



La investigación, su esencia y arte.

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y AMBIENTAL

TESIS

CITOTOXICIDAD DEL EXTRACTO ACUOSO DE *Schinus molle* “molle” SOBRE
CÉLULAS MERISTEMÁTICAS DE *Allium cepa* “cebolla”.

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Forestal y Ambiental

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

LI1: VALORACIÓN Y USO SOSTENIBLE DE LA BIODIVERSIDAD

OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE:

VIDA DE ECOSISTEMAS TERRESTRES

CAMPO DE LA INVESTIGACIÓN Y EL DESARROLLO OCDE:

1.00.00

PRESENTADO POR:

Bach. Maryori Xiomara Fuentes Gaona

(ORCID: 0009-0003-5184-5804) <https://orcid.org/0009-0003-5184-5804>

https://ctivitaec.concytec.gob.pe/appDirectorioCTI/VerDatosInvestigador.do?id_investigador=331685

ASESOR:

Dr. Charles Frank Saldaña Chafloque

(ORCID: 0000-0001-9537-2680) <https://orcid.org/0000-0001-9537-2680>

https://ctivitaec.concytec.gob.pe/appDirectorioCTI/VerDatosInvestigador.do?id_investigador=128720

Pampas – Perú

2024

FACULTAD DE INGENIERÍA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS EN LA MODALIDAD PRESENCIAL PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL Y AMBIENTAL	
Expediente N° 13-2024-UNAT/FI-EPFA	Página 1 de 1

En esta acta, se hace constar que en el auditorium de Estudios Generales de la Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja "Daniel Hernández Morillo", ubicado en el distrito de Ahuaycha, provincia de Tayacaja, departamento Huancavelica, el día **13 de diciembre del 2024**, a las **15:00** horas, se reunieron los miembros del Jurado Calificador designados con Resolución de Comisión Organizadora N° 316-2023-CO-UNAT, de fecha 12 de setiembre del 2023, con el propósito de llevar a cabo el **Acto de Sustentación** de la tesis de Titulación Profesional:

CITOTOXICIDAD DEL EXTRACTO ACUOSO DE *Schinus molle* "molle" SOBRE CÉLULAS MERISTEMÁTICAS DE *Allium cepa* "cebolla"

Dicha tesis ha sido presentada por la Bachiller en Ingeniería Forestal y Ambiental **FUENTES GAONA MARYORI XIOMARA**, asesorado por el docente Dr. **SALDAÑA CHAFLOQUE CHARLES FRANK**, adscrito al Departamento Académico de Ingeniería Industrial

Después de haber calificado el informe final de tesis, escuchada la sustentación y las respuestas a las preguntas formuladas por el Jurado, se le declara¹: Aprobado, para optar el **Título Profesional de INGENIERO FORESTAL Y AMBIENTAL**, con la calificación de 18, que corresponde a la condición²: Muy bueno.

En consecuencia, la sustentante:

- Queda en condición de recibir el indicado Título Profesional, de conformidad con las normas legales, estatutarias y reglamentarias aplicables en materia del proceso de titulación profesional.
- NO queda en condición de recibir el indicado Título Profesional, de conformidad con las normas legales, estatutarias y reglamentarias aplicables en materia del proceso de titulación profesional.

Siendo las 16:51 horas del mismo día, mes y año, se da por concluido el Acto de Sustentación, firmando a continuación los intervinientes, en señal de conformidad de lo acontecido y consignado.

Dr. GARCIA MENDOZA PEDRO JOSÉ Presidente	M. Sc. ORTECHO LLANOS RONALD Miembro
Dr. SALDAÑA CHAFLOQUE CHARLES FRANK Asesor	

1. Indicar: Aprobado y/o Desaprobado.
2. Indicar: Excelente, Muy Bueno, Bueno, Regular y/o Desaprobado.

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N° 044-2024

EL DIRECTOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE TAYACAJA DANIEL HERNÁNDEZ MORILLO, QUIEN SUSCRIBE:

HACE CONSTAR:

Que la tesis titulado: **CITOTOXICIDAD DEL EXTRACTO ACUOSO DE *Schinus molle* "molle" SOBRE CÉLULAS MERISTEMÁTICAS DE *Allium cepa* "cebolla"**, desarrollado por la bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental **MARYORI XIOMARA FUENTES GAONA**, asesorado por el **DR. CHARLES FRANK SALDAÑA CHAFLOQUE**, cumple con los requisitos de conformidad de originalidad mediante (*software Anti plagio Turnitin*), evidenciándose en el informe de originalidad un porcentaje de similitud de diecinueve (19%), el cual se encuentra dentro del parámetro establecido por la Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo.

Se expide la presente constancia para los fines que estime conveniente.

Pampas, 2 de diciembre de 2024



Dr. Gino Paul Prieto Rosales
Director de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, expreso mi profunda gratitud a Dios por brindarme la sabiduría, la fortaleza y la perseverancia que me han acompañado a lo largo de mi trayectoria académica, y por proveerme de las herramientas necesarias para culminar con éxito este proyecto de tesis.

A mi familia, por su amor incondicional, paciencia y apoyo constante a lo largo de este camino. Por alentarme a seguir adelante incluso en los momentos más difíciles y creer en mí cuando ni yo misma lo hacía. Son el motor que me impulsa a superarme cada día.

A la Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo y a la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental; así mismo a los docentes y compañeros que me acompañaron en esta etapa, quienes con su valioso conocimiento y experiencias enriquecieron mi desarrollo personal y preparación como futuro profesional.

Al Dr. Charles Saldaña Chafloque, mi asesor de tesis, por compartir generosamente sus vastos conocimientos y experiencia. Sus aportes, sugerencias y retroalimentación fueron fundamentales para encaminar este proyecto por el sendero correcto. Sus sabios consejos y visión me permitieron superar los desafíos y mantener el rumbo hacia los objetivos planteados.

DEDICATORIA

A mi querido padre, quien desde el cielo ilumina mi camino y es mi principal inspiración para seguir adelante. A mi amada madre y hermana, quienes con su amor incondicional me impulsan a superarme día a día, alentándome a progresar en cada meta que me propongo alcanzar. Sin su apoyo y cariño, este logro no habría sido posible.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Planteamiento de problema.....	12
1.2. Formulación del problema.....	13
1.2.1. Problema General.....	13
1.2.2. Problemas Específicos	13
1.3. Justificación e Importancia	13
1.4. Objetivos.....	14
1.4.1. Objetivo General.....	14
1.4.2. Objetivos Específicos.....	14
1.5. Formulación de Hipótesis	15
1.5.1. Hipótesis General.....	15
1.5.2. Hipótesis Específico.....	15
II. MARCO TEÓRICO	16
2.1. Antecedentes.....	16
2.1.1. A nivel Internacional.....	16
2.1.2. A nivel nacional	18
2.1.3. A nivel local	20
2.2. Bases teóricas y conceptuales	20
2.2.1. Aspectos generales del molle (<i>Schinus molle</i> L.)	20
2.2.2. Ciclo celular	23
2.2.3. Fases del ciclo celular	24
2.2.4. Citotoxicidad.....	25
2.2.5. Pruebas de citotoxicidad	26
2.2.6. Prueba Allium	26
III. METODOLOGÍA	29
3.1. Tipo de Investigación.....	29
3.2. Nivel de Investigación	29
3.3. Método de Investigación.....	29

3.4. Diseño de Investigación.....	29
3.5. Población, muestra y muestreo	30
3.5.1. Población.....	30
3.5.2. Muestra.....	30
3.5.3. Muestreo.....	31
3.6. Identificación y operacionalización de variables.....	34
3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	34
IV. RESULTADOS	35
4.1. Evaluación del efecto citotóxico del extracto acuoso de <i>Schinus molle</i> L. sobre el crecimiento radicular de <i>Allium cepa</i> a 24, 48 y 72 horas de exposición.....	35
4.1.1. Análisis de Varianza (ANOVA)	36
4.1.2. Análisis Post Anova Tukey y comparación de medias.	37
4.2. Efecto del extracto acuoso de <i>Schinus molle</i> L. sobre el ciclo celular de meristemos radiculares del <i>Allium cepa</i> en los tiempos de exposición de 24, 48 y 72 horas.	40
4.2.1. Análisis de varianza (ANOVA).....	42
4.2.2. Análisis Post Anova Tukey y comparación de medias.	43
V. DISCUSIÓN	48
VI. CONCLUSIONES	51
VII. RECOMENDACIONES.....	52
VIII.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53
IX. ANEXOS	59
ANEXO 1. Evidencias fotográficas	59
ANEXO 2. Base de datos de la longitud de meristemos radiculares en <i>Allium cepa</i> con extracto de <i>Schinus molle</i> L.	62
ANEXO 3. Base de datos del índice mitótico y fases celulares en <i>Allium cepa</i> con extracto de <i>Schinus molle</i> L. a 24 horas	63
ANEXO 4. Base de datos del índice mitótico y fases celulares en <i>Allium cepa</i> con extracto de <i>Schinus molle</i> L. a 48 horas.....	65
ANEXO 5. Base de datos del índice mitótico y fases celulares en <i>Allium cepa</i> con extracto de <i>Schinus molle</i> L. a 72 horas	67

ANEXO 6. ANOVA del índice mitótico y fases celulares en <i>Allium cepa</i> con extracto de <i>Schinus molle</i> L.	69
ANEXO 7. Base de datos de longitud e índices mitóticos en <i>Allium cepa</i> con extracto de <i>Schinus molle</i> y control L.	72
ANEXO 8. Matriz de Consistencia.....	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica.....	20
Tabla 2. Los métodos de prueba Allium - 2 variantes diferentes.....	27
Tabla 3. Exposición de las raicillas a las diferentes concentraciones del extracto.	32
Tabla 4. Operacionalización de variables.	34
Tabla 5. Crecimiento radicular y porcentaje de inhibición de las células meristemáticas de Allium cepa sometidos a diferentes concentraciones de extracto acuoso de <i>Schinus molle</i> L. durante 24, 48 y 72 horas.....	36
Tabla 6. Análisis de varianza para la longitud de raíz de <i>Allium cepa</i> en función de las concentraciones de extracto y tiempos de exposición.	37
Tabla 7. Análisis de medias para la longitud de raíz de <i>Allium cepa</i> en función de las concentraciones de extracto acuoso de <i>Schinus molle</i> L.	38
Tabla 8. Análisis de medias para la longitud de raíz de Allium cepa en función de los tiempos de exposición sometidos en el extracto acuoso de <i>Schinus molle</i> L.....	39
Tabla 9. Índice mitótico y de fases de meristemas radiculares de <i>Allium cepa</i> expuesto a diferentes concentraciones de extracto acuoso preparados con hojas de <i>S. molle</i> L. durante 24 horas.....	41
Tabla 10. Índice mitótico y de fases de meristemas radiculares de <i>Allium cepa</i> expuesto a diferentes concentraciones de extracto acuoso preparados con hojas de <i>S. molle</i> L. durante 48 horas.....	41
Tabla 11. Índice mitótico y de fases de meristemas radiculares de <i>Allium cepa</i> expuesto a diferentes concentraciones de extracto acuoso preparados con hojas de <i>S. molle</i> L. durante 72 horas.....	42
Tabla 12. Resultados del análisis de varianza para las diferentes variables consideradas en el estudio.....	43
Tabla 13. Análisis de medias para el Índice mitótico y de fases de meristemas radiculares de Allium cepa expuesto a diferentes concentraciones de extracto de las hojas de <i>S. molle</i> L....	45
Tabla 14. Análisis de medias para el Índice mitótico y de fases de meristemas radiculares de <i>Allium cepa</i> expuesto a diferentes tiempos de exposición.....	45
Tabla 15. Estadísticas descriptivas de la longitud (cm) de los meristemas radiculares de <i>Allium cepa</i>	62
Tabla 16. Estadísticas descriptivas del Índice mitótico y de fases en los meristemas radiculares de <i>Allium cepa</i> con tiempo de exposición de 24 horas.....	63

