia PAP supone un proceso en lógica de proyecto, así como de un estilo de trabajo participativo y recíproco entre los involucrados.

El presente proyecto PAP se desarrolló en la subsede Zapopan del Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ). Este Centro de investigación pertenece a la Coordinación de Medio Ambiente, Salud y Alimentación del Sistema de Centros Públicos de Investigación (CPI) y cuenta con 5 líneas de investigación: biotecnología vegetal, tecnología ambiental, tecnología alimentaria, biotecnología industrial y biotecnología médica y farmacéutica. A través de estas áreas, el centro genera soluciones orientadas a elevar la competitividad de los diversos actores sociales y sectores productivos del país [1].

El proyecto se adscribe al área de biotecnología vegetal, con un enfoque orientado al sector agroindustrial. El PAP es de carácter experimental, fundamentado en el diseño de experimentos factoriales para optimizar el método de micropropagación de la especie *Tradescantia orchidophylla*. Lo anterior tiene como fin asegurar la obtención de material biológico de alta calidad, necesario para los procesos posteriores de inducción a la poliploidía.

Objetivo general

Realizar experimentos factoriales para obtener un protocolo eficiente de micropropagación de *Tradescantia orchidophylla* e inducir poliploidía en esta especie, con el fin de generar una variante con características ornamentales mejoradas para su posible inserción en el mercado.

Objetivos específicos

- Elaborar experimentos factoriales para obtener callogénesis y proliferación de yemas axilares en *Tradescantia orchidophylla*
- Desarrollar experimentos para lograr la organogénesis y/o embriogénesis somática a partir de callo de esta especie
- Realizar conteos cromosómicos en ápices radiculares de plantas de *Tradescantia orchidophylla*
- Efectuar experimentos para incrementar el nivel de ploidía en plantas de *Tradescantia orchidophylla*

1.1 Entendimiento del ámbito y del contexto

México es reconocido como uno de los países megadiversos del mundo ya que cuenta con una riqueza florística de aproximadamente 30,000 especies, que es más de 10% de lo que hay en el planeta, colocándolo de esta manera por encima de Estados Unidos y Canadá en términos de biodiversidad vegetal [2]. De este conjunto de especies, se estima que entre 9,000 y 10,000 especies tienen un uso conocido por la sociedad (fines alimentarios, medicinales, industriales u ornamentales), de las cuales alrededor de 1,000 han sido identificadas con un alto potencial ornamental debido a sus características morfológicas y estéticas, como la coloración y tamaño de sus flores o follaje. Estas especies no solo cumplen funciones estéticas y decorativas, sino que son piezas clave en el paisajismo moderno para la recuperación de entornos urbanos, el diseño de jardines sostenibles y la ornamentación de espacios interiores [3].

El desarrollo de nuevas variedades ornamentales se ha convertido en una línea de investigación relevante dentro de la horticultura y la biotecnología vegetal. Los investigadores han dirigido sus esfuerzos hacia la obtención de plantas que presenten características fenotípicas superiores y que puedan adaptarse a diferentes condiciones ambientales y requerimientos del mercado [4]. Entre las características más buscadas en este tipo de especies se encuentran el incremento en el tamaño y número de flores, la presencia de pigmentaciones intensas o patrones variegados en el follaje, así como una mayor tolerancia a factores de estrés biótico y abiótico. La creciente demanda de plantas ornamentales novedosas ha impulsado el uso de herramientas biotecnológicas que permitan acelerar los procesos de selección, propagación y mejoramiento de estas especies [3].

La domesticación y propagación de especies silvestres con potencial ornamental puede representar un proceso complejo cuando se utilizan métodos tradicionales de propagación, ya que muchas especies presentan ciclos de crecimiento lentos, baja viabilidad de semillas o limitada capacidad de multiplicación vegetativa [4]. Ante estas limitaciones, la biotecnología vegetal ha emergido como una alternativa eficiente y confiable para la propagación masiva y el mejoramiento de plantas. El fundamento de muchas de estas técnicas radica en el principio de la totipotencia celular, el cual establece que las células vegetales poseen la

capacidad de regenerar una planta completa cuando son cultivadas bajo condiciones adecuadas de nutrientes, reguladores de crecimiento y ambiente controlado [5].

A partir del principio de totipotencia celular se han desarrollado diversas técnicas de cultivo de tejidos vegetales, entre las que destaca la micropropagación. Esta técnica consiste en la propagación vegetativa de plantas mediante el cultivo *in vitro* de explantes bajo condiciones asépticas y controladas, lo que permite la producción rápida y a gran escala de individuos genéticamente uniformes y libres de patógenos. La micropropagación ha demostrado ser una herramienta valiosa en la producción de plantas ornamentales, ya que facilita la multiplicación de genotipos selectos, la conservación de germoplasma y la obtención de material vegetal de alta calidad fitosanitaria [6].

Además de la micropropagación, la citogenética vegetal también desempeña un papel importante en el mejoramiento de plantas ornamentales. Esta disciplina se enfoca en el estudio de la estructura, organización y comportamiento de los cromosomas, lo que permite comprender y manipular aspectos relacionados con la variación genética y el nivel de ploidía. En este contexto, el uso de agentes antimitóticos, como la colchicina u otros compuestos similares, permite inducir la duplicación del número cromosómico y generar individuos poliploides. La poliploidía puede provocar cambios significativos en las características fenotípicas de las plantas, incluyendo el incremento en el tamaño de órganos vegetativos y reproductivos, modificaciones en la intensidad de coloración o cambios en la arquitectura de la planta, rasgos que son altamente valorados en el ámbito ornamental [7].

En los procesos de micropropagación y manipulación citogenética, la selección del material vegetal inicial o explante constituye uno de los pasos más críticos para el éxito del cultivo *in vitro*. Generalmente se emplean tejidos con alta capacidad de división celular y regeneración, como yemas axilares, ápices caulinares, meristemos o segmentos foliares. La elección adecuada del explante, así como su estado fisiológico y sanitario, influye directamente en la eficiencia del establecimiento del cultivo, en la tasa de multiplicación y en la posterior regeneración de plantas completas [6].

Las metodologías biotecnológicas mencionadas permiten superar diversas limitaciones asociadas con los métodos tradicionales de propagación, los cuales suelen ser más lentos, menos eficientes y altamente dependientes de las condiciones ambientales. Por ello, el uso de técnicas como el cultivo de tejidos vegetales y la manipulación citogenética representa una alternativa viable para acelerar el desarrollo y la propagación de nuevas especies ornamentales, contribuyendo al aprovechamiento sustentable de la diversidad vegetal y al fortalecimiento del sector hortícola [8].

1.2 Caracterización de la organización

El CIATEJ es un centro público de investigación que tiene como misión impulsar el desarrollo sostenible de la sociedad, mediante la generación de conocimiento de vanguardia, formación de talento especializado y aplicación innovadora de la ciencia y tecnología. El Centro se rige con valores como ética, compromiso, honestidad, colaboración, confianza, comunicación y respeto presentes en cada proyecto que se desarrolla dentro de las instalaciones [1].

Este centro cuenta con dos sedes en el estado de Jalisco (Guadalajara y Zapopan); como se mencionó anteriormente, el presente PAP se desarrolla en la sede Zapopan, que se encuentra ubicada en Camino Arenero 1227, El Bajío, Zapopan, Jalisco. La sede está a cargo de la Doctora Anne Christine Gschaedler Mathis y cuenta con 3 unidades de trabajo, el departamento de Tecnología alimentaria, Biotecnología Industrial y Biotecnología vegetal, esta última está bajo la dirección de la Doctora Antonia Gutiérrez Mora y es donde se desarrolla este proyecto. El Dr. José Manuel Rodríguez Domínguez, se encuentra dentro del grupo de investigadores que pertenecen al departamento y es el responsable del PAP, cuenta con un Doctorado en Ciencias y Tecnología en Biotecnología y desempeña proyectos centrados en micropropagación y mejoramiento genético de agaves y especies ornamentales [9].