Tabla 17. Estadísticas descriptivas del Índice mitótico y de fases en los meristemos radiculares de <i>Allium cepa</i> con tiempo de exposición de 48 horas.	65
Tabla 18. Estadísticas descriptivas del Índice mitótico y de fases en los meristemos radiculares de <i>Allium cepa</i> con tiempo de exposición de 72 horas.	67
Tabla 19. Análisis de varianza del Índice Mitótico.	69
Tabla 20. Análisis de varianza Profase.	69
Tabla 21. Análisis de varianza Metafase.	70
Tabla 22. Análisis de varianza Anafase.	70
Tabla 23. Análisis de varianza Telofase.	71
Tabla 24. Matriz de Consistencia.	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. (A) Fases del ciclo celular y (B) Puntos de Control y Entrada de la información Reguladora al Sistema de Control del Ciclo Celular.	24
Figura 2. Fases de la división celular (mitosis) de células meristemáticas.....	25
Figura 3. Relación entre la longitud promedio de la raíz de <i>Allium cepa</i> y los tiempos de exposición bajo diferentes concentraciones de extracto acuoso de <i>S. molle</i> L.....	39
Figura 4. Relación entre el Índice Mitótico de las células meristemáticas del <i>Allium cepa</i> . y los tiempos de exposición bajo diferentes concentraciones de extracto acuoso de <i>S. molle</i> L.	46
Figura 5. Relación entre el Índice Profásico de las células meristemáticas del <i>Allium cepa</i> y los tiempos de exposición bajo diferentes concentraciones de extracto acuoso de <i>S. molle</i> L.	46
Figura 6. Relación entre el Índice Telofásico de las células meristemáticas del <i>Allium cepa</i> . y los tiempos de exposición bajo diferentes concentraciones de extracto acuoso de <i>S. molle</i> L.	47

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo evaluar la citotoxicidad del extracto acuoso de hojas de *Schinus molle* L. (molle) en células meristemáticas de *Allium cepa* (cebolla). Se prepararon extractos acuosos de hojas de molle en diferentes concentraciones (10, 20, 30 y 40 mg/ml) y se expusieron raíces de cebolla a estos extractos durante 24, 48 y 72 horas. Se evaluaron parámetros como el índice mitótico, el índice de fases y el crecimiento radicular. Los resultados mostraron una disminución significativa en el índice mitótico y alteraciones en el índice de fases en las células expuestas al extracto de molle, lo que indica un efecto inhibitorio sobre la división celular. Además, se observó una reducción en el crecimiento radicular en función de la concentración y el tiempo de exposición al extracto. El análisis estadístico confirmó la significancia de estos efectos. En conclusión, el extracto acuoso de hojas de *S. molle* exhibe un efecto citotóxico sobre las células meristemáticas de *A. cepa*, lo que sugiere la necesidad de evaluar su seguridad y considerar la concentración y el tiempo de exposición en posibles aplicaciones.

Palabras clave: *Schinus molle* L., *Allium cepa*, citotoxicidad, índice mitótico, índice de fases, crecimiento radicular, bioensayo.

ABSTRACT

The study aimed to evaluate the cytotoxic effect of the aqueous extract of *Schinus molle* L. (molle) leaves on meristematic cells of *Allium cepa* (onion). Aqueous extracts of molle leaves were prepared at different concentrations (10, 20, 30, and 40 mg/ml), and onion roots were exposed to these extracts for 24, 48, and 72 hours. Parameters such as the mitotic index, the phase index, and root growth were evaluated. The results showed a significant decrease in the mitotic index and alterations in the phase index in cells exposed to the molle extract, indicating an inhibitory effect on cell division. In addition, a reduction in root growth was observed as a function of the concentration and exposure time to the extract. Statistical analysis confirmed the significance of these effects. In conclusion, the aqueous extract of *S. molle* leaves exhibits a cytotoxic effect on the meristematic cells of *A. cepa*, suggesting the need to assess its safety and consider the concentration and exposure time in potential applications.

Keywords: *Schinus mole* L., *Allium cepa*, cytotoxicity, mitotic index, phase index, root growth, bioassay.

I. INTRODUCCIÓN

La riqueza de la diversidad de plantas medicinales en el Perú ha permitido el desarrollo y la aceptación de la medicina tradicional en las comunidades locales a lo largo de los años (Mejía et al., 2017), que se utilizan para tratar y aliviar diversas enfermedades, la cual ha sido transmitido de generación en generación (Jiménez et al., 2020).

Por otro lado, se ha evidenciado la amplia utilización de herbicidas artificiales en diversas actividades agrícolas, lo cual ha generado un incremento en la contaminación de suelos, aguas superficiales y subterráneas, poniendo en riesgo los ecosistemas y la biodiversidad (Carrquiriborde, 2021); además ha aumentado el riesgo de desarrollo de resistencia en diferentes especies de malezas, dificultando su control y amenazando la productividad de los cultivos y el peligro para la salud humana, ya que numerosos estudios han demostrado su potencial tóxico y sus efectos nocivos a corto y largo plazo (Ullah et al., 2023).

De este modo, en la actualidad existe una creciente preocupación por los efectos negativos de sustancias tóxicas presentes en el medio ambiente y su impacto perjudicial tanto en la salud humana como en el ecosistema. Ante esta realidad, en los últimos años, se ha registrado un aumento gradual en el uso de extractos vegetales para el tratamiento de enfermedades, como una alternativa natural y segura en comparación con los fármacos químicos sintéticos (Lima et al., 2019). Esta tendencia ha impulsado la investigación en busca de herbicidas más seguros y amigables con el medio ambiente (Lorsbach et al., 2019).

En este contexto una de las especies de gran interés es *Schinus molle* L., comúnmente conocida como "molle" o "árbol del Perú", originaria de la zona altoandina de Sudamérica y en el Perú, esta especie ha sido utilizada de forma artesanal como uso medicinal y como un agente insecticida para controlar plagas en la agricultura (Vibrans, 2009). Además, se utiliza para mejorar la fertilidad y prevenir la erosión del suelo, actúa como una barrera contra los vientos, tiene propósitos ornamentales y proporciona sombra y refugio para la vida silvestre (Limachi & Chipana, 2022). Según Pianka (1982), el molle puede ser categorizado como una especie colonizadora eficiente (estratega o planta oportunista), debido a su notable capacidad de adaptación a condiciones edáficas extremas, ya que logra prosperar en suelos compactados y carentes de nutrientes, así como en terrenos con pendientes pronunciadas y suelos arcillosos.

Por tanto, es importante resaltar que *Schinus molle* L. presenta propiedades alelopáticas, lo que significa que posee la capacidad de inhibir el desarrollo y crecimiento de otras plantas

en su entorno cercano; se manifiesta cuando los compuestos químicos presentes en esta especie interactúan con las plantas vecinas, generando un impacto en el medio ambiente circundante, los efectos alelopáticos pueden ser tanto directos como indirectos, y resultar perjudiciales o beneficiosos para las distintas plantas y demás organismos involucrados (Pacheco et al., 2020; Rondón, 2021). Por otro lado, según refiere Nogueira et al. (2021), se utiliza comúnmente para la forestación urbana debido a su valor ornamental. Sin embargo, los autores resaltan la necesidad de realizar bioensayos, ya que estos pueden proporcionar información valiosa sobre el uso de esta especie en la reforestación de áreas degradadas o su potencial aplicación en la producción de bioherbicidas.

1.1. Planteamiento de problema

A pesar de los diversos usos del *Schinus molle* L., en la ciudad de Pampas, existe una falta de información sobre sus posibles efectos citotóxicos en otros organismos y cómo estos efectos pueden variar según las concentraciones en el ciclo celular de los meristemos radiculares. Esta brecha de conocimiento resalta la necesidad de realizar estudios que aborden esta problemática y proporcionen una comprensión más completa de los efectos de esta planta, asegurando su uso seguro y responsable.

La evaluación del efecto citotóxico es fundamental para entender la capacidad de una sustancia de dañar, alterar o inducir la muerte celular. La toxicidad de una sustancia se evalúa mediante la observación de su efecto anti proliferativo, con el recuento directo de células o la inhibición de funciones metabólicas celulares. Para realizar esta evaluación, se utilizan índices mitóticos y de fases del ciclo celular (San Cruz-López & Cabrejo, 2019).

En este contexto, se utilizó el "Allium Test", un método eficaz, sensible y rápido para evaluar los efectos del *S. molle* L., en el *A. cepa*. De acuerdo con Ashutosh et al. (2019), este organismo vegetal se considera adecuado para examinar las alteraciones en el ciclo celular; ya que posee cromosomas grandes y fáciles de observar, además de ser un material biológico de bajo costo y fácil manejo. Asimismo, Fernández et al., (2021) refieren que la implementación del Allium Test se convierte en una valiosa herramienta para evaluar la toxicidad y salvaguardar la salud de los organismos expuestos a estas sustancias químicas.

De esta manera, la investigación tiene como objetivo evaluar los efectos citotóxicos del extracto acuoso de *S. molle* L., "molle" en diferentes concentraciones y tiempos de exposición sobre las células meristemáticas de *A. cepa* en el distrito de Pampas, para contribuir a la toma de decisiones informadas, a futuras investigaciones, a la protección del medio ambiente y a la

salud de la población, especialmente considerando la escasez de estudios sobre la toxicología de plantas medicinales y los riesgos asociados a dosis inadecuadas.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General

¿Cuál es el efecto citotóxico del extracto acuoso de *Schinus molle* L. (molle) sobre las células meristemáticas de *Allium cepa* (cebolla) a diferentes concentraciones y tiempos de exposición?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cómo se ve afectado el índice mitótico en las células meristemáticas de *Allium cepa* “cebolla” cuando se exponen al extracto acuoso de *Schinus molle* L. “molle” a diferentes concentraciones y tiempos de exposición?
- ¿Cómo se ve afectado las fases del ciclo celular en las células meristemáticas de *Allium cepa* “cebolla” cuando se exponen al extracto acuoso de *Schinus molle* L. “molle” a diferentes concentraciones y tiempos de exposición?
- ¿Cuál es el efecto del extracto acuoso de *Schinus molle* L. “molle” en el crecimiento radicular y el porcentaje de inhibición en *Allium cepa* “cebolla” bajo distintas concentraciones y tiempos de exposición?

1.3. Justificación e Importancia

El uso de *Schinus molle* L. (molle), como remedio popular, la rearboreización de áreas degradadas o su potencial aplicación en la producción de bioherbicidas en la ciudad de Pampas plantea la necesidad de investigar los posibles efectos citotóxicos que esta planta puede tener sobre otros organismos. Hasta el momento, se carece de información precisa sobre estos efectos y cómo pueden variar en función de las distintas dosis y tiempos de exposición.

La presencia de *S. molle* L., en el Perú es significativa en el campo de la etnobotánica debido a su utilidad en el control de plagas de cultivos (Wimalaratne et al., 1996); además, es una planta utilizada en diversas aplicaciones medicinales y culinarias. Sin embargo, algunos componentes del molle, como los compuestos fenólicos y flavonoides, pueden tener propiedades citotóxicas en ciertas concentraciones y condiciones de exposición. Por ende, es relevante la evaluación del potencial citotóxico del extracto acuoso de molle para comprender mejor sus efectos en las células, para establecer pautas de seguridad y posibles usos

terapéuticos o alimentarios del molle, evitando posibles efectos negativos en la salud humana o en el medio ambiente.

Dada la creciente preocupación por los posibles efectos negativos de elementos tóxicos en la naturaleza y la salud, es esencial abordar esta problemática a través de la realización de bioensayos. En este sentido, se propone utilizar el Allium Test, un método reconocido por su rapidez, sensibilidad y eficacia en la evaluación de efectos tóxicos en sustancias. Su implementación resulta especialmente relevante, ya que permitirá evaluar la toxicidad del *S. molle* L., en diferentes concentraciones en las células meristemáticas de la especie de *A. cepa* (Fernández et al., 2021).

De tal manera este estudio busca contribuir al campo de la toxicología ambiental al investigar los efectos del *S. molle* L., para determinar si causa daño celular o inhibición de las fases mitóticas en las células meristemáticas del *A. cepa*, así como describir el grado de toxicidad que tiene sobre el crecimiento radicular de la planta. Los resultados obtenidos proporcionarán una base científica sólida que podrá ser considerada por diversas organizaciones tanto públicas como privadas para desarrollar estrategias efectivas de prevención y manejo seguro.

En este contexto, al evaluar el efecto citotóxico del molle en las células meristemáticas de la cebolla, se tendrá como resultado el impacto perjudicial de los compuestos secundarios presentes en esta planta, así como su influencia en aspectos genéticos, se pueden obtener datos significativos sobre su aplicabilidad en la restauración de áreas degradadas o su posible empleo como agentes herbicidas naturales. Además, es importante destacar que, a largo plazo, se espera que este proyecto de tesis contribuya como base de futuros estudios aplicados.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Evaluar la citotoxicidad del extracto acuoso de *Schinus molle* L., “molle” en células meristemáticas de *Allium cepa* “cebolla” a diferentes concentraciones y tiempos de exposición.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Evaluar el índice mitótico en las células meristemáticas de *Allium cepa* “cebolla” sometidos al extracto acuoso de *Schinus molle* L. “molle” a diferentes

concentraciones y tiempos de exposición.

- Evaluar el índice de fases en las células meristemáticas de *Allium cepa* “cebolla” sometidos al extracto acuoso de *Schinus molle* L. “molle” a diferentes concentraciones y tiempos de exposición.
- Calcular el crecimiento radicular y su porcentaje de inhibición en *Allium cepa* “cebolla” expuestas al extracto acuoso de *Schinus molle* L. “molle” a diferentes concentraciones y tiempos de exposición.

1.5. Formulación de Hipótesis

1.5.1. Hipótesis General

El extracto acuoso de *Schinus molle* L. “molle” tiene un efecto citotóxico dosis-dependiente sobre las células meristemáticas de *Allium cepa* “cebolla”.

1.5.2. Hipótesis Específico

- El extracto acuoso de *Schinus molle* L. “molle” tiene un efecto citotóxico dosis-dependiente sobre las células meristemáticas de *Allium cepa* “cebolla”.
- El índice mitótico en las células meristemáticas de *Allium cepa* “cebolla” disminuye progresivamente con el aumento en la concentración del extracto acuoso de *Schinus molle* L. “molle” y el tiempo de exposición.
- El índice de fases en las células meristemáticas de *Allium cepa* “cebolla” se altera diferencialmente según la concentración del extracto acuoso de *Schinus molle* L. “molle” y el tiempo de exposición.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. A nivel Internacional

Cerón & Morera (2022), estudiaron los efectos del herbicida Glifosol en las células meristemáticas del *Allium cepa*, utilizando el test de Allium, un bioensayo ampliamente reconocido para evaluar la toxicidad de sustancias químicas. La metodología se basó en la preparación de cuatro soluciones de Glifosol a diferentes concentraciones (1,88 mg/l, 1,50 mg/l, 0,75 mg/l y 0,38 mg/l), más una solución control. Se expusieron cebollas *A. cepa* a estas soluciones y se midió el crecimiento de las raíces durante 24, 48 y 72 horas. Además, se analizaron los ápices de las raíces para calcular el índice mitótico (IM) y observar anomalías celulares. Sus resultados mostraron que el Glifosol inhibe el crecimiento de las raíces y el índice mitótico en las células de cebolla, lo que sugiere un impacto negativo tanto en el desarrollo de la planta como en la división celular. El estudio concluyó que el Glifosol exhibe efectos fitotóxicos y citotóxicos en el modelo del Allium Test, destacando la necesidad de un manejo cuidadoso de este herbicida en entornos agrícolas.

Silva et al. (2022), investigaron el potencial citotóxico y genotóxico de dos especies de muérdago, *P. acinarius* y *P. cordatus*, cuya metodología se basó en la preparación de extractos acuosos los cuales se aplicaron a raíces del *A. cepa* a diferentes concentraciones (0, 5 y 20 mg/ml) durante un período de exposición de 24 horas. Posteriormente, las raíces fueron transferidas a agua destilada por otras 24 horas para evaluar su recuperación. Se analizaron los índices mitóticos y de alteraciones cromosómicas en las células meristemáticas de las raíces. Los resultados evidenciaron una inhibición del índice mitótico y alteraciones cromosómicas en las células meristemáticas de *A. cepa*, indicando propiedades citotóxicas y genotóxicas. El estudio concluyó que ambas especies de muérdago presentan propiedades citotóxicas y genotóxicas, lo que sugiere la necesidad de precaución en su uso. Además, demuestra la importancia del test de *A. cepa* como una herramienta para evaluar los efectos de sustancias químicas en la división celular.

Nogueira et al. (2021), investigaron los efectos fitotóxicos y citotóxicos de extractos etanólicos y acuosos de diferentes estructuras del molle (hojas, inflorescencias, frutos verdes y maduros) en semillas de la lechuga. Para ello, se prepararon extractos

acuosos al 5% y extractos etanólicos de las diferentes estructuras del molle. Se expusieron semillas de lechuga a concentraciones crecientes (0, 5, 10, 20 y 40 mg/ml) de ambos extractos y se evaluaron diversos parámetros de crecimiento y desarrollo, así como el índice mitótico y las anomalías cromosómicas. Los resultados mostraron que ambos extractos, etanólico y acuoso, del molle exhibieron efectos fitotóxicos, lo que indica que esta especie, a pesar de su uso común en la arborización urbana, puede afectar negativamente el crecimiento y desarrollo de otras plantas. El estudio concluyó que es necesario reevaluar y tener cuidado al utilizar *S. molle* L. en proyectos de reforestación y arborización urbana, considerando su potencial impacto en el ecosistema circundante.

Por su parte Altamirano et al. (2020), evaluó la seguridad de la *Moringa oleifera*, una planta ampliamente utilizada en la medicina tradicional, utilizando el test de *Allium cepa*, un bioensayo reconocido por su sensibilidad para detectar sustancias potencialmente dañinas. Las raicillas de la cebolla fueron expuestas a diferentes concentraciones de los extractos acuosos (25 g/l, 50 g/l y 100 g/l) durante 48 horas. Se utilizó el análisis de varianza “ANOVA” y pruebas de comparaciones múltiples para determinar la significancia estadística de los resultados. El estudio encontró una disminución en los índices mitóticos a medida que aumentaba la concentración del extracto de *M. oleifera*, lo que sugiere un efecto inhibitorio sobre la división celular, lo cual destaca que las células de los meristemas apicales de la cebolla son sensibles a una amplia gama de alteraciones citológicas, lo que las convierte en un material biológico eficaz para detectar sustancias potencialmente dañinas para la salud humana y el medio ambiente.

Koynova et al. (2017), investigaron los posibles efectos nocivos de la contaminación del suelo en un área recreativa urbana. El estudio utilizó el test de *Allium cepa*, un bioensayo ampliamente utilizado para evaluar la toxicidad de diversos contaminantes ambientales. Se expusieron raíces de cebolla a suspensiones de suelo y agua, y se analizaron diversos parámetros microscópicos, como el índice mitótico, las anomalías mitóticas y la presencia de micronúcleos o células binucleadas. Los resultados revelaron una disminución en la actividad mitótica y cambios en la proporción de fases mitóticas en las células meristemáticas de las raíces de cebolla expuestas a muestras de suelo, lo que indica un efecto citotóxico. Estos hallazgos resaltan la importancia de monitorear la calidad ambiental en áreas urbanas y el potencial del test de *Allium cepa* como una herramienta para evaluar la toxicidad de muestras ambientales complejas.

El estudio de Muñoz & Guerrero (2013), utilizaron el test de *Allium* para determinar el efecto citotóxico y genotóxico de extractos naturales en células meristemáticas de *Allium cepa*, centrado en la estandarización del bioensayo *Allium* test para evaluar la toxicidad de extractos naturales. El estudio resalta la creciente utilización de compuestos naturales en tratamientos terapéuticos y la necesidad de evaluar su seguridad mediante estudios de toxicidad. El *Allium* test, que utiliza cebollas (*Allium cepa*) como modelo biológico, es un método eficaz y económico para detectar la citotoxicidad (efectos tóxicos a nivel celular) y la genotoxicidad (daño al material genético) de diversas sustancias. Los autores reglamentaron el protocolo del *Allium* test en su laboratorio, observando las diferentes fases del ciclo celular en las células meristemáticas de las raíces de cebolla. El estudio concluyó que el *Allium* test es una herramienta valiosa para evaluar la seguridad de extractos naturales y otros compuestos, contribuyendo así a garantizar la eficacia y seguridad de los tratamientos terapéuticos.

2.1.2. A nivel nacional

Ruiz & Salazar (2021), estudiaron la composición química y actividad antibacteriana de los aceites esenciales de cuatro especies distintas, incluyendo el Molle, identificando 37 compuestos volátiles en el aceite esencial de las hojas de molle, siendo los principales α -felandreno (19,59%), canfeno (19,10%) y α -pineno (16,56%). En cuanto a la actividad antibacteriana, el aceite esencial de molle mostró una excelente actividad contra *Staphylococcus epidermidis*, actividad moderada contra *Staphylococcus aureus* y ninguna actividad contra *Pseudomonas aeruginosa*. El estudio concluyó que el aceite esencial de molle tiene un gran potencial antibacteriano, especialmente contra bacterias Gram-positivas, lo que respalda su uso tradicional en la medicina popular. Además, destaca el potencial de *S. molle* L. como fuente de compuestos bioactivos y la necesidad de futuras investigaciones sobre su citotoxicidad para evaluar su seguridad y aplicaciones terapéuticas.

Fernández et al. (2021), evaluó la citotoxicidad y genotoxicidad del extracto acuoso de *Matricaria chamomilla* (manzanilla) sobre células meristemáticas de *Allium cepa*, en el cual se expuso bulbos de *Allium cepa* a diferentes concentraciones del extracto (10, 20 y 30 mg/ml) durante un período de 24 horas y se utilizó el test de *Allium cepa* para analizar el índice mitótico (IM), el índice de fases, las alteraciones celulares y el crecimiento de las raíces. El estudio reveló una disminución significativa del índice

mitótico y la presencia de aberraciones celulares (macronúcleos y células binucleadas) en las células tratadas con el extracto de manzanilla, lo que evidencia un efecto citotóxico y genotóxico. Además, se observó la disminución en la longitud de raíz, lo que indica un efecto inhibitorio en el crecimiento. El estudio concluyó que el extracto acuoso de manzanilla, incluso en concentraciones relativamente bajas y con una exposición de 24 horas, puede tener efectos nocivos a nivel celular, lo que sugiere la necesidad de un consumo prudente y controlado de esta planta medicinal.

Llapo & Llontop (2019), evaluaron el efecto del extracto acuoso de hojas de *Cordia lutea* sobre células meristemáticas de *Allium cepa*. Se expusieron raicillas de cebolla a diferentes concentraciones del extracto (0,06%, 0,12%, 0,25%, 0,5%, 1%, 2%, 4% y 8%) durante 48 y 72 horas, luego se evaluó el crecimiento radicular y el índice mitótico (IM). El estudio presentó una disminución significativa tanto en el crecimiento de las raíces como en el IM a medida que aumentaba la concentración del extracto, especialmente a partir de concentraciones del 1%. Además, se observó un incremento en el índice profásico, lo que sugiere un bloqueo en la progresión del ciclo celular. Se concluyó que el extracto acuoso de hojas de *Cordia lutea* tiene un efecto citotóxico sobre las células de cebolla, lo cual respalda la necesidad de investigar más a fondo su seguridad y posibles efectos adversos.

Santa Cruz & Cabrejo (2019), evaluaron el efecto citotóxico y genotóxico del extracto acuoso de *Physalis peruviana* L. (aguaymanto) sobre células meristemáticas de *Allium cepa* (cebolla) y linfocitos humanos. Se utilizaron diferentes concentraciones del extracto (10, 20 y 30 mg/ml) y se evaluaron parámetros como el índice mitótico, el índice de fases y la presencia de aberraciones cromosómicas. Los resultados presentaron una disminución en el índice mitótico y alteraciones celulares, incluyendo células binucleadas y puentes cromosómicos, lo que sugiere un efecto citotóxico y genotóxico del extracto de aguaymanto. El estudio concluyó que el extracto acuoso de hojas de *Physalis peruviana* puede tener efectos nocivos a nivel celular y genético, resaltando la importancia de realizar más investigaciones para comprender completamente sus efectos y garantizar un uso seguro.

Aybar & Zavala (2016), evaluaron el efecto citotóxico y genotóxico del extracto acuoso del pericarpio de *Caesalpinia spinosa* (tara) en células meristemáticas de *Allium cepa* L. var. Arequipeña, investigando los posibles efectos nocivos de la tara. Se

expusieron las raíces a diferentes concentraciones (0%, 0.42%, 0.83%, 1.25% y 1.67%) y tiempos de exposición (8 y 24 horas) para evaluar el índice mitótico (IM) como indicador de citotoxicidad. La evaluación del efecto mostró una disminución significativa del IM en todos los tratamientos con extracto de tara en función del incremento de las concentraciones y el tiempo de exposición, lo que sugiere su potencial citotóxico. El estudio destaca el uso de *Allium cepa* como un bioindicador eficaz para evaluar la citotoxicidad de extractos vegetales y propone posibles mecanismos de acción. Estos hallazgos respaldan el uso tradicional de la tara en medicina popular y abren posibilidades para futuras investigaciones.

2.1.3. A nivel local

Si bien *Schinus molle* L. es ampliamente utilizado en la medicina tradicional y reconocido por su potencial en proyectos de reforestación, la revisión de la literatura científica revela una escasez de estudios locales que se enfoquen en evaluar detalladamente los posibles efectos citotóxicos de su extracto acuoso.