1.3 Identificación de la(s) problemática(s)

México es un país con enorme potencial de plantas con uso ornamental que hasta la fecha no ha sido aprovechado en toda su magnitud, sin embargo, la introducción de nuevas especies

al mercado florícola requiere no solo de un atractivo estético, sino de una garantía de suministro constante y calidad fitosanitaria. En muchos casos, cuando una especie comienza a adquirir valor comercial, su obtención se realiza mediante la extracción masiva de ejemplares directamente de su hábitat natural, frecuentemente sin regulaciones adecuadas. Esta práctica puede generar una fuerte presión sobre las poblaciones silvestres y, en consecuencia, incrementar el riesgo de disminución o incluso pérdida local de la especie. Por ello, resulta fundamental desarrollar estrategias de propagación controlada que permitan su aprovechamiento sostenible sin comprometer la conservación de los recursos vegetales. [2][3].

En el caso de *Tradescantia orchidophylla*, una especie con potencial ornamental, se han identificado diversas limitantes que impiden su aprovechamiento integral. La problemática principal radica en su estacionalidad, ya que el desarrollo biológico de esta planta está estrictamente vinculado al periodo de precipitaciones y al lugar en donde se encontró por primera vez, lo que ocasiona una restricción de acceso al material vegetal a unos pocos meses del año, imposibilitando cualquier intento de producción comercial continua [10].

Además de lo mencionado anteriormente, existe un vacío de conocimiento técnico y científico respecto a sus requerimientos de propagación. Si bien *T. orchidophylla* pertenece a la familia Commelinaceae, la cual posee diversos géneros con éxito comercial probado, existe una carencia absoluta de protocolos de propagación estandarizados para la especie que se está estudiando. La ausencia de información técnica sobre sus requerimientos nutricionales y hormonales *in vitro* genera una brecha de conocimiento que impide su propagación [11]. El desconocimiento de los balances de fitohormonas (auxinas y citocininas) específicos para una especie silvestre resulta en tasas de multiplicación ineficientes y alta mortalidad en condiciones controladas [12].

Finalmente, la ausencia de material de alta calidad dificulta la aplicación de técnicas biotecnológicas avanzadas, como la inducción a la poliploidía mediante agentes antimitóticos, la cual es una estrategia común para mejorar características ornamentales como el tamaño de la flor o la resistencia al estrés, lo que puede incrementar el valor ornamental

de *T. orchidophylla* [13][14]. Por lo tanto, el desarrollo de un protocolo de micropropagación *in vitro* se presenta como una solución necesaria para eliminar la barrera de la estacionalidad, permitiendo así la producción masiva de material biológico (clones sanos y uniformes) disponible durante todo el año [15] [16].

1.4. Planeación de alternativa(s), objetivo(s) particular(es) y formalización de acuerdos de colaboración

La especie *T. orchidophylla* presenta características morfológicas que llamaron la atención de los investigadores y que le confieren un potencial ornamental importante. Sin embargo, como se había mencionado anteriormente, su distribución natural se encuentra restringida a regiones específicas y su desarrollo está fuertemente influenciado por factores ambientales, particularmente la disponibilidad de humedad durante la temporada de lluvias. Estas condiciones limitan la disponibilidad de material vegetal durante gran parte del año, lo que dificulta el estudio de esta especie y su aprovechamiento, tanto para fines ornamentales como de conservación [10].

Las plantas pueden reproducirse mediante dos mecanismos principales: reproducción sexual y reproducción asexual. En la reproducción sexual, los nuevos individuos se originan a partir de la unión de gametos masculinos y femeninos, lo que genera semillas que posteriormente se desarrollan en nuevas plantas. Este proceso produce descendencia con variabilidad genética, lo cual puede ser ventajoso para la adaptación de las especies en ambientes naturales. Sin embargo, cuando se busca conservar características ornamentales específicas, esta variabilidad puede resultar poco conveniente. Por otro lado, la reproducción asexual o vegetativa permite la formación de nuevos individuos a partir de tejidos somáticos de la planta madre, lo que da lugar a plantas genéticamente idénticas que conservan los rasgos fenotípicos deseados [17].

En el caso de especies que crecen principalmente durante temporadas lluviosas, la propagación convencional puede resultar lenta y producir un número limitado de individuos, lo que dificulta la obtención de material vegetal suficiente para estudios experimentales o programas de producción ornamental. Ante estas limitaciones, se consideró como alternativa

el uso de técnicas de cultivo de tejidos vegetales como la micropropagación, la cual permite cultivar células, tejidos u órganos vegetales bajo condiciones asépticas y controladas. Esta metodología permite producir un gran número de individuos en espacios reducidos y bajo condiciones ambientales controladas, lo que facilita la obtención continua de material vegetal independientemente de la disponibilidad de la planta en su ambiente natural [18].

Dentro de las estrategias empleadas en micropropagación se encuentran la embriogénesis somática, la organogénesis y la proliferación de yemas axilares. La embriogénesis somática ocurre cuando células somáticas adquieren nuevamente capacidad totipotente y son capaces de formar embriones que posteriormente pueden desarrollarse en plantas completas [19]. Por otro lado, la organogénesis consiste en la formación de nuevos órganos vegetales, como brotes o raíces, a partir de tejidos cultivados *in vitro* bajo condiciones hormonales específicas. Finalmente, la proliferación de yemas axilares se basa en la activación de meristemas preexistentes para generar múltiples brotes, permitiendo así la multiplicación de plantas genéticamente uniformes y manteniendo la estabilidad genética del material vegetal [5].

Además de las técnicas de propagación, se consideró la implementación de diversas metodologías citogenéticas con el objetivo de analizar la organización cromosómica y evaluar posibles modificaciones en el nivel de ploidía del material vegetal obtenido. Entre las técnicas contempladas se encuentran squash (aplastamiento), spreading (extensión), dropping (goteo) y SteamDrop (gota de vapor), las cuales son utilizadas en estudios citológicos para la observación de cromosomas durante la división celular [20]. La técnica squash consiste en colocar el tejido vegetal previamente fijado y teñido sobre un portaobjetos y aplicar presión mediante un cubreobjetos para aplastar las células, permitiendo dispersarlas en una monocapa que facilite la visualización y el conteo de cromosomas bajo el microscopio [21].

Por su parte, el método spreading se basa en la dispersión controlada del material celular sobre la superficie del portaobjetos con el fin de obtener cromosomas mejor separados y distribuidos, lo que favorece un análisis más detallado de su estructura. La técnica dropping implica dejar caer una suspensión celular desde cierta altura sobre el portaobjetos, lo que

provoca la ruptura de las células y la liberación de los cromosomas, permitiendo que estos se dispersen de manera más uniforme sobre la superficie [21].

Finalmente, el método SteamDrop es una variante del dropping en la cual se emplea vapor para favorecer la expansión y separación del material cromosómico, mejorando así la calidad de las preparaciones citogenéticas [22]. Estas técnicas permiten obtener preparaciones cromosómicas adecuadas para su análisis microscópico y son herramientas fundamentales en estudios citogenéticos orientados al conteo cromosómico y la evaluación del nivel de ploidía. La inducción de poliploidía mediante agentes antimitóticos puede generar cambios en el tamaño celular y en diversas características morfológicas de las plantas, lo que en algunos casos se traduce en hojas más grandes, flores de mayor tamaño o vigor vegetativo, rasgos que pueden incrementar el valor ornamental de las especies estudiadas y que han sido ampliamente utilizados en programas de mejoramiento vegetal [21].

Con el propósito de organizar las actividades necesarias para cumplir con los objetivos del proyecto, se realizó un plan de trabajo de 16 semanas, que contempla etapas como la plantación de los cultivos, el monitoreo del material vegetal, la distribución del diseño factorial, entre otros. El plan de trabajo se muestra en la tabla 1 y la tabla 2 muestra los significados de las abreviaturas señaladas en el cronograma

Tabla 1. Cronograma de actividades

Nombre de la actividad	Recursos	Tiempo (días)	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16
Análisis de bibliografía	TP	16	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Preparación de medios de cultivo	AU, MO, RE	7		X	X	X		X	X					X	X			
Establecimiento de explantes	CF, ME	8		X	X	X	X		X	X				X	X			
Proliferación de yemas	MC CF ME	12			X	X	X	X	X	X	X							

	IN																	
Inducción de callogénesis	MC																	
	CF	14				X	X	X	X	X	X	X						
	ME																	
Regeneración (organogénesis)	MC																	
	CF	10						X	X	X	X	X						
	ME																	
	IN																	
Caracterización citogenética	TP	12							X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	EQ																	
Inducción de poliploidía	MC																	
	CF	7																
	ME																	
	RE																	
Análisis de resultados	TP	10																
	EQ																	
Redacción del informe	MC																	
	CF																	
	ME																	
	RE																	
Redacción del informe	TP	15	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	EQ																	
	MC																	
	IN																	
Presentación final oral	TP	1																X

Tabla 2. Abreviatura de los recursos utilizados a lo largo de las actividades

Abreviatura	Significado
TP	Trabajo personal
AU	Autoclave
MO	Microondas
CF	Campana de flujo laminar
ME	Material estéril (bisturí, pinzas, placa de corte, cajas Petri con medio de cultivo)
MC	Medio de cultivo
IN	Incubador
EQ	Equipo de laboratorio (microscopio)
RE	Reactivos químicos (reguladores de crecimiento)

1.5. Desarrollo de la propuesta de mejora

El desarrollo experimental de este proyecto se enfocó en la estandarización de protocolos para la micropropagación de *Tradescantia orchidophylla* mediante diversas rutas, tales como

la callogénesis, la proliferación de yemas, organogénesis y/o embriogénesis somática, así como la inducción de poliploidía. Se partió del material vegetal axénico que se preservó de investigaciones previas para llevar a cabo tres fases experimentales: protocolos de micropropagación, caracterización citogenética, e inducción de poliploidía.

Experimento 1: Protocolos de micropropagación

En la primera etapa se buscó optimizar la tasa de multiplicación de la especie con el fin de tener más material disponible para trabajar en caso de que se necesitara durante el desarrollo del proyecto. Para ello, se planeó reproducir la especie por medio de proliferación de yemas, callogénesis y organogénesis y/o embriogénesis somática.

Para la proliferación de yemas se utilizó la composición del medio MS (tabla 3) [16] suplementado con distintas concentraciones de kinetina (KIN), ácido Indol-3-Acético (AIA) y 6-Benzilaminopurina (BA) (tabla 4). Estos reguladores de crecimiento (citocininas y auxinas) promueven la brotación de yemas y el desarrollo foliar de la planta [23]. Una vez preparada la solución del medio basal con los suplementos correspondientes en un matraz, se añadió el agar. La mezcla se calentó hasta su homogenización y, posteriormente, se procedió a la dosificación de 40 mL por frasco, después los frascos sellados se sometieron a esterilizar mediante calor húmedo en autoclave a 121°C y 15 psi durante 20 minutos, garantizando así la eliminación de microorganismos y la esterilidad del contenedor y el sustrato.

Tabla 3. Composición base del medio de cultivo

Compuesto	Concentración
Medio MS	100 ml/L
Sacarosa	30 g/L
Agar	8 g/L
pH	5.8 ± 0.02

Tabla 4. Composición de cada medio de cultivo diferenciado por colores

Color	Citocinina (1mg/L)		
	AIA	KIN	BA
Blanco	0	0	0
Rojo	0	1	0
Amarillo	1	0	0
Verde	1	1	0
Azul	0	0	1
Naranja	1	0	1

Para la evaluación del potencial morfogénético, se realizó el establecimiento de yemas axénicas de *T. orchidophylla* en dos periodos: el 23 de enero y el 28 de enero. El proceso se llevó a cabo bajo estrictas condiciones de asepsia dentro de una campana de flujo laminar, donde se inocularon de 5 a 6 yemas por frasco. Por cada tratamiento hormonal se establecieron un total de 6 réplicas. Con el fin de garantizar la trazabilidad y el monitoreo sistemático de los tratamientos, cada frasco fue debidamente rotulado mediante un código de color representativo de su composición hormonal (Figura 1).

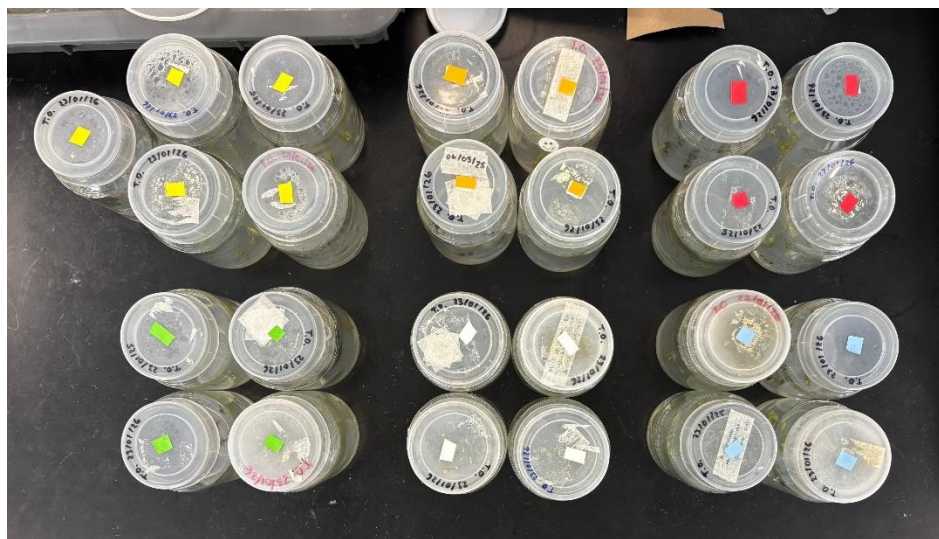


Figura 1. Frascos rotulados con el color de tratamiento para proliferación de yemas

Tras la siembra, los frascos se mantuvieron en una cámara de incubación bajo condiciones controladas de temperatura ($25 \pm 2^{\circ}\text{C}$) y un fotoperiodo de 16 horas luz/ 8 horas oscuridad mediante lámparas LED de luz blanca fría, evitando la incidencia directa de luz solar para prevenir variaciones térmicas. Los resultados que incluyen el conteo de brotes y la medición

de longitud se analizaron 12 días después de la inoculación de cada ronda para garantizar que fueran estadísticamente representativos. La tabla 5 muestra el resumen de los resultados de este experimento, mientras que el desglose detallado por replica se encuentra en el anexo 1.

Tabla 5. Análisis comparativo de la respuesta en yemas en distintos tratamientos

Tratamiento (Código)	Promedio de Brotes (12 días)	Pico máximo de brotes registrado
Azul	18.75	33
Naranja	12	20
Amarillo	9.4	17
Blanco	9.25	12
Rojo	7.25	10
Verde	6.75	12

Tras el análisis comparativo de la Tabla 5, se determinó que el tratamiento azul, adicionado exclusivamente con 6-Benzilaminopurina (BA) (Figura 2C), presentó el mayor rendimiento en términos de multiplicación, registrando un promedio de 18.75 brotes, con un pico máximo de 33 brotes; este valor representa el registro individual más alto observado en una sola unidad experimental, evidenciando el potencial máximo de inducción del tratamiento. Dichos brotes alcanzaron longitudes destacables de hasta 3 cm apenas 12 días después del establecimiento inicial de las yemas; no obstante, tras un vigoroso registro realizado el 9 de abril, su desarrollo vertical mostró una tendencia a la estabilización. En contraste, el tratamiento amarillo, compuesto únicamente por ácido indol-3-acético (AIA) (Figura 2B), destacó significativamente por la calidad de su elongación posterior, pues, aunque manifestó una mayor variabilidad numérica, una tasa de inducción menor (promedio de 9.4) y un pico máximo de 17 brotes, estos exhibieron un crecimiento longitudinal sostenido que alcanzó el límite físico del frasco. Este comportamiento fue secundado por el tratamiento naranja adicionado con ácido indol-3- (AIA) y 6-Benzilaminopurina (BA) (Figura 2D), que logró un rendimiento intermedio con un pico máximo de 20 brotes por frasco, mientras que los tratamientos rojo (kinetina), verde (AIA y kinetina) y el control (Figura 2A), presentaron tasas de proliferación discretas, manteniéndose en rangos de 3 a 10 brotes con picos máximos de entre 10 y 12