2.2. Bases teóricas y conceptuales

En el contexto peruano, la investigación sobre bioensayos es limitada, enfocándose principalmente en la toxicidad de aguas residuales y careciendo de ensayos in vitro con concentraciones controladas (Daam et al., 2019). Asimismo, la creciente preocupación por la degradación ambiental ha resaltado la importancia de especies vegetales con capacidad de adaptación y potencial para la reforestación (Nogueira et al., 2021). En este sentido, *Schinus molle* L. (molle), un árbol ampliamente distribuido en América Latina, ha despertado gran interés por sus múltiples usos.

2.2.1. Aspectos generales del molle (*Schinus molle* L.)

2.2.1.1. Clasificación Taxonómica

Tabla 1.

Clasificación taxonómica.

Reino: *Plantae*

Sub Reino: *Traqueobionta*

Super División: *Spermatophyta*

División: *Magnoliophyta*

Clase: *Magnoliopsida*

Sub Clase: *Rosidas*

Orden: *Spindales*

Familia: *Anacardiaceae*

Género: *Schinus*

Especie: *Schinus molle* L.

Nombre Vulgar: molle

Fuente: (Rondón, 2021).

2.2.1.2. Distribución y Hábitat

Schinus molle L., es un tipo de árbol con hojas perennes que es originario de Perú y se ha propagado por toda la región andina, incluyendo Bolivia, Chile y Ecuador, durante la época prehispánica. Posteriormente, los conquistadores españoles propagaron el árbol al resto de América Central y México durante la época colonial, donde recibió el nombre de "Árbol de Perú". Hoy en día se ha verificado la presencia de esta especie en todas las regiones del Perú, así como en otras partes del mundo incluyendo África, la región Mediterránea y la India (Alzamora, 2021).

De acuerdo Vásquez et al. (2009), esta planta tiene una amplia distribución en áreas cercanas a carreteras, en zonas perturbadas con vegetación secundaria, en terrenos pedregosos y en colinas. También se encuentra en terrenos agrícolas y en pendientes con inclinaciones entre el 20% y el 40%. Puede adaptarse a diferentes tipos de clima, como subtropical, cálido-templado, semiárido, templado seco y templado húmedo. Aunque no es exigente en cuanto al tipo de suelo, muestra preferencia por suelos arenosos. Además, puede tolerar suelos de textura pesada, así como aquellos que están muy compactados o tienen una gran cantidad de piedras. Además, Alba et al. (2009) menciona que su límite superior de distribución se encuentra alrededor de los 3500 msnm, en el centro y sur de Perú. En cuanto a su distribución altitudinal, puede variar desde el nivel

del mar hasta los 3800 m.s.n.m. La precipitación anual en estas áreas varía entre 300 y 2000 mm, y las temperaturas oscilan entre 18° y 34°C.

2.2.1.3. Descripción Botánica

Según Conabio (2009), el árbol es de hoja perenne y puede alcanzar entre 4 y 15 metros de altura, con un diámetro de tronco entre 25 y 35 centímetros. Tiene una copa redondeada y abierta que proporciona sombra moderada. Las hojas son compuestas, alternas, colgantes y contienen savia lechosa. Son hojas imparipinnadas entre 15 a 41 folíolos típicamente apareados, que miden de 0.85 a 5 centímetros de largo. Los folíolos son estrechamente lanceolados y de color verde amarillento. El tronco tiene nudos y las ramas son flexibles, colgantes y extendidas. La corteza es rugosa, con fisuras y de color marrón oscuro, mientras que la madera es dura y compacta. Las flores se encuentran en panículas axilares de las hojas terminales, midiendo entre 10 a 15 centímetros. Son flores muy pequeñas y numerosas, de color amarillento y 6 milímetros de diámetro. Los frutos son drupas agrupadas en racimos colgantes, con un diámetro de 5 a 9 milímetros. Estos frutos son de color rosado o rojizo, con una cubierta exterior coriácea y brillante que se seca al madurar. El embrión dentro de la semilla es grande y llena toda la cavidad. El sistema radical es extenso y superficial. Se considera una especie monoica con 28 cromosomas.

2.2.1.4. Usos y aplicaciones

Según Alba et al. (2009), se mencionan las propiedades medicinales de distintas partes de la especie *S. molle* de la siguiente manera:

- Fruto: Se puede utilizar para tratar casos de retención urinaria y desórdenes del ciclo menstrual como amenorrea, sangrados abundantes, menopausia y síndrome premenstrual (Carrión, 2010). También se emplea como antirreumático, expectorante y para tratar infecciones causadas por parásitos o bacterias.
- Hojas: De acuerdo a lo informado por Conabio (2009), las hojas ya sea en forma de cocimiento o machacadas, se utilizan en lavados para enfermedades venéreas como la gonorrea, así como para aliviar ojos irritados, conjuntivitis y cataratas. Además, se emplean en la cicatrización, como digestivo, profilaxis dental y antirreumático.

- Resina y corteza: A pesar de que la resina de este árbol puede ser altamente peligrosa, se ha utilizado tradicionalmente para aliviar el dolor de muelas y dientes dañados. Aplicada sobre la piel, produce una esencia repelente de mosquitos y ayuda en la cicatrización de heridas (Carrión, 2010). La corteza del árbol también tiene usos medicinales. Al preparar una infusión con la corteza se puede reducir la inflamación y promover la cicatrización de úlceras. Tradicionalmente, esta infusión se ha utilizado en prácticas de limpias o barridos para tratar padecimientos como el mal de aire, susto y espanto (Díaz & Rebolledo, 2021).

Además de sus propiedades medicinales, el árbol de molle tiene otros usos. Su fruto se puede utilizar para fermentar bebidas alcohólicas. Las hojas proporcionan tintes y saborizantes. La corteza se usa como aromatizante. Al cocer las hojas y aplicarlas, se ha observado que reducen la inflamación. Las hojas húmedas curan heridas y lesiones. Los mineros usan coronas de hojas como repelente de mosquitos (Monge et al., 2021).

2.2.2. Ciclo celular

El ciclo celular consiste en una serie de etapas por las que pasa una célula para replicarse a sí misma mediante división celular, generando una copia idéntica de la célula original, lo que permite el crecimiento y reemplazo celular a medida que se desgastan; Lagunas et al. (2014), refiere que es fundamental para la reproducción de los organismos porque asegura que el proceso se lleve a cabo de forma adecuada y con la regulación adecuada. Consta de dos fases: la interfase, que se divide en las sub fases G₁, S y G₂, y otra fase conocida como mitosis, que se divide en las fases profase, metafase, anafase, telofase y citocinesis (Benites et al., 2011).

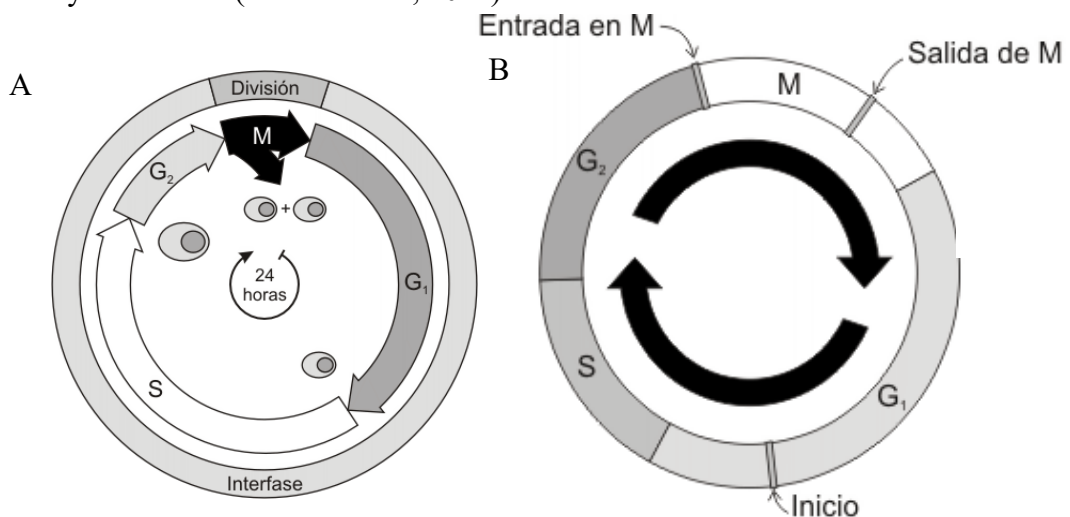


Figura 1.

(A) Fases del ciclo celular y (B) Puntos de Control y Entrada de la información Reguladora al Sistema de Control del Ciclo Celular.

Fuente: (Márquez et al. 2018)

El objetivo del ciclo celular, que consta de las cuatro fases G1, S, G2 y M, es producir células hijas genéticamente idénticas, permitir su desarrollo y crecimiento. En comparación con los mamíferos, las plantas poseen genomas que contienen familias de proteínas del ciclo celular de mayor tamaño (Garza et al., 2014).

2.2.3. Fases del ciclo celular

Fase G1 (Gap 1 o intervalo)

La fase G1 del ciclo celular ocurre después de la fase M y antes de la fase S, con una duración aproximada de 8 a 10 horas. Durante la fase G1 tiene lugar una intensa actividad metabólica, especialmente la síntesis de diversas macromoléculas como ARN, proteínas y hormonas, además del crecimiento celular continuo mediante la duplicación de orgánulos. La célula también evalúa su entorno y progresa hacia la fase S cuando está lista para replicar su ADN. Sin embargo, no todas las células entran en la fase S, algunas permanecen latentes en la fase G0 durante horas, días o incluso años, como ocurre en ciertos tipos celulares como las neuronas (Muñetón, 2007).

Fase S (Síntesis)

Durante la fase S del ciclo celular tiene lugar el complejo proceso de replicación o síntesis de ADN nuclear, que involucra numerosos procesos enzimáticos. Es en esta fase donde se duplica el material genético de la célula. La duración promedio en la mayoría de las células es de entre 6 y 8 horas (Muñetón, 2007).

Fase G2

La fase G2 del ciclo celular ocurre después de la fase S y antes de la fase M o mitosis, con una duración de 2 a 4 horas aproximadamente. Al igual que la fase G1, en la fase G2 existe una intensa actividad metabólica. Durante la fase G2 la célula verifica que la replicación del ADN haya finalizado correctamente, asegurando la duplicación total de su material genético. Además, continúa el crecimiento celular, incrementando el tamaño para prepararse adecuadamente para la división mitótica (Megías et al., 2020).

Fase M (Mitosis)

La mitosis es un proceso esencial en todos los organismos que consiste en la división del núcleo celular. Consta de cuatro etapas: profase, metafase, anafase y telofase. La mitosis culmina con la citocinesis, que comienza en la telofase y da como resultado la separación del citoplasma y la formación de dos células hijas idénticas. Durante la mitosis existe un punto de control llamado punto de control M, que verifica la correcta alineación de los cromosomas. Todo el proceso dura aproximadamente una hora, de manera que cada una de las cinco etapas nucleares y la citocinesis tienen lugar en minutos (Rodríguez & Frías, 2014).

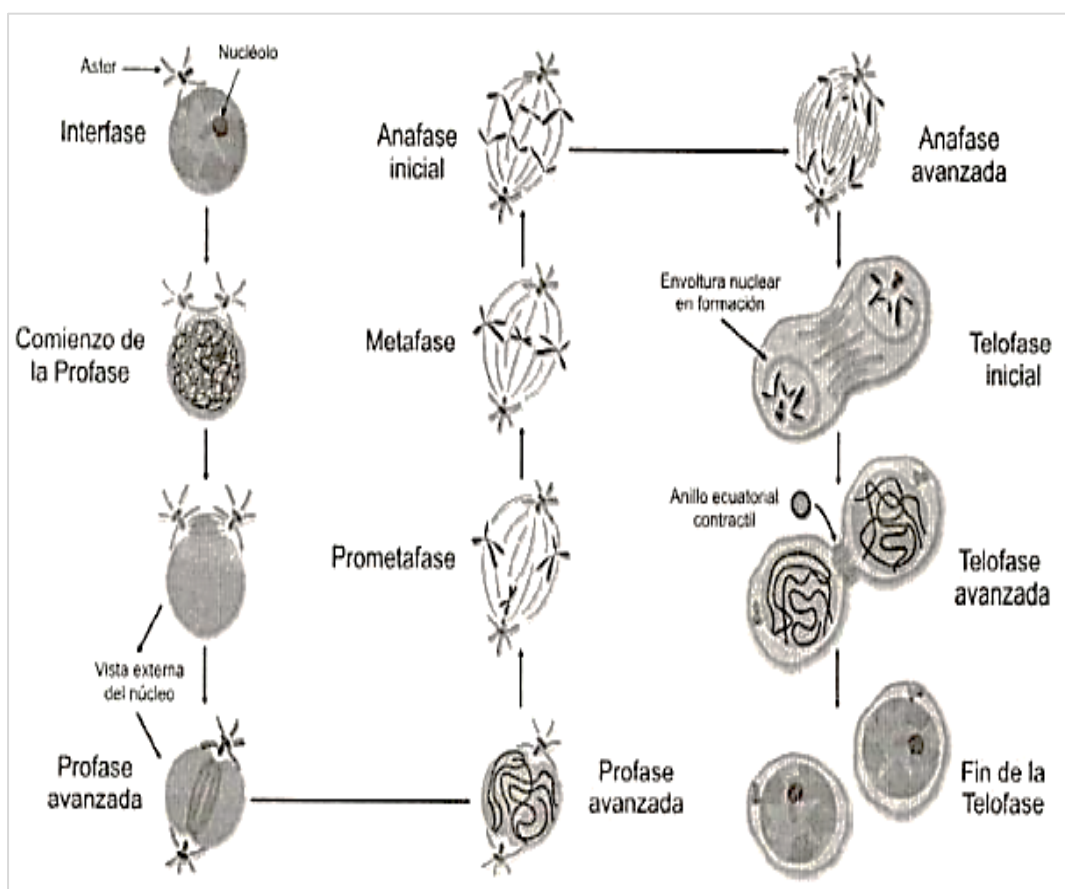


Figura 2.