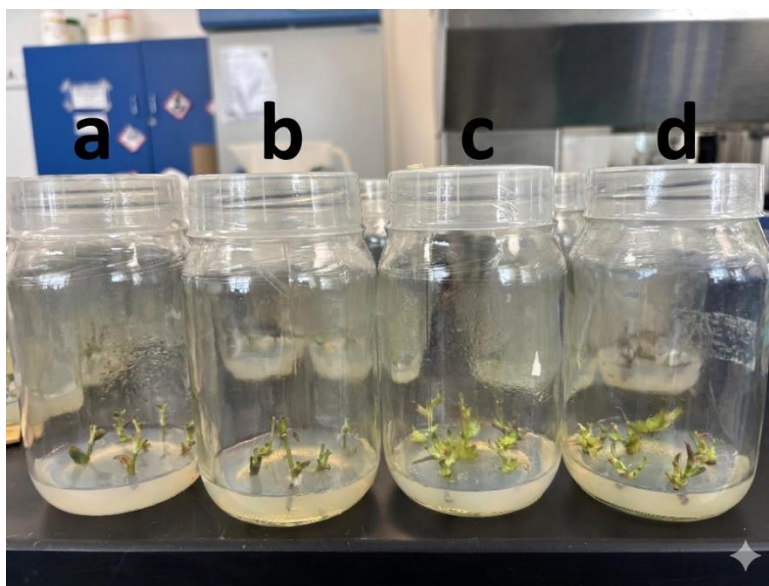


Figura 2. Evaluación de la tasa de proliferación en *T. orchidophylla*. A) Tratamiento blanco con tasas discretas. B) Tratamiento amarillo con brotes de 2.5 cm. C) Tratamiento azul con rendimiento máximo de hasta 33 brotes. D) Tratamiento naranja con registro de hasta 20 brotes.

De manera paralela, se exploró la vía de micropropagación mediante la inducción de callogénesis. Para ello, se utilizaron secciones foliares de *T. orchidophylla* como explantes en 5 variantes de medios de cultivo base (tabla 3), 3 de ellos manteniendo una concentración constante de KIN (0.1 mg/L) y evaluando diferentes niveles de 2,4-D (ácido 2,4-diclorofenaxiacético) (tabla 6), uno con picloram (1mg/L) y otro con dicamba (1mg/L). Los medios de cultivo se esterilizaron como se explicó anteriormente. Estos reguladores de crecimiento también llamados herbicidas hormonales se usaron con el fin de lograr la dediferenciación celular del tejido de *T. orchidophylla* [24].

Tabla 6. Composición de medios con 2,4-D para callogénesis

	MEDIOS		
Compuesto	1	2	3
2,4 D (mg/L)	0.8	1	2
KIN (mg/L)	0.1	0.1	0.1

Al comparar los resultados de inducción de callogénesis (tabla 7), se determinó que existe una relación inversa entre la concentración de 2,4-D y el tamaño final del callo.

Tabla 7. Inducción de callogénesis en medios con 2,4-D

Tratamiento (Medio)	Concentración 2,4-D (mg/L)	Concentración KIN (mg/L)	Respuesta Morfogenética	Observaciones de Tamaño y Textura	Eficiencia (Ejemplares Grandes)
Medio 1	0.8	0.1	Callogénesis Alta	Callos de gran tamaño; relación inversa concentración/crecimiento.	12
Medio 2	1	0.1	Callogénesis Media	Desarrollo moderado con presencia de tejido no desdiferenciado.	5
Medio 3	2	0.1	Proliferación Numérica	Alta cantidad de callos medianos; inhibición de crecimiento macro.	0

El medio 1 (Figura 3A) resultó ser el más efectivo para la obtención de callos de gran tamaño (> 2.0 cm), logrando un total de 12 ejemplares en esta categoría. Por otro lado, el medio 3 favoreció una mayor proliferación de callos medianos (de 1.0 a 2.0 cm), pero inhibió por completo el desarrollo de callos grandes. En cuanto a los medios con Picloram (Figura 3C) y Dicamba (Figura 3D), se confirmó su ineficacia para esta especie ya que no presentan respuesta morfogénica.

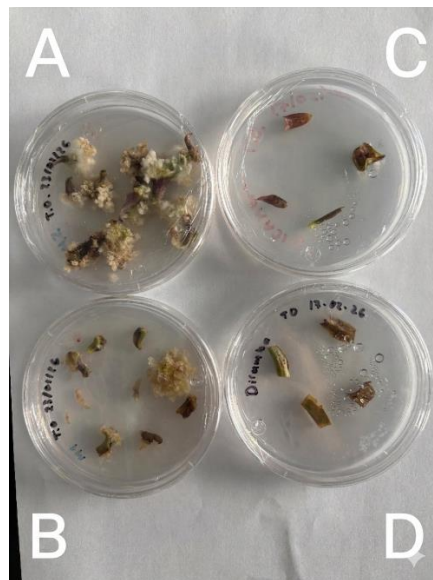


Figura 3. Inducción de callogénesis en *T. orchidophylla*. A) y B) Formación de callos densos mediante el uso de 2,4-D. C) Ausencia de respuesta en medio con Picloram y D) Necrosis tisular en explantes tratados con Dicamba.

Una vez obtenidos los callos en las cajas bases suplementadas con 2,4-D, se procedió a evaluar su potencial de regeneración transfiriéndolos a medios con distintas combinaciones de citocininas y auxinas. Inicialmente, el tejido se subcultivó en medios con AIA y KIN (Figura 4); sin embargo, en las primeras etapas solo se observó la inducción de raíces (rizogénesis).

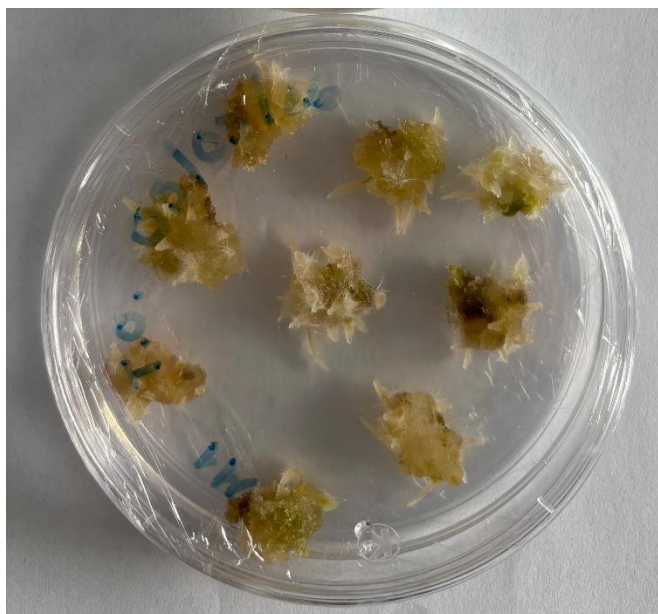


Figura 4. Formación de rizogénesis a partir de callos de *T. orchidophylla*

Para verificar si la formación de rizogénesis era dependiente de la auxina, se realizaron pruebas adicionales utilizando 1 mg/L de KIN obteniendo nuevamente una respuesta rizogénica predominante (Figura 5A). Ante estos resultados, se diseñó un tercer experimento para ajustar el balance hormonal, evaluando medios con concentraciones reducidas de citocininas (0.1 mg/L de KIN y 0.1 mg/L de BA) (Figura 5B). A pesar de estos ajustes, la respuesta se mantuvo orientada hacia la formación de tejido radicular.