Fases de la división celular (mitosis) de células meristemáticas.

Fuente: (Muñetón Peña, 2007).

2.2.4. Citotoxicidad

La citotoxicidad se refiere a la capacidad de una sustancia o agente para dañar o destruir células vivas, esto se refiere a los efectos adversos que una sustancia puede tener en

organismos vivos en general. Esto puede incluir efectos tóxicos en tejidos, órganos o sistemas biológicos, así como la capacidad de inducir respuestas inflamatorias o alteraciones en la función celular (Owolarafe et al., 2020).

2.2.5. Pruebas de citotoxicidad

Las pruebas de citotoxicidad son pruebas que se utilizan para evaluar la capacidad de una sustancia química para dañar o destruir células vivas, se realizan en células vivas en cultivo y se utilizan para evaluar la toxicidad de una sustancia química en diferentes tipos de células. Sin embargo, es importante tener en cuenta que los resultados de las pruebas de citotoxicidad pueden variar según el tipo de célula utilizada y las condiciones de la prueba, y que los resultados de las pruebas de citotoxicidad no siempre se correlacionan con los efectos tóxicos en organismos completos (Díaz et al., 2004).

Las pruebas de citotoxicidad se utilizan para determinar la cantidad de células que mueren luego de ser expuestas a diferentes compuestos. Existen varias pruebas que miden el efecto en el ADN, las cuales sirven como referencia para analizar con la prueba *Allium cepa*, que permite visualizar a mayor resolución el daño en los cromosomas de las células expuestas a los compuestos en estudio (Muñoz & Guerrero, 2013).

La citotoxicidad de un químico o compuesto en evaluación puede establecerse según el cambio en el índice mitótico (IM), el cual indica si hay inhibición en la división celular (Causil et al., 2017). Este IM se emplea como indicador de citotoxicidad en estudios de monitoreo ambiental (Smaka-Kincl et al., 1996). Por lo tanto, el nivel de citotoxicidad se determina por la disminución del IM, considerándose letal si cae por debajo del 22% respecto al control negativo y subletal si disminuye por debajo del 50% (Sharma & Pal, 2012); a este último se le conoce como el valor límite citotóxico.

2.2.6. Prueba Allium

La prueba Allium brinda una forma rápida de detectar sustancias químicas, contaminantes u otros agentes que pueden representar riesgos ambientales. La detección de la inhibición del crecimiento de las raíces y los efectos negativos en los cromosomas proporciona una indicación de la posible toxicidad asociada (Fiskesjö, 1985). La prueba es un modelo de ensayo in vivo altamente efectivo que permite evaluar el impacto de sustancias, se utiliza ampliamente a nivel mundial como un indicador biológico en pruebas de citotoxicidad. Este método permite evaluar de manera efectiva los riesgos de

aneuploidía tras la exposición a diversos compuestos. Entre sus beneficios se cuentan la sencillez en la preparación de muestras y el análisis de los cromosomas en células de la raíz de cebolla (López et al., 2016).

La prueba de *Allium cepa* utiliza células de la raíz de cebolla para medir el índice mitótico, el índice de fases y el crecimiento radicular, además de evaluar los efectos de diversos productos químicos sobre la división celular y la estructura cromosómica. Existen dos variantes de esta metodología: la forma original y la modificada. En ambas se usan células meristemáticas de *A. cepa* para analizar los efectos sobre la división celular, para evaluar los efectos sobre la división celular y la estructura cromosómica (Fiskesjö, 1985).

A continuación, se describen los pasos para cada versión:

Tabla 2.

Los métodos de prueba Allium - 2 variantes diferentes.

Forma original:
Día 0: Crecimiento en el agua
Día 1: Cambio de agua a soluciones de prueba
Día 2: Preparaciones de portaobjetos microscópicos
Día 3-4: Observaciones macroscópicas

Forma modificada:
Día 0: Comience directamente en líquidos de prueba
Día 1: Cambio de líquidos
Día 2: Preparaciones de portaobjetos microscópicos
Día 3-4: Involucra observaciones macroscópicas, fotografías de las series de cebollas, y medición de la longitud de los brotes de raíces.

Nota: Comparación concisa de las dos variantes del método de prueba Allium, destacando las diferencias clave en el procedimiento experimental.

Fuente: (Fiskesjö, 1985).

En ambas variantes, los portaobjetos de microscopio se preparan y tiñen con 2 % de orceína en un 45 % de solución de ácido acético (HAc) u otra técnica de tinción ampliamente utilizada, como la tinción de Feulgen. Las observaciones macroscópicas implican la evaluación del crecimiento radicular y la presencia de aberraciones cromosómicas en el ensayo que se realiza (Fiskesjö, 1985).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo de Investigación

Según su alcance, el tipo de investigación es experimental aplicada, por la manipulación controlada de la concentración del extracto de *Schinus molle* L. para evaluar su efecto citotóxico en células meristemáticas de *Allium cepa*, buscando establecer una relación causal entre la concentración del extracto y la respuesta celular, alineándose con la definición de Mihelcic & Zimmerman (2017) de investigación aplicada que busca soluciones efectivas que contribuyan a la conservación y protección del entorno natural y la sostenibilidad.

3.2. Nivel de Investigación

El nivel de investigación es explicativo, ya que busca identificar las causas detrás de la relación entre las variables, estas se definen como las concentraciones y los tiempos de exposición del extracto acuoso de *Schinus molle* L. (molle), consideradas como la "variable independiente", y la citotoxicidad en células meristemáticas de *Allium cepa* (cebolla), que actúan como las "variables dependientes".

3.3. Método de Investigación

El método de investigación empleado es inductivo, dado que se elaboran conclusiones generales a partir de antecedentes y datos específicos recopilados previamente. Según Cazau (2011), el método lógico-deductivo se compone de dos procesos opuestos: la inducción y la deducción. La inducción se basa en observar repetidamente hechos y sucesos, identificando similitudes para inferir conclusiones sobre sus características.

3.4. Diseño de Investigación

El diseño de investigación es experimental con un enfoque cuantitativo, específicamente un diseño estadístico completamente aleatorio, con arreglo factorial de los tratamientos con dos factores, un factor A y un factor B.

Factores:

Factor A: Concentraciones del extracto acuoso de *Schinus molle* L.

- 5 niveles: 0 mg/ml, 10 mg/ml, 20 mg/ml, 30 mg/ml y 40 mg/ml

Factor B: Tiempos de exposición

- 3 niveles: 24 horas, 48 horas y 72 horas

El diseño experimental comprendió 16 tratamientos en total: 15 tratamientos resultantes de la combinación factorial de los niveles de concentración y tiempo de exposición, más un grupo control (blanco) sin exposición al extracto. Los tratamientos fueron distribuidos de manera completamente aleatoria entre las unidades experimentales (raíces de *Allium cepa*), realizándose una pos prueba para evaluar el efecto en el crecimiento radicular.

El modelo estadístico es un ANOVA (Análisis de Varianza) de dos vías, expresado matemáticamente como, conforme a Steel y Torrie (1998):

$$Y_{ij} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Observación de la variable respuesta obtenida del tratamiento con el i-ésimo nivel del factor A y el j-ésimo nivel del factor B.

μ = Media general.

A_i = Efecto fijo del i-ésimo nivel del factor A (concentraciones 0, 10, 20, 30 y 40 mg/ml).

B_j = Efecto fijo del j-ésimo nivel del factor B (tiempos de exposición 24, 48 y 72 horas).

AB_{ij} = Efecto de la interacción del i-ésimo nivel del factor A y el j-ésimo nivel del factor B.

ε_{ij} = Error experimental asociado a la observación Y_{ij} .

3.5. Población, muestra y muestreo

3.5.1. Población

La población fue constituida por 60 cebollas (*Allium cepa*) adquiridas en el mercado de abastos de Pampas, las cuales fueron seleccionadas bajo criterios específicos de calidad, peso aproximado entre 60-80 gramos, uniformidad en tamaño, forma y color, consistencia dura, y ausencia de catáfilas y raicillas secas, garantizando así la uniformidad del material biológico para el estudio experimental.

3.5.2. Muestra

La muestra estuvo compuesta por células del meristemo apical de las raíces de las 60 cebollas.

3.5.3. Muestreo

El muestreo es no probabilístico por conveniencia y criterios de selección específicos, ya que se evaluaron 60 cebollas de alta calidad, para asegurar la precisión en la recolección de datos, se utilizó la observación estructurada para evaluar las variables consideradas. Se analizaron las células del meristemo apical de las raíces de todas las cebollas.

3.5.3.1. Procedimiento de recolección de datos

1°. Recolección y selección de la especie vegetal

Se recolectó 100 gramos de muestras vegetales de *S. molle* L. (completas e individualmente hojas), en la ciudad de Pampas y se secó a temperatura ambiente por 24 horas (Fernández et al., 2021). Posteriormente, la muestra fue trasladada al laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental, para su procesamiento.

2°. Preparación del extracto acuoso de *Shinus molle* L. (molle)

Para realizar la preparación, estas hojas se colocaron en un vaso precipitado que contenía 1000 ml de agua destilada estéril y se calentó a 80°C durante 15 minutos, luego se procedió a licuarlo junto con el agua durante 3 minutos (Santa Cruz y Cabrejo, 2019). Posteriormente, el extracto resultante se filtró utilizando el papel filtro Whatman N°1 y se colocó en un envase de vidrio color ámbar sellando y rotulando para su adecuada identificación, para obtener los extractos en concentraciones de 10, 20, 30 y 40 mg/ml se siguió la misma metodología (Fernández et al., 2021).

3°. Obtención de las raicillas de *Allium cepa* (cebolla)

Se manipularon 60 bulbos de cebolla, cada uno con un peso aproximado de 60-80 gramos y se aseguró de que tengan un tamaño y aspecto uniformes para reducir las variaciones en los resultados, para facilitar el proceso de germinación, se insertaron 4 mondadientes equitativamente espaciados en cada bulbo, para sostener el bulbo en la boca del vaso. Asimismo, el disco germinativo estuvo en contacto con el agua, permitiendo la producción de nuevas raicillas, cada vaso se llenó con 80 ml de agua del grifo, asegurándose de que el disco germinativo esté

completamente cubierto. Durante los siguientes 3 días (72 horas), se realizó un cambio diario del agua en cada vaso y se mantuvo los bulbos en completa oscuridad para favorecer el crecimiento de las raicillas (Llapo y Llontop, 2019).

4°. Exposición de las raicillas a las diferentes concentraciones del extracto

En la aplicación de los tratamientos se utilizaron 4 bulbos de cebolla para cada tratamiento, donde se evaluó el efecto de las concentraciones del extracto acuoso de *S. molle* L., por lo tanto, las raicillas fueron colocadas en los niveles de 10, 20, 30 y 40 mg/ml durante 24, 48 y 72 horas (Fajardo, 2012).

Tabla 3.

Exposición de las raicillas a las diferentes concentraciones del extracto.

Grupos de exposición	Grupo	Día 0	Día 1 (24 horas)	Día 2 (48 horas)	Día 3 (72 horas)
Grupo 24 horas	Blanco		Cebolla en agua destilada	} Medición y corte de raíces	
	10 mg/ml				
	20 mg/ml		Extracto acuoso		
	30 mg/ml				
	40 mg/ml				
Grupo 48 horas	Blanco	Cebollas en agua destilada (crecimiento de raíces por 24 horas)	Cebolla en agua destilada	} Medición y corte de raíces	
	10 mg/ml				
	20 mg/ml		Extracto acuoso		
	30 mg/ml				
	40 mg/ml				
Grupo 72 horas	Blanco		Cebolla en agua destilada	} Medición y corte de raíces	
	10 mg/ml				
	20 mg/ml		Extracto acuoso		
	30 mg/ml				
	40 mg/ml				

Fuente: Elaboración propia.