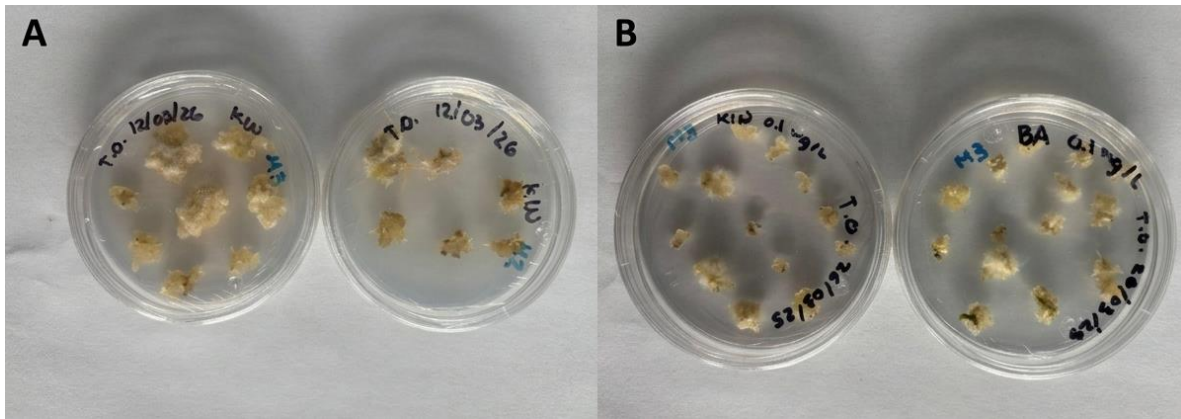


Figura 5. Inducción de rizogénesis a partir de callos de *T. orchidophylla*. A) Medio de cultivo con 1 mg/L de kinetina y B) Medios de cultivo con ajuste hormonal 0.1 mg/L de KIN y 0.1 mg/L de BA

No obstante, tras un periodo de incubación prolongado de un mes en los medios originales de AIA y KIN, se registró la aparición de tejido fotosintético y estructuras vegetativas (Figura 6). Este hallazgo permitió confirmar que esta especie presenta una respuesta de caulogénesis indirecta (formación de tallos y hojas a partir de callo) con una cinética de desarrollo lenta



Figura 6. Tejido fotosintético y estructura vegetativa en callo de *T. orchidophylla*

Experimento 2: Caracterización citogenética

Como base fundamental para establecer una línea de referencia científica, se realizó la caracterización citogenética de ejemplares de *T. orchidophylla* bajo condiciones normales. Inicialmente, se utilizó un medio base (tabla 3) suplementado con AIA y BA para la inducción de ápices radiculares.

Una vez que se observó el desarrollo de raíces, se procedió a recolectarlas para someterlas al proceso siguiendo el protocolo de Rodríguez-Domínguez *et al.* [21]; sin embargo, en ese momento se identificó que la especie produjo una alta densidad de raíces secundarias que se adherían fuertemente a la matriz de agar. Esta condición impidió el aislamiento de material biológico limpio para el análisis. Se experimentó con la inmersión de raíces en agua a temperatura elevada (Figura 7) para disolver los residuos de agar y este material se procesó siguiendo los pasos estándar: pretratamiento con alfa-bromonaftaleno, inmersión en solución fijadora y los lavados correspondientes.



Figura 7. Raíces de *T. orchidophylla* inmersas en agua caliente

No obstante, al intentar la dispersión celular, la viscosidad persistente del agar impidió obtener una suspensión homogénea, por lo que se optó por tratar estas muestras mediante la técnica de extensión por presión (squash). A pesar del esfuerzo, la presencia del polímero impidió la visualización clara de las metafases (Figura 8).

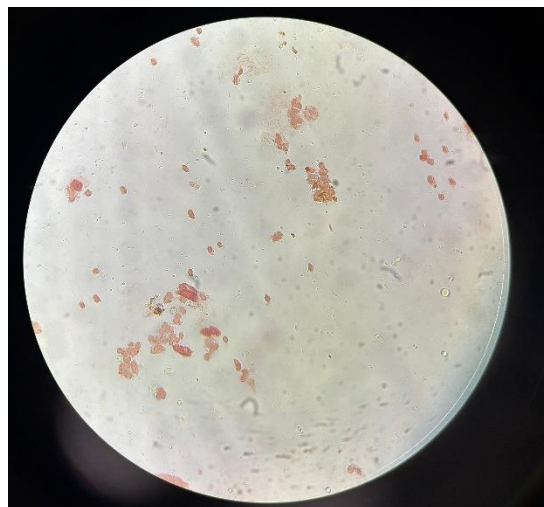


Figura 8. Células vegetales sin metafase

Ante este obstáculo, se emplearon dos rutas alternativas para la obtención de resultados siguiendo el protocolo de conteo de cromosomas mencionado anteriormente: el uso de raíces obtenidas mediante aclimatación en macetas y el uso de yemas activas provenientes del tratamiento de mayor rendimiento. Tras diversas pruebas de optimización, se determinó que la metodología de dispersión en raíces aclimatadas no arrojó resultados positivos. Sin embargo, se logró el éxito experimental utilizando el tejido de las yemas, identificando una combinación de parámetros específica para la especie: un pretratamiento de 48 horas en alfa-bromonaftaleno, seguido de un choque térmico a 65°C en baño maría y la adición de gotas de ácido acético tras el baño para favorecer la hidrólisis. Esta estandarización permitió finalmente la visualización de metafases nítidas, confirmando que el número cromosómico basal de la especie es $2n = 12$ (Figura 9).



Figura 9. Cromosomas de la especie *Tradescantia Orchidophylla*

Experimento 3: Inducción de poliploidía

La inducción de poliploidía se realizó mediante el uso de colchicina al 0.3% en el medio de cultivo base (tabla 3). El objetivo de este agente es inhibir la formación del huso acromático durante la división celular para lograr la duplicación del genoma, sin embargo, este agente en altas cantidades puede ser tóxico y matar a la planta [25].

Tras el tratamiento, se registraron cambios morfológicos (Figura 10) presuntivos de poliploidía en las plantas, tales como un incremento notable en el grosor y tamaño de las láminas foliares, así como la presencia de deformidades morfológicas atípicas. Sin embargo, debido a las restricciones de tiempo, no se ha realizado aún el conteo cromosómico de los individuos tratados con colchicina. La evidencia fenotípica obtenida sugiere una respuesta exitosa, dejando la validación citogenética final como una etapa pendiente para confirmar el aumento en el número de cromosomas.



Figura 10. *Tradescantia orchidophylla* después de someterse a colchicina

1.6. Valoración de productos, resultados e impactos

Este proyecto permitió abordar de manera integral la estandarización de protocolos para la micropropagación de *T.orchidophylla*, respondiendo directamente a la necesidad de general material vegetal suficiente, caracterizado y potencialmente mejorado mediante técnicas biotecnológicas. Además, el desarrollo de estas metodologías contribuye al estudio y aprovechamiento de la especie, así como a la generación de herramientas útiles para futuras investigaciones en el área de la biotecnología vegetal.

En cuanto a los protocolos de micropropagación, los resultados obtenidos mediante proliferación de yemas demostraron que el uso de 6-bencilaminopurina (BA) como citocinina principal favorece significativamente la multiplicación de brotes. Este comportamiento es congruente con lo reportado en la literatura para otras especies ornamentales, donde las citocininas, particularmente BA, promueven la división celular y la activación de meristemos axilares [26][27]. En contraste, tratamientos con auxinas, como el ácido indol-3-acético (AIA), mostraron una menor tasa de inducción, pero favoreciendo la elongación de los brotes, lo cual también coincide con estudios previos donde las auxinas regulan el crecimiento celular y la diferenciación [27].

En el caso de callogénesis, se identificó una relación inversa entre la concentración de 2,4-D y el tamaño del callo, siendo la concentración de 0.8 mg/L la más adecuada para la formación de callos grandes (> 2.0 cm). Este resultado coincide con lo reportado por Ikeuchi *et al.* [28] donde se describe que concentraciones elevadas de auxinas promueven proliferación celular desorganizada, pero limitan la diferenciación y expansión estructural del tejido. Un aspecto relevante del presente estudio es la respuesta nula observada con picloram y dicamba, reguladores que han demostrado alta eficiencia de inducción de callo en otras especies [29], esta discrepancia sugiere una especificidad fisiológica de *T. orchidophylla*.

En cuanto a la regeneración a partir de callo, la predominancia inicial de rizogénesis indica un desbalance hormonal hacia auxinas, lo cual es consistente con los modelos clásicos de Skoog y Miller (1957) [30], donde un alto cociente auxina/citocinina favorece la formación de raíces. Sin embargo, la posterior aparición de estructuras fotosintéticas tras un periodo prolongado de incubación evidencia un cambio gradual en la competencia celular, permitiendo la transición hacia caulogénesis indirecta. Este comportamiento sugiere que, en *T. orchidophylla*, la regeneración no depende únicamente del balance hormonal inicial, sino también de factores temporales y posiblemente epigenéticos, como se ha propuesto en estudios recientes sobre plasticidad celular [31].

En la caracterización citogenética, se logró un aporte significativo al establecer el número cromosómico basal de la especie ($2n=12$), lo cual constituye un resultado clave, ya que

previamente no se contaba con una metodología optimizada para esta especie en condiciones de laboratorio. La adaptación del protocolo, utilizando yemas en lugar de raíces y ajustando condiciones como el pretratamiento con alfa-bromonaftaleno y el choque térmico, permitió superar limitaciones técnicas importantes. Este resultado genera una base sólida para futuros estudios genéticos y de mejoramiento.

Respecto a la inducción de poliploidía, los cambios fenotípicos observados (aumento de tamaño foliar y alteraciones morfológicas) son consistentes con los efectos descritos para la colchicina, la cual inhibe la formación del huso mitótico y promueve la duplicación cromosómica. Sin embargo, la ausencia de confirmación citogenética limita la interpretación de estos resultados, ya que estudios recientes han demostrado que cambios morfológicos no siempre se correlacionan directamente con duplicación cromosómica, pudiendo también deberse a estrés fisiológico inducido por el tratamiento [32].

El impacto de los resultados obtenidos es fundamental para resolver la problemática identificada, ya que se estableció un sistema de micropropagación eficiente que permite la generación masiva de material vegetal en tiempos reducidos y bajo condiciones controladas. Este avance no solo garantiza la disponibilidad de explantes para investigación continua, sino que constituye la base para programas de mejoramiento genético, específicamente mediante la inducción de poliploidía y la selección de variantes con características superiores. En consecuencia, los protocolos desarrollados tienen aplicaciones directas en la conservación de la especie a través de la propagación *in vitro*, así como en su potencial aprovechamiento comercial al optimizar atributos como el vigor, la uniformidad y el valor ornamental.

Respecto al cumplimiento de objetivos, se concluye que estos se alcanzaron de forma satisfactoria en su mayoría. Se logró la estandarización de rutas morfogenéticas y la caracterización citogenética basal de la especie, estableciendo un punto de partida sólido para su manipulación biotecnológica. No obstante, la validación de la poliploidía inducida mediante colchicina permanece como un aspecto pendiente, lo que representa la principal limitación para confirmar la duplicación cromosómica en esta etapa. Este hallazgo define una ruta clara para futuras investigaciones, las cuales deberán enfocarse en la confirmación

citogenética de los individuos tratados, la optimización de la caulogénesis indirecta para reducir tiempos de respuesta y la evaluación de la estabilidad genética en generaciones subsecuentes para consolidar el escalamiento del proyecto.

1.7. Bibliografía y otros recursos

- [1] CIATEJ, “Ciencia y Tecnología para el Desarrollo Sostenible,” 2026. <https://ciatej.mx/el-ciatej/quienes-somos>
- [2] M. C. Reyes, “Plantas con potencial ornamental presentes en los cerros Chalchiuitl, Cuahuitzoc y Cacalotepetl de la comunidad de Caxapotla, Puebla.,” Tesis para obtener el título de Bióloga, Plantas con potencial ornamental presentes en los cerros Chalchiuitl, Cuahuitzoc y Cacalotepetl de la comunidad de Caxapotla, Puebla, 2014. [Online]. Available: <https://repositorioinstitucional.buap.mx/handle/20.500.12371/5248>
- [3] G. Munguía-Lino, Vázquez-García, and J. A. López-Sandoval, “PLANTAS SILVESTRES ORNAMENTALES COMERCIALIZADAS EN LOS MERCADOS DE LA FLOR DE TENANCINGO Y JAMAICA, MEXICO,” *Polibotanica*, Art. no. 1405–2768, 2010, [Online]. Available: <https://polibotanica.mx/index.php/polibotanica/article/view/824/1043>
- [4] S. Hernández-Muñoz, M. E. Pedraza-Santos, P. A. López, J. M. Gómez-Sanabria, and J. L. Morales-García, “Mutagenesis in the improvement of ornamental plants,” *Revista Chapingo Serie Horticultura*, vol. 25, no. 3, pp. 151–167, Jan. 2019, doi: 10.5154/r.rchsh.2018.12.022.
- [5] Cano Sosa and López Puc, “Capítulo 1. Biotecnología vegetal: Conceptos, técnicas y herramientas,” in *Alcances y perspectivas del área de Biotecnología Vegetal del CIATEJ en el Sureste de México*, CIATEJ, 2021. [Online]. Available: https://ciatej.mx/files/divulgacion/divulgacion_6039859dc0d94.pdf
- [6] E. F. George, M. A. Hall, and G.-J. De Klerk, *Plant propagation by tissue culture: Volume 1. The Background*. Springer Science & Business Media, 2007.
- [7] A. Harun, Z. Fang, and C. Chen, “The contributions of cytogenetics, genetics, and epigenetics to the stability of plants polyploidy,” *Discover Plants.*, vol. 1, no. 1, Jul. 2024, doi: 10.1007/s44372-024-00012-3.
- [8] M. F. Seijo *et al.*, “Combinación de técnicas biotecnológicas y tradicionales para la propagación de diferentes especies de bambú,” *Periodica*, vol. 11, no. 3, pp. 163–168, Jul. 2011, [Online]. Available: <https://biblat.unam.mx/hevila/Biotecnologiavegetal/2011/vol11/no3/4.pdf>
- [9] “José Manuel Rodríguez Domínguez.” <https://ciatej.mx/investigacion/investigador/dr-jose-manuel-rodriguez-dominguez>
- [10] “Tradescantia orchidophylla Rose & Hemsl. | Plants of the World Online | Kew Science,” *Plants of the World Online*. <https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:256035-2>
- [11] S. O. Gaona, I. P. Hernández, and B. H. J. De Jong, “Fenología reproductiva de las especies arbóreas del bosque tropical de Tenosique, Tabasco, México,” *Revista De Biología Tropical*, vol. 56, no. 2, pp. 657–73, Nov. 2006, doi: 10.15517/rbt.v56i2.5615.