5°. Crecimiento y medición de las raíces *Allium cepa* (cebolla)

Una vez finalizada la exposición de las raicillas a los distintos tratamientos, se procedió a registrar la longitud promedio de las raíces. Para medir esta longitud, se empleó una regla común con escala en milímetros. La evaluación del efecto inhibitorio se llevó a cabo mediante la siguiente fórmula (Santa Cruz & Cabrejo, 2019):

$$\% \text{ Inhibición} = \frac{(\text{longitud del control} - \text{longitud de la muestra}) \times 100}{\text{longitud del control}}$$

6°. Obtención de preparados citológicos

Una vez concluidos los procedimientos anteriores, se procedió a cortar los ápices radicales de cada cebolla, dejando un corte de aproximadamente 2 a 3 mm. A continuación, los ápices radicales fueron lavados con agua destilada y colocados en una luna reloj. Para el siguiente paso, se añadieron nueve gotas de orceína acética al 2% a cada muestra, y luego se agregó una gota de ácido clorhídrico al 10%. Posteriormente, las raicillas fueron expuestas al fuego hasta la emisión de vapor o humo blanco (Fernández et al., 2021). Este proceso se repitió tres veces, con intervalos de 15 minutos entre cada exposición, asegurándose de no hervir el colorante. Después de la última exposición al fuego, se dejó reposar todo el material durante 10 minutos, siguiendo la técnica de (Fiskesjo, 1997).

7°. Análisis citológico para determinar el efecto citotóxico en *Allium cepa*.

Para el análisis, cada ápice coloreado fue colocado en una lámina portaobjetos. Así mismo, se realizó el aplastamiento del tejido mediante la técnica de "squash" (Fiskesjo, 1997). Posteriormente, los preparados citológicos se observaron en un microscopio óptico, utilizando aumentos de 400x y 1000x., donde se llevó a cabo la evaluación de la citotoxicidad mediante el cálculo del índice mitótico (IM) e índice de fases (IF), utilizando las siguientes fórmulas (Santa-Cruz & Cabrejo, 2019):

$$\% \text{ IM} = \frac{\text{Número de células en mitosis (P + M + A + T)} \times 100}{\text{Número total células}}$$

$$\% \text{ IF} = \frac{\text{Número de células por fase mitótica} \times 100}{\text{Número de células en mitosis}}$$

3.6. Identificación y operacionalización de variables

- Variable 1: Extracto acuoso de *Schinus molle* L. “molle”
- Variable 2: Células meristemáticas de *Allium cepa* “cebolla”

Tabla 4.

Operacionalización de variables.

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Extracto acuoso de <i>Schinus molle</i> L. “molle”	Un extracto acuoso es una preparación líquida o concentrada elaborada a partir de material vegetal seco que contiene metabolitos secundarios que brindan propiedades defensivas a la planta (Serpa, 2021).	Concentraciones	0 (Control)
			10 mg/ml
			20 mg/ml
			30 mg/ml
			40 mg/ml
Células meristemáticas de <i>Allium cepa</i> “cebolla”.	Son células no diferenciadas que se dividen continuamente, por lo que son capaces de autorreproducirse y dar origen a otra célula. (Du, H., & Taylor, H. S., 2010)	Citotoxicidad	24 horas
			Tiempos de exposición
			48 horas
			72 horas
			- Crecimiento de raíces.
			- Índice mitótico.
			- Índice de fases.

Fuente: Elaboración propia.

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

En la investigación, se aplicó el diseño completamente aleatorio con arreglo factorial de los tratamientos, con respecto a la concentración del extracto acuoso de *S. molle* L. (10, 20, 30 y 40 mg/ml) y los tiempos de exposición al extracto (24, 48 y 72 horas), se utilizó el modelo estadístico establecido para calcular el análisis de varianza y realizar la prueba Post Anova mediante el software estadístico Infostat (González et al., 2019).

IV. RESULTADOS

4.1. Evaluación del efecto citotóxico del extracto acuoso de *Schinus molle* L. sobre el crecimiento radicular de *Allium cepa* a 24, 48 y 72 horas de exposición.

En esta sección se evaluó el efecto citotóxico del extracto acuoso de *Schinus molle* L. en el crecimiento radicular de *Allium cepa*. Para ello, se midió la longitud promedio de las raíces y se calculó el porcentaje de inhibición tras la exposición a diferentes concentraciones del extracto acuoso: T0 (control), T1 (10 mg/ml), T2 (20 mg/ml), T3 (30 mg/ml) y T4 (40 mg/ml), evaluando los efectos durante tres tiempos de exposición 24, 48 y 72 horas. El crecimiento de los meristemos radiculares de *Allium cepa* fue considerado un parámetro clave, ya que refleja la capacidad del sistema meristemático para dividirse y alargarse, ya que, cualquier alteración puede atribuirse a la presencia de compuestos bioactivos en el extracto, lo que permite inferir su impacto citotóxico.

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 5, destacando la longitud promedio de la raíz (cm) como el porcentaje de inhibición de las células meristemáticas de *Allium cepa*, cuyo valor representa el promedio de cuatro raíces por cebolla, incluyendo la desviación estándar como indicador de la variabilidad de los promedios de la longitud de raíz. El tratamiento (T0) corresponde a raíces no sometidas a ningún tratamiento y sirven como referencia de crecimiento sin inhibición, por ende, mostró el mayor crecimiento radicular promedio 3,57cm y una inhibición del 0% en todos los tiempos de exposición, lo que confirma la ausencia de efectos tóxicos en condiciones normales. Por el contrario, el T4 presentó el efecto más pronunciado, alcanzando un promedio de crecimiento de raíz de 1,76 cm a las 72 horas, con un porcentaje de inhibición del 58,72%, el cual resalta la fuerte actividad inhibidora del extracto acuoso en concentraciones elevadas y tiempos prolongados.

Los tratamientos intermedios, como T1, mostraron un crecimiento promedio de 3.1 cm y una inhibición máxima del 28.49% a las 72 horas, mientras que los tratamientos T2 y T3 evidenciaron una reducción progresiva del crecimiento, alcanzando inhibiciones máximas de 47.97% y 54.07%. respectivamente, en el mismo período. Estos resultados respaldan que el extracto acuoso de *Schinus molle* L. ejerce un efecto citotóxico dosis-dependiente sobre *Allium cepa*, intensificándose a medida que aumentan las concentraciones del extracto y los tiempos de exposición, lo que sugiere un mecanismo acumulativo que potencia su actividad inhibidora celular.

Tabla 5.

Crecimiento radicular y porcentaje de inhibición de las células meristemáticas de Allium cepa sometidos a diferentes concentraciones de extracto acuoso de Schinus molle L. durante 24, 48 y 72 horas.

Tratamientos	24 horas		48 horas		72 horas		Promedio de crecimiento
	Longitud de raíz (cm)	Porcentaje de inhibición (%)	Longitud de raíz (cm)	Porcentaje de inhibición (%)	Longitud de raíz (cm)	Porcentaje de inhibición (%)	
T0	3.20 +/- 0.22	0	3.65 +/- 0.13	0	3.85 +/- 0.13	0	3.57
T1	2.65 +/- 0.13	17.19	2.80 +/- 0.22	23.29	2.78 +/- 0.17	28.49	3.1
T2	2.08 +/- 0.21	35.00	2.40 +/- 0.38	34.25	2.38 +/- 0.34	47.97	2.28
T3	2.15 +/- 0.19	32.81	2.12 +/- 0.34	41.64	2.10 +/- 0.48	54.07	2.12
T4	1.80 +/- 0.22	43.75	1.78 +/- 0.22	51.23	1.70 +/- 0.14	58.72	1.76

Nota: +/- indica desviación estándar (DV).

Fuente: Elaboración propia.

4.1.1. Análisis de Varianza (ANOVA)

La Tabla 6, muestra resultados del análisis de varianza para la longitud de raíz, donde se examinó el efecto de dos factores (concentraciones y tiempos de exposición), así como su interacción, lo cual muestran que el Factor A (Concentraciones) tiene un efecto altamente significativo sobre la longitud de raíz ($p < 0,0001$, al 1%), indicando que las distintas concentraciones del extracto impactan de manera clara y relevante en el crecimiento radicular, además el Factor B (Tiempos de exposición) tiene un efecto significativo ($p = 0,044$, al 5%), aunque con menor influencia que las concentraciones. Sin embargo, la interacción entre ambos factores (A×B) no resulta significativo ($p = 0,174$), lo que sugiere que el efecto de las concentraciones es independiente del tiempo de exposición, es decir, la concentración que genera el mayor efecto sobre la longitud de raíz, lo hace independientemente del tiempo de exposición y viceversa. El coeficiente de determinación (R^2) del modelo fue de 89.33%, lo que indica que un adecuado ajuste del modelo a la variabilidad observada en la variable, explicando una alta proporción de la variabilidad observada en la longitud de raíz, respaldando

su eficacia para describir el comportamiento de los datos y el coeficiente de variación (CV) de 10.21% refleja una variabilidad moderada respecto a la media, destacando la consistencia de las mediciones realizadas.

Tabla 6.

Análisis de varianza para la longitud de raíz de Allium cepa en función de las concentraciones de extracto y tiempos de exposición.

Fuente de variación	Longitud de raíz				
	GL	SC	CM	F	Prob
Factor A (Concentraciones)	4	23,20	5,801	89,48	<0.0001**
Factor B (Tiempos de exposición)	2	0,433	0,217	3,34	0,044*
Interacción A x B	8	0,794	0,099	1,53	0,174
Error	45	2,918	0,065		
Total	59	27,35			

CV (%): 10,21
R² : 89,33

*Nota: * y ** significan diferencias significativas al 5% y 1 %, respectivamente.*

Las abreviaciones significan: GL = Grados de libertad, SC = Suma de cuadrados, CM = Cuadrado medio, F = Estadístico F, CV = Coeficiente de variación, R² = Coeficiente de determinación, y LR = Longitud de raíz. El valor de CV indica la variabilidad de los datos respecto a la media, y R² representa el porcentaje de la variabilidad explicada por el modelo.

Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Análisis Post Anova Tukey y comparación de medias.

La Tabla 7, presenta resultados de la prueba Pos-Anova de Tukey aplicada a las diferentes concentraciones de extracto (10, 20, 30 y 40 mg/ml). Los tratamientos se agrupan en letras (A, B, C, D) para señalar diferencias significativas; como era de esperarse, el T0 control (0 mg/ml), se ubica en el grupo A y presenta la mayor longitud de raíz, seguido por el T1 (10 mg/ml) en el grupo B, que muestra una reducción significativa en comparación con el control. Los tratamientos T2 y T3 con concentraciones de 20 mg/ml y 30 mg/ml, respectivamente no presentan diferencias significativas entre sí y se agrupan en el grupo C, mientras que el T4 (40 mg/ml), presentó la menor longitud de raíz, ubicándose por debajo ($p < 0.05$) (grupo D) del resto de los tratamientos. Del mismo modo, la Tabla 8 presenta resultados de la prueba Pos-Anova de Tukey aplicada a los tiempos de exposición (24, 48 y 72 horas), evidenciando que no hubo

diferencias significativas entre ellos, ya que todos están agrupados bajo la misma letra “A”, lo cual indica que el tiempo de exposición no tuvo un impacto significativo en la longitud de raíz. El análisis confirma que el extracto acuoso ejerce un efecto inhibitorio dosis-dependiente sobre el crecimiento de las raíces, intensificando con el aumento de la concentración, pero que resulto independiente del tiempo de exposición.

Por lo tanto, la Figura 3 presenta un gráfico lineal que muestra la relación entre la longitud promedio de raíz de *Allium cepa* y los tiempos de exposición para diferentes concentraciones de extracto acuoso de *Schinus molle* L, cada curva corresponde a un tratamiento específico, donde se observa que el crecimiento radicular disminuye a medida que aumenta la concentración del extracto, presentando además variaciones según el tiempo de exposición. El T0 (control) representado por la línea azul evidencia el mayor crecimiento, con un aumento constante en todos los tiempos de exposición, del mismo modo, en el T1 con concentración baja (10 mg/ml) representado con la línea naranja, muestra también que el crecimiento radicular aumenta con el tiempo, pero con menor pendiente en comparación con el T0, mientras que, los tratamientos T2, T3 Y T4 con concentraciones medias y altas (20, 30 y 40 mg/ml) muestran una reducción en la longitud de raíz, siendo más marcada en el T4, representada por la línea azul, indicando una correlación fuerte. Los altos valores de R² indican que las tendencias lineales son representativas y explican la variación observada en la longitud de raíz.

Tabla 7.

Análisis de medias para la longitud de raíz de Allium cepa en función de las concentraciones de extracto acuoso de Schinus molle L.

CONCENTRACIÓN	LR (cm)	GRUPOS
T0	3,57	A
T1	2,74	B
T2	2,28	C
T3	2,13	C
T4	1,76	D

Nota:

Se visualiza las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos, letras iguales indican diferencias no significativas ($p \geq 0.05$), según la prueba Tukey.

Tabla 8.

Análisis de medias para la longitud de raíz de *Allium cepa* en función de los tiempos de exposición sometidos en el extracto acuoso de *Schinus molle* L.

TIEMPOS DE EXPOSICIÓN	LR (cm)	GRUPOS
72 horas	2,56	A
48 horas	2,55	A
24 horas	2,38	A

Nota: Se visualiza las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos, las letras iguales indican diferencias no significativas ($p \geq 0.05$), según la prueba Tukey.

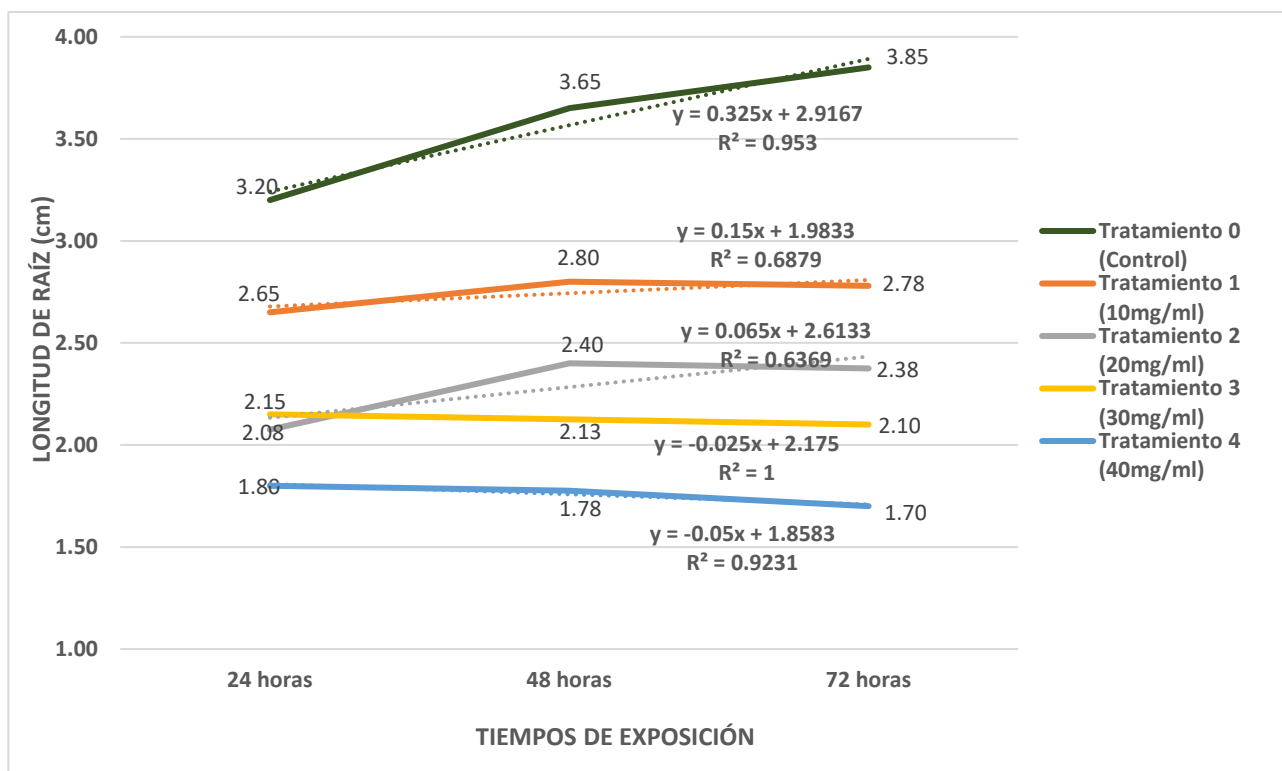


Figura 3.

Relación entre la longitud promedio de la raíz de *Allium cepa* y los tiempos de exposición bajo diferentes concentraciones de extracto acuoso de *Schinus molle* L.

Nota: Las ecuaciones de tendencia y los valores de R² indican el ajuste de los datos a modelos lineales.

4.2. Efecto del extracto acuoso de *Schinus molle* L. sobre el ciclo celular de meristemos radiculares del *Allium cepa* en los tiempos de exposición de 24, 48 y 72 horas.

En esta sección, se evaluó el efecto citotóxico del extracto acuoso de hojas de *Schinus molle* L. sobre el ciclo celular de los meristemos radiculares de *Allium cepa*, a diferentes tiempos de exposición y concentraciones, comparándolo con un tratamiento control (agua destilada). Los resultados revelan un efecto inhibitor del extracto sobre la división celular, el cual se intensifica con el aumento de la concentración y la duración de la exposición.

La Tabla 9 muestra que, tras 24 horas de exposición al extracto acuoso de *Schinus molle* L., los índices mitóticos aumentan proporcionalmente con la concentración del extracto. En el tratamiento control (0 mg/ml), se registró un índice mitótico de $1,82 \pm 0,17$, mientras que, en la concentración más alta (40 mg/ml) este valor alcanzó $2,55 \pm 0,09$, este incremento estuvo acompañado de un aumento notable en el índice profásico, que pasó de $2,14 \pm 0,14$ en el control a $2,76 \pm 0,15$ en la mayor concentración evaluada. Las fases metafase, anafase y telofase, sin embargo, mantuvieron valores promedio constantes cercanos a 0,30, lo que sugiere que el extracto ejerció un efecto citotóxico principalmente al detener la división celular en la fase de profase. Del mismo modo, en la Tabla 10, los resultados obtenidos tras 48 horas de exposición evidenciaron una tendencia acorde con lo observado a las 24 horas, aunque con efectos más pronunciados. El índice mitótico se incrementó de $1,88 \pm 0,123$ en el control a $2,38 \pm 0,127$ en la concentración más alta, por su parte, el índice profásico mostró un aumento de $2,13 \pm 0,144$ a $2,61 \pm 0,238$ en el mismo rango de concentraciones. Al igual que en las 24 horas, las fases metafase, anafase y telofase permanecieron constantes, reforzando la hipótesis de que el efecto citotóxico del extracto se focaliza en la detención celular en la fase de profase, lo cual demuestra que además de ser dependiente de la concentración, el efecto del extracto se intensifica con el tiempo de exposición.

Finalmente, la Tabla 11 muestra que, tras 72 horas de tratamiento, los índices mitóticos alcanzaron los valores más altos registrados en todo el experimento, en T0 (control), se observó un índice mitótico de $1,61 \pm 0,082$, mientras que en la mayor concentración (40 mg/ml) este aumentó significativamente a $2,57 \pm 0,105$. El índice profásico también mostró un incremento marcado, llegando a $2,81 \pm 0,174$ en el tratamiento de mayor concentración, aunque las fases metafase, anafase y telofase permanecieron estables, el índice telofásico presentó ligeros incrementos a concentraciones mayores y tiempos prolongados de exposición, sugiriendo

posibles alteraciones en las etapas finales de la división celular. Estos hallazgos confirman un efecto acumulativo del extracto acuoso de *Schinus molle* L

Tabla 9.

Índice mitótico y de fases de meristemos radiculares de *Allium cepa* expuesto a diferentes concentraciones de extracto acuoso preparados con hojas de *S. molle* L. durante 24 horas.

Tratamientos	Índice Mitótico	Índice Profásico	Índice Metafásico	Índice Anafásico	Índice Telofásico
T0	1,82 +/- 0.17	2,14 +/- 0,14	0,299 +/- 0,0011	0,298 +/- 0,0023	0,298 +/- 0,0013
T1	2,01 +/- 0.12	2,35 +/- 0,11	0,300 +/- 0,0006	0,298 +/- 0,0022	0,300 +/- 0,0006
T2	2,19 +/- 0.21	2,56 +/- 0,11	0,300 +/- 0,0009	0,300 +/- 0,0013	0,300 +/- 0,0006
T3	2,39 +/- 0.07	2,76 +/- 0,17	0,301 +/- 0,0004	0,300 +/- 0,0005	0,300 +/- 0,0010
T4	2,55 +/- 0.09	2,76 +/- 0,15	0,301 +/- 0,0005	0,301 +/- 0,0000	0,300 +/- 0,0008
Promedio	2,19 +/- 0,13	2,51 +/- 0,14	0,300 +/- 0,0005	0,299 +/- 0,0013	0,300 +/- 0,0009

Nota: +/- DV (Desviación estándar)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10.

Índice mitótico y de fases de meristemos radiculares de *Allium cepa* expuesto a diferentes concentraciones de extracto acuoso preparados con hojas de *S. molle* L. durante 48 horas.

Tratamientos	Índice Mitótico	Índice Profásico	Índice Metafásico	Índice Anafásico	Índice Telofásico
T0	1,88 +/- 0,123	2,13 +/- 0,144	0,299 +/- 0,0010	0,298 +/- 0,0007	0,301 +/- 0,0003
T1	2,10 +/- 0,072	2,39 +/- 0,082	0,300 +/- 0,0005	0,300 +/- 0,0006	0,300 +/- 0,0011
T2	2,20 +/- 0,127	2,40 +/- 0,051	0,300 +/- 0,0007	0,300 +/- 0,0009	0,301 +/- 0,0000
T3	2,19 +/- 0,069	2,41 +/- 0,105	0,299 +/- 0,0009	0,300 +/- 0,0009	0,301 +/- 0,0000
T4	2,38 +/- 0,127	2,61 +/- 0,238	0,300 +/- 0,0009	0,301 +/- 0,0000	0,301 +/- 0,0000
Promedio	2,15 +/- 0,104	2,39 +/- 0,124	0,300 +/- 0,0010	0,300 +/- 0,0010	0,3006 +/- 0,000

Nota: +/- DV (Desviación estándar)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11.

Índice mitótico y de fases de meristemos radiculares de *Allium cepa* expuesto a diferentes concentraciones de extracto acuoso preparados con hojas de *S. molle* L. durante 72 horas.

Tratamientos	Índice Mitótico	Índice Profásico	Índice Metafásico	Índice Anafásico	Índice Telofásico
T0	1,61 +/- 0,082	1,82 +/- 0,093	0,299 +/- 0,0014	0,299 +/- 0,0009	0,297 +/- 0,0004
T1	1,98 +/- 0,064	2,22 +/- 0,087	0,300 +/- 0,0009	0,299 +/- 0,0007	0,300 +/- 0,0010
T2	2,25 +/- 0,248	2,47 +/- 0,170	0,301 +/- 0,0004	0,300 +/- 0,0012	0,300 +/- 0,0012
T3	2,37 +/- 0,095	2,64 +/- 0,091	0,300 +/- 0,0011	0,301 +/- 0,0004	0,301 +/- 0,0005
T4	2,57 +/- 0,105	2,81 +/- 0,174	0,301 +/- 0,0005	0,301 +/- 0,0005	0,301 +/- 0,0005
Promedio	2,16 +/- 0,119	2,39 +/- 0,123	0,300 +/- 0,001	0,300 +/- 0,001	0,2995 +/- 0,001

Nota: +/- DV (Desviación estándar)

Fuente: Elaboración propia.

4.2.1. Análisis de varianza (ANOVA)

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) para las diferentes variables consideradas en el estudio, expuesta en la Tabla 12 demostró que tanto las concentraciones del extracto como los tiempos de exposición influyeron significativamente en los índices mitóticos y de fases celulares, observándose efectos de interacción significativos para el índice mitótico (IM) y altamente significativos para profase y telofase, lo cual sugiere que el efecto de las concentraciones de *S. molle* utilizadas depende del tiempo de exposición a las diferentes concentraciones. Estos resultados también sugieren que para el caso de las variables metafase y anafase el efecto que ejercieron las diferentes concentraciones de *S. molle* utilizadas fue independiente del tiempo de exposición a tales concentraciones; es decir, aquellas concentraciones que mostraron un mayor efecto sobre ambas fases del ciclo celular (metafase y anafase), lo hicieron independiente del tiempo de exposición, y viceversa. Además, los coeficientes de variación (CV) y los valores de R² evidencian una alta precisión en los datos obtenidos, destacando un nivel de confianza elevado en los resultados para el IM, profase y telofase, mientras que para metafase y anafase se observa una mayor variabilidad. La significancia estadística al 1% y 5% en varias de las pruebas refuerza la solidez de los análisis realizados, subrayando la importancia de las concentraciones de *S. molle* y los tiempos de exposición en la modulación de las fases del ciclo celular.