- [12] M. O. O. Pellegrini, undefinedMorphological phylogeny of Tradescantia L. (Commelinaceae) sheds light on a new infrageneric classification for the genus and novelties on the systematics of subtribe Tradescantiinae.undefined, *PhytoKeys*, 89. 11–72, 2017.
- [13] J. S. A. Cortes, J. A. Godoy, J. D. A. Cortés, and R. M. S. Mora, “Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal,” *Nova*, vol. 17, no. 32, pp. 109–129, Nov. 2019, doi: 10.22490/24629448.3639.
- [14] S. Corneillie *et al.*, “Polyploidy affects plant growth and alters cell wall composition,” *PLANT PHYSIOLOGY*, vol. 179, no. 1, pp. 74–87, Oct. 2018, doi: 10.1104/pp.18.00967.
- [15] M. Niazian and A. M. Nalousi, “Artificial polyploidy induction for improvement of ornamental and medicinal plants,” *Plant Cell Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, vol. 142, no. 3, pp. 447–469, Jul. 2020, doi: 10.1007/s11240-020-01888-1.
- [16] T. Murashige and F. Skoog, “A Revised Medium for Rapid Growth and Bio Assays with Tobacco Tissue Cultures,” *Physiologia Plantarum*, vol. 15, no. 3, pp. 473–497, Jul. 1962, doi: 10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x.
- [17] L. Martínez and J. Gago, “Micropropagación vegetal,” *Rebigo*, vol. 3, no. 64, pp. 59–65, 2008
- [18] D. Lazo and Y. H. Martin, “Estudio comparativo entre la micropropagación y sistema convencional para la producción de plántulas de papa (*Solanum tuberosum* L.) a nivel comercial,” 2009. [Online]. Available: <http://190.119.243.88/handle/20.500.12996/4481>
- [19] M. Rey, “La embriogénesis somática, una herramienta para comprender la biología de la vid,” *Campo Galego*, Jul. 30, 2015. <https://www.campogalego.es/la-embriogenesis-somatica-una-herramienta-para-comprender-la-biologia-de-la-vid/>
- [20] Delgado, M. URIBE LASTRA, and MARULANDA ANGEL, “Standardization of CytogeneticTechniques‘SQUASH’ for Counting ofMitotic Chromosomes in *Rubus glaucus*Benth.,” *Redalcy*, no. Scientia et Technica Año XVII, No 46, Dec. 2010, [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/849/84920977013.pdf>
- [21] J. Rodríguez-Domínguez, L. Ríos-Lara, E. Tapia-Campos, and R. Barba-Gonzalez, “An improved technique for obtaining well-spread metaphases from plants with numerous large chromosomes,” *Biotechnic & Histochemistry*, vol. 92, no. 3, pp. 159–166, Mar. 2017, doi: 10.1080/10520295.2017.1288927.
- [22] I. Kirov, M. Divashuk, K. Van Laere, A. Soloviev, and L. Khrustaleva, “An easy ‘SteamDrop’ method for high quality plant chromosome preparation,” *Molecular Cytogenetics*, vol. 7, no. 1, p. 21, Mar. 2014, doi: 10.1186/1755-8166-7-21.
- [23] A. Saidi and Z. Hajibarat, “Phytohormones: plant switchers in developmental and growth stages in potato,” *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, vol. 19, no. 1, p. 89, Jun. 2021, doi: 10.1186/s43141-021-00192-5.
- [24] G. a. R. Rivera, J. R. Caballero, L. P. Pascual, J. Recasens, and M. R. Hernando, “Mecanismos de acción de los herbicidas en plantas,” *Phytoma España: La Revista Profesional De Sanidad Vegetal*, no. 238, pp. 48–49, Jan. 2012, [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3906789>
- [25] W.-H. Eng and W.-S. Ho, “Polyploidization using colchicine in horticultural plants: A review,” *Scientia Horticulturae*, vol. 246, pp. 604–617, Nov. 2018, doi: 10.1016/j.scienta.2018.11.010.
- [26] J. Csabai, Z. Nagy, and A. Mándy, “In vitroshoot proliferation of *Telekia speciosa*(Schreb.) Baumg. Induced by different cytokinins,” *Acta Biologica Hungarica*, vol. 62, no. 4, pp. 453–462, Nov. 2011, doi: 10.1556/abiol.62.2011.4.10.

- [27] E. N. Matu, K. L. Lindsey, and J. Van Staden, "Micropropagation of *Maytenus senegalensis* (Lam.) Excell," *South African Journal of Botany*, vol. 72, no. 3, pp. 409–415, Apr. 2006, doi: 10.1016/j.sajb.2005.11.005.
- [28] M. Ikeuchi, K. Sugimoto, and A. Iwase, "Plant callus: Mechanisms of Induction and Repression," *The Plant Cell*, vol. 25, no. 9, pp. 3159–3173, Sep. 2013, doi: 10.1105/tpc.113.116053.
- [29] E. Hernández-Meneses, M. C. G. López-Peralta, and A. A. Estrada-Luna, "Callogenesis of *Heliconia collinsiana* GRIGGS in vitro: establishment, induction and proliferation," *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, vol. 4, no. 8, pp. 1175–1186, Dec. 2013, [Online]. Available: <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v4n8/v4n8a5.pdf>
- [30] F. Skoog and C. O. Miller, "Chemical regulation of growth and organ formation in plant tissues cultured in vitro.," *PubMed*, vol. 11, pp. 118–30, Jan. 1957, [Online]. Available: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/13486467>
- [31] M. Ikeuchi *et al.*, "Molecular mechanisms of plant regeneration," *Annual Review of Plant Biology*, vol. 70, no. 1, pp. 377–406, Feb. 2019, doi: 10.1146/annurev-arplant-050718-100434.
- [32] E. Dhooghe, K. Van Laere, T. Eeckhaut, L. Leus, and J. Van Huylenbroeck, "Mitotic chromosome doubling of plant tissues in vitro," *Plant Cell Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, vol. 104, no. 3, pp. 359–373, Jul. 2010, doi: 10.1007/s11240-010-9786-5.

1.8. Anexos generales

Anexo 1. Análisis completo del comparativo de inducción, proliferación y desarrollo longitudinal de brotes en distintos tratamientos hormonales

Tratamiento (Código de color)	Réplica (Frasco)	Número de Brotes	Observaciones de Longitud / Estatus	Promedio de Brotes
PRIMERA RONDA	(Medidos el 4 de feb)		(Siembra: 23 de enero)	
Azul	1, 2, 3, 4	6, 9, 27, 33	Destaca Longitud: 2.5 - 3 cm	18.75
Naranja	1, 2, 3, 4	6, 15, 7, 20	Caja 1: Contaminación. Longitud: 2 - 2.5 cm	12
Amarillo	1, 2, 3, 4, 5	6, 17, 4, 6, 14	Longitud constante: 2.5 cm	9.4
Blanco	1, 2, 3, 4	10, 6, 12, 9	Longitud: 3 cm en frasco 3	9.25
Rojo	1, 2, 3, 4	9, 7, 3, 10	Longitud: 1.5 - 2.5 cm	7.25
Verde	1, 2, 3, 4	4, 5, 12, 6	Longitud: 1.5 cm en frasco 3	6.75
SEGUNDA RONDA	(Medidos el 9 de feb)		(Siembra: 28 de enero)	
Naranja	1, 2	12, 15	Desarrollo constante	13.5
Azul	1, 2	7, 16	Crecimiento vigoroso	11.5

Blanco	1, 2, 3	9, 12, 9	Desarrollo uniforme	10
Rojo	1, 2	9, 8	Tasa discreta	8.5
Amarillo	1	6	Única réplica	6
Verde	1, 2	5, 5	Tasa mínima	5

2. Productos

Para la elaboración de los productos se realizó inicialmente una revisión bibliográfica sobre temas como requerimientos hormonales, métodos de micropropagación, citogenética, entre otros. Posteriormente, se ejecutó una fase experimental que incluyó pruebas de evaluación de diferentes combinaciones de reguladores de crecimiento, formulación de medios de cultivo con colchicina, conteo cromosómico en ápices radiculares y yemas axilares. A partir de los resultados obtenidos, se redactaron los pasos de manera secuencial consolidando la información técnica en un manual de protocolo estandarizado.

Ficha descriptiva 1. Metodología de micropropagación de *Tradescantia orchidophylla*

Nombre y código del PAP	4G03 Programa de Apoyo a la Investigación II
Nombre del proyecto	Establecimiento de protocolos de micropropagación e inducción de poliploidía en <i>Tradescantia orchidophylla</i> en el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ)
Descripción (qué es, para quién se realizó y para qué es):	Información técnica que detalla la ruta crítica para la multiplicación masiva de la especie. Incluye formulación de medio de cultivo, combinación específica de reguladores de crecimiento y condiciones controladas. Este producto permite al CIATEJ estandarizar la producción de la especie de forma controlada.
Autores:	Mariana Michelle Zuno Torres

Ficha descriptiva 2. Caracterización citogenética

Nombre y código del PAP	4G03 Programa de Apoyo a la Investigación II
Nombre del proyecto	Establecimiento de protocolos de micropropagación e inducción de poliploidía en <i>Tradescantia orchidophylla</i> en el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ)

Descripción (qué es, para quién se realizó y para qué es):	Protocolo optimizado para la obtención y observación de metafases en <i>Tradescantia orchidophylla</i> , utilizando yemas activas en lugar de raíces. Este producto está destinado al CIATEJ como base para estudios genéticos y validación de poliploidía.
Autores:	Mariana Michelle Zuno Torres

Ficha descriptiva 3. Inducción de poliploidía

Nombre y código del PAP	4G03 Programa de Apoyo a la Investigación II
Nombre del proyecto	Establecimiento de protocolos de micropropagación e inducción de poliploidía en <i>Tradescantia orchidophylla</i> en el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ)
Descripción (qué es, para quién se realizó y para qué es):	Estrategia preliminar para la inducción de poliploidía en <i>Tradescantia orchidophylla</i> . Se observaron cambios fenotípicos asociados, como aumento en tamaño foliar. Este producto está destinado al CIATEJ para su aplicación en programas de mejoramiento genético
Autores:	Mariana Michelle Zuno Torres

Estos productos están contenidos en el presente trabajo.

3. Reflexión crítica y ética de la experiencia

El RPAP tiene también como propósito documentar la reflexión sobre los aprendizajes en sus múltiples dimensiones, las implicaciones éticas y los aportes sociales del proyecto para compartir una comprensión crítica y amplia de las problemáticas en las que se intervino.

3.1 Sensibilización ante las realidades

Gracias a este proyecto, pude involucrarme de manera más cercana con la realidad que enfrenta actualmente el sector agrícola y científico en México, especialmente en relación con la conservación y mejoramiento de especies vegetales mediante técnicas biotecnológicas. A lo largo del proyecto puse en práctica la idea de que el trabajo científico no solo busca generar conocimientos, sino también ofrecer soluciones que puedan tener un impacto positivo en la producción, conservación y aprovechamiento sustentable en este caso de las plantas.

Durante el desarrollo de este proyecto me fui haciendo más consciente de las necesidades reales que existen en los laboratorios de investigación y en el sector productivo. Observé la importancia de contar con metodologías eficientes, reproducibles y accesibles, así como el esfuerzo y compromiso que requiere el trabajo experimental. También confirmé que detrás de cada investigación existen personas que dedican tiempo y recursos para generar avances que puedan beneficiar a la sociedad y a veces estos no son valorados lo suficiente.

Por último, esta experiencia me permitió reflexionar sobre el papel actual que tenemos los profesionistas en biotecnología y ciencias biológicas. Considero que nuestra labor tiene implicaciones éticas importantes, ya que las herramientas biotecnológicas pueden contribuir a la conservación de recursos vegetales, así como al desarrollo de alternativas para mejorar procesos agrícolas y productivos. Además, entendí que el conocimiento científico debe orientarse hacia aportes sociales reales, buscando siempre generar beneficios sostenibles y accesibles para la sociedad.

3.2 Aprendizajes logrados

Aprendizajes profesionales. Gracias a esta experiencia, logré fortalecer mis habilidades para planificar y ejecutar metodologías de trabajo dentro del laboratorio, así como resolver problemas experimentales relacionados con la contaminación de cultivo y la variabilidad en la respuesta de los explantes. Además, aprendí a analizar resultados de manera más crítica, al igual que mejoré mi capacidad de fundamentar mis decisiones en evidencia científica.

También adquirí conocimientos muy específicos que probablemente solo habría aprendido al introducirme al área de la biotecnología vegetal, como la inducción de poliploidía, el análisis citogenético y el conteo cromosómico para la identificación de cambios en el número de cromosomas. Además, entendí la importancia de las condiciones de cultivo *in vitro* en la respuesta de los explantes y sobre la evaluación de características morfológicas asociadas a posibles cambios genéticos. Estos conocimientos me permitieron comprender de manera más profunda las aplicaciones de la biotecnología vegetal en el mejoramiento y estudio de especies vegetales

Aprendizajes sociales. Durante el desarrollo del proyecto aprendí la importancia del trabajo colaborativo dentro de un ambiente de investigación científica. A lo largo de mi estancia en el laboratorio conviví con investigadores, técnicos y compañeros con diferentes niveles de experiencia y áreas de conocimiento, lo que me permitió desarrollar una mayor capacidad de comunicación, escucha y trabajo en equipo.

Además, comprendí que muchas veces el avance de un proyecto depende no solo del trabajo individual, sino también de la disposición para compartir conocimientos, resolver dudas y apoyar a otras personas dentro del laboratorio. Esta experiencia me ayudó a fortalecer valores como el respeto, la responsabilidad y el compromiso hacia el trabajo colectivo, entendiendo que la colaboración es fundamental para alcanzar objetivos dentro de la investigación científica.

Aprendizajes personales. Esta oportunidad me hizo tener sentimientos de responsabilidad, compromiso y empatía hacia el trabajo científico. En muchos momentos experimenté frustración debido a las dificultades experimentales con las que me encontré, como la contaminación, la variabilidad en las respuestas de los explantes, las modificaciones en los cálculos debido a los materiales disponibles para trabajar y los cambios necesarios en las condiciones de cultivo. Sin embargo, estas situaciones me permitieron desarrollar más mi paciencia, la capacidad de adaptación y pensamiento crítico para buscar soluciones de manera rápida y continuar con los objetivos planteados.

Considero que mi manera de actuar durante el proyecto estuvo influenciada tanto por mis creencias personales como por el razonamiento científico adquirido durante mi formación. Por un lado, siempre traté de trabajar con responsabilidad, respeto y honestidad en cada etapa experimental; por otro, procuré fundamentar cada decisión en evidencia científica y en el análisis de los resultados obtenidos. Esto me ayudó a comprender que la ética profesional no solo implica cumplir normas, sino también actuar con integridad y compromiso hacia el impacto que puede tener la investigación.

3.3 Congruencia con perfil de egreso

Selecciona de cada una de la(s) carrera(s) que colaboraron en el desarrollo de este PAP la competencia que más se puso en práctica y/o se desarrolló:

Humanidades	☐ Arquitectura	Choose an item.
	☐ Arte y creación	Choose an item.
	☐ Ciencias de la comunicación	Choose an item.
	☐ Ciencias de la educación	Choose an item.
	☐ Comunicación y artes audiovisuales	Choose an item.
	☐ Derecho	Choose an item.
	☐ Desarrollo Inmobiliario Sustentable	Choose an item.
	☐ Diseño	Choose an item.
	☐ Diseño de indumentaria y moda	Choose an item.
	☐ Diseño urbano y arquitectura del paisaje	Choose an item.
	☐ Gestión Cultural	Choose an item.
	☐ Gestión Pública	Choose an item.
	☐ Nutrición	Choose an item.
	☐ Periodismo y comunicación pública	Choose an item.
	☐ Psicología	Choose an item.
	☐ Publicidad y comunicación estratégica	Choose an item.
	☐ Relaciones internacionales	Choose an item.
	☐ Traducción e interpretación	
Ingenierías	☐ Ingeniería ambiental/ y tecnologías sustentables	Choose an item.
	☐ Ingeniería Civil	Choose an item.
	☐ Ingeniería de Alimentos	Choose an item.
	☐ Ingeniería Electrónica	Choose an item.
	☒ Ingeniería en Biotecnología	Diseñar, implementar, operar y mantener procesos eficientes y altamente productivos para la elaboración de bioproductos cuidando el balance económico y el impacto ambiental, mediante la integración de conocimientos de ingeniería y de procesos biotecnológicos
	☐ Ingeniería en Ciberseguridad	Choose an item.
	☐ Ingeniería en Desarrollo de Software	Choose an item.
	☐ Ingeniería en Inteligencia Artificial	Choose an item.
	☐ Ingeniería en Mecatrónica	Choose an item.
	☐ Ingeniería en Nanotecnología	Choose an item.
	☐ Ingeniería en Negocios y Servicios Digitales	Choose an item.
	☐ Ingeniería en Sistemas Computacionales	Choose an item.
	☐ Ingeniería en Sistemas Digitales Embebidos	Choose an item.
	☐ Ingeniería Financiera	Choose an item.
	☐ Ingeniería Industrial	Choose an item.
	☐ Ingeniería Mecánica	Choose an item.
	☐ Ingeniería Química	Choose an item.
	☐ Ingeniería y Ciencia de Datos	Choose an item.
Negocios	☐ Administración de Empresas y Emprendimiento	Choose an item.
	☐ Comercio y Negocios Globales	Choose an item.
	☐ Contaduría y Gobierno Corporativo	Choose an item.
	☐ Finanzas	Choose an item.
	☐ Hospitalidad y Turismo	Choose an item.
	☐ Mercadotecnia y Dirección Comercial	Choose an item.
	☐ Negocios y Mercados Digitales	Choose an item.
	☐ Recursos Humanos y Talento Organizacional	Choose an item.