Tabla 12.

Resultados del análisis de varianza para las diferentes variables consideradas en el estudio.

Fuente de variación	Cuadrados Medios					
	GL	IM	Profase	Metafase	Anafase	Telofase
Factor A (Concentraciones)	4	0,936**	0,879**	2,026E-6*	0.00001241**	0.00000950**
Factor B (Tiempos de exposición)	2	0,011	0,097**	2,755E-6*	0.00000185	0.00000718
Interacción A x B	8	0,046*	0,063**	8,175E-7	0.00000078	0.00000256**
Error	45	0,017	0,018	0.00000070	0.00000117	0.0000249
Total	59					
		CV (%): 5,97	CV (%): 5,58	CV (%): 27,90	CV (%): 0,36	CV (%): 0,25
		R ² : 84,60	R ² : 83,52	R ² : 0,389	R ² : 53,08	R ² : 74,50

Nota: * y ** significan diferencias significativas al 5% y 1 %, respectivamente.

GL, LR, IM, CV, R², significan, Grados de libertad, Longitud de raíz, Índice mitótico, Coeficiente de variación respectivamente.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2. Análisis Post Anova Tukey y comparación de medias.

El análisis post-ANOVA se realizó mediante la prueba de Tukey ($p < 0.05$) para comparar los índices mitóticos, profásico y telofásico de *Allium cepa* en función de las concentraciones del extracto acuoso de *Schinus molle* L. y los tiempos de exposición.

En la Tabla 13, se observó un aumento progresivo en los índices mitótico y profásico con el incremento de la concentración del extracto, alcanzando los valores más altos en el tratamiento con 40 mg/ml (T4), mientras que el control (T0) presentó los valores más bajos. Esto refleja un efecto dependiente de la concentración, indicando que el extracto afecta significativamente la actividad mitótica y la acumulación de células en profase, posiblemente deteniendo el ciclo celular en esta etapa. En contraste, el índice telofásico permaneció relativamente constante, con ligeras variaciones entre tratamientos, sugiriendo que esta fase es menos sensible a las variaciones en la concentración del extracto. Mientras que la Tabla 14, por

su parte, analizó los índices en función de los tiempos de exposición (24, 48 y 72 horas). No se identificaron diferencias significativas entre los tiempos para ninguno de los índices, ya que todos los valores se agruparon bajo la misma categoría estadística. Esto indica que, dentro del rango analizado, el tiempo de exposición no tuvo un impacto relevante en los índices mitótico, profásico y telofásico. Sin embargo, se observó un ligero aumento en los índices mitótico y profásico con tiempos más largos en las concentraciones altas, lo que podría sugerir un efecto acumulativo.

Por otro lado, los gráficos lineales expuestos permiten evaluar de manera detallada la relación entre las concentraciones del extracto acuoso y los tiempos de exposición, en el cual la Figura 4 mostró que el índice mitótico incrementó consistentemente con las concentraciones del extracto y los tiempos de exposición, alcanzando su máximo en el T4 de concentración de 40 mg/ml tras 72 horas de tratamiento, lo cual destacó la relación dosis-tiempo en el efecto citotóxico del extracto. Mientras que la Figura 5 presentó una acumulación de células en profase, mostrando que esta fase fue significativamente afectada por el extracto, los T3 y T4 de concentraciones de 30 y 40 mg/ml mostraron valores considerablemente superiores al control en todos los tiempos evaluados, confirmando que la profase fue la etapa más afectada por el extracto. Posteriormente, la Figura 6 muestra los efectos sobre el índice telofásico, identificando ligeros incrementos a altas concentraciones, especialmente en tiempos de exposición prolongadas, aunque el impacto en telofase fue menos notable que en profase, estos cambios sugieren alteraciones potenciales en las etapas finales de la división celular. Cada figura muestra curvas lineales las cuales se identifican con diferentes colores para así diferenciar y evaluar los patrones de relación lineal o no lineal, el cual ayudó a comprender el comportamiento citotóxico del extracto en diferentes etapas del ciclo celular.

Por ende, estos resultados confirman que el efecto citotóxico del extracto acuoso de *Schinus molle L.* depende principalmente de la concentración del tratamiento, afectando de manera más marcada el índice mitótico y profásico. Por tal razón, tanto los tiempos de exposición como el índice telofásico mostraron menor sensibilidad al tratamiento, destacando un impacto más específico en las primeras fases del ciclo celular.

Tabla 13.

Análisis de medias para el Índice mitótico y de fases de meristemos radiculares de *Allium cepa* expuesto a diferentes concentraciones de extracto de las hojas de *S. molle* L.

Concentración	Índice Mitótico	Grupo	Índice Profásico	Grupo	Índice Telofásico	Grupo
T0	1,771	D	2,030	D	0,298	C
T1	2,029	C	2,319	C	0,299	B
T2	2,213	B	2,474	CB	0,300	BA
T3	2,313	B	2,603	BA	0,300	A
T4	2,502	A	2,727	A	0,300	A

Nota: Se muestran los promedios de los índices mitótico, profásico y telofásico para cada concentración del extracto de *Schinus molle* L., con su agrupación estadística según la prueba de Tukey ($p < 0.05$). Letras diferentes indican diferencias significativas, y letras iguales dentro de una columna representan grupos homogéneos.

Tabla 14.

Análisis de medias para el Índice mitótico y de fases de meristemos radiculares de *Allium cepa* expuesto a diferentes tiempos de exposición.

Tiempos de Exposición	Índice Mitótico	Grupo	Índice Profásico	Grupo	Índice Telofásico	Grupo
24 horas	2,193	A	2,511	A	0,300	B
48 horas	2,155	A	2,388	B	0,299	A
72 horas	2,149	A	2,394	B	0,299	B

Nota: Se muestran los promedios de los índices mitótico, profásico y telofásico para cada tiempo de exposición, con su agrupación estadística según la prueba de Tukey ($p < 0.05$). Letras diferentes indican diferencias significativas, y letras iguales dentro de una columna representan grupos homogéneos.

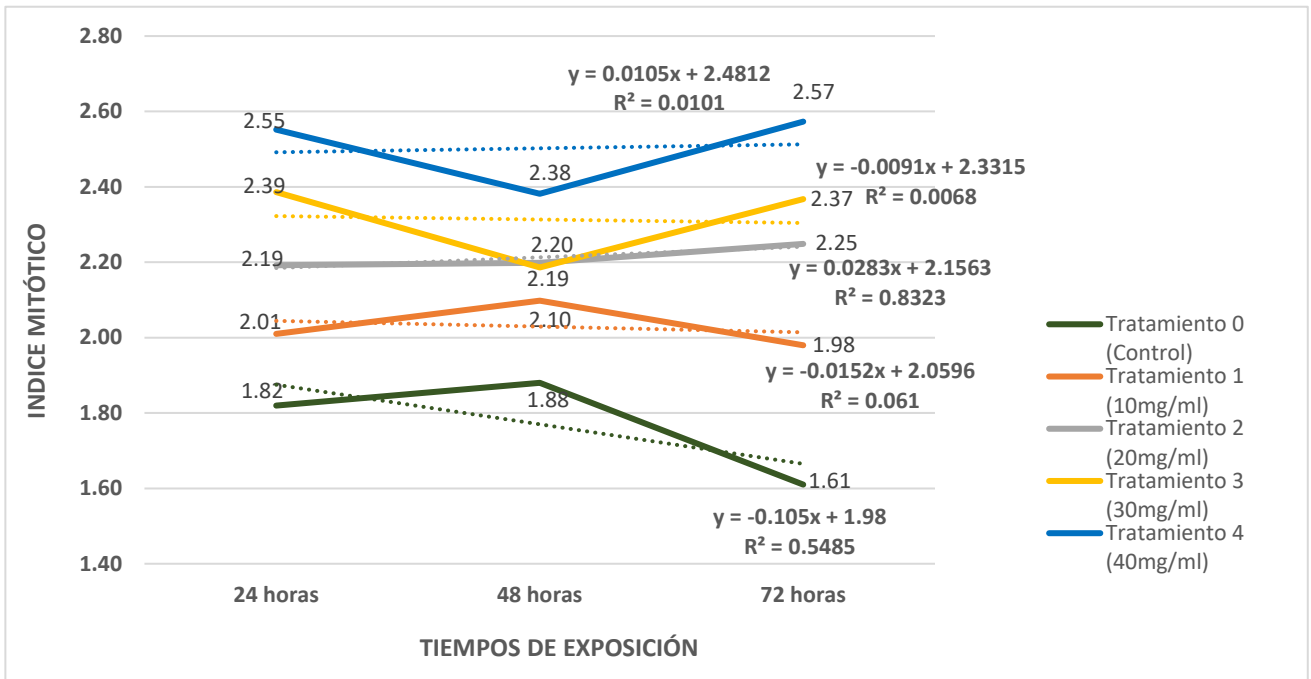


Figura 4.

Relación entre el Índice Mitótico de las células meristemáticas del *Allium cepa*. y los tiempos de exposición bajo diferentes concentraciones de extracto acuoso de *S. molle* L.

Nota: Las ecuaciones de tendencia y los valores de R^2 indican el ajuste de los datos a modelos lineales.

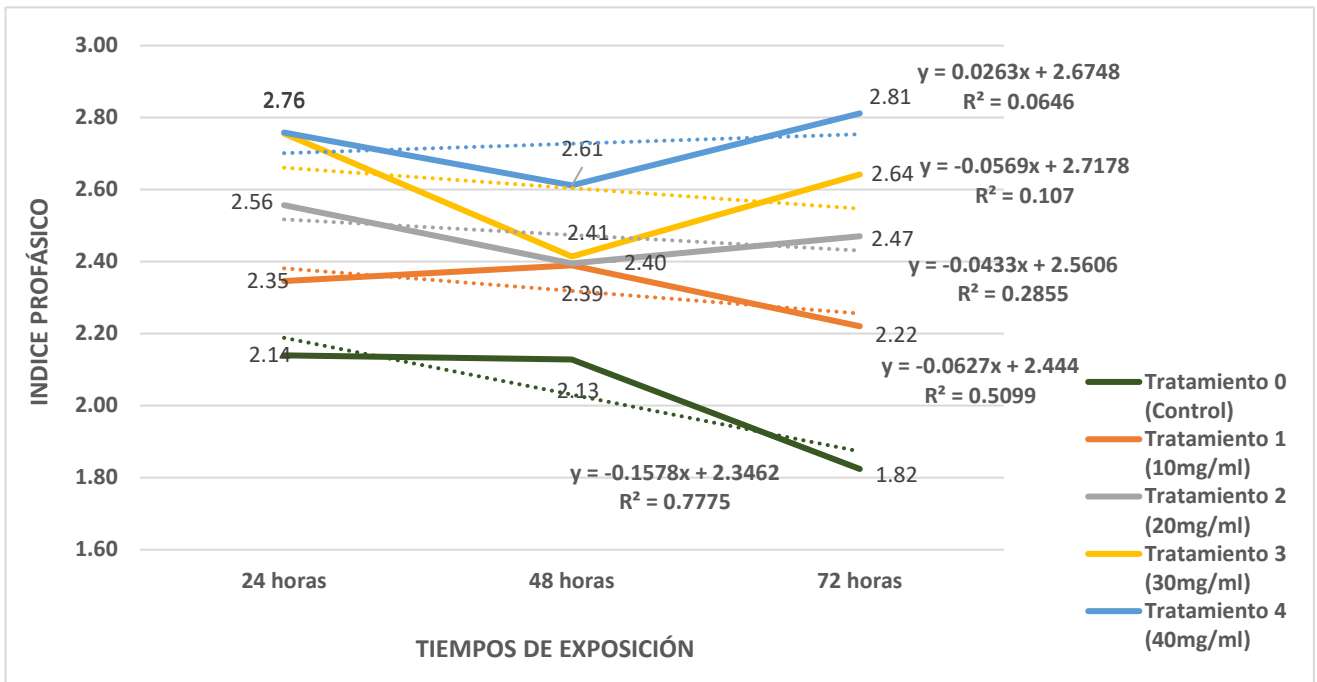


Figura 5.

Relación entre el Índice Profásico de las células meristemáticas del *Allium cepa*. y los tiempos de exposición bajo diferentes concentraciones de extracto acuoso de *S. molle* L.

Nota: Las ecuaciones de tendencia y los valores de R^2 indican el ajuste de los datos a modelos lineales.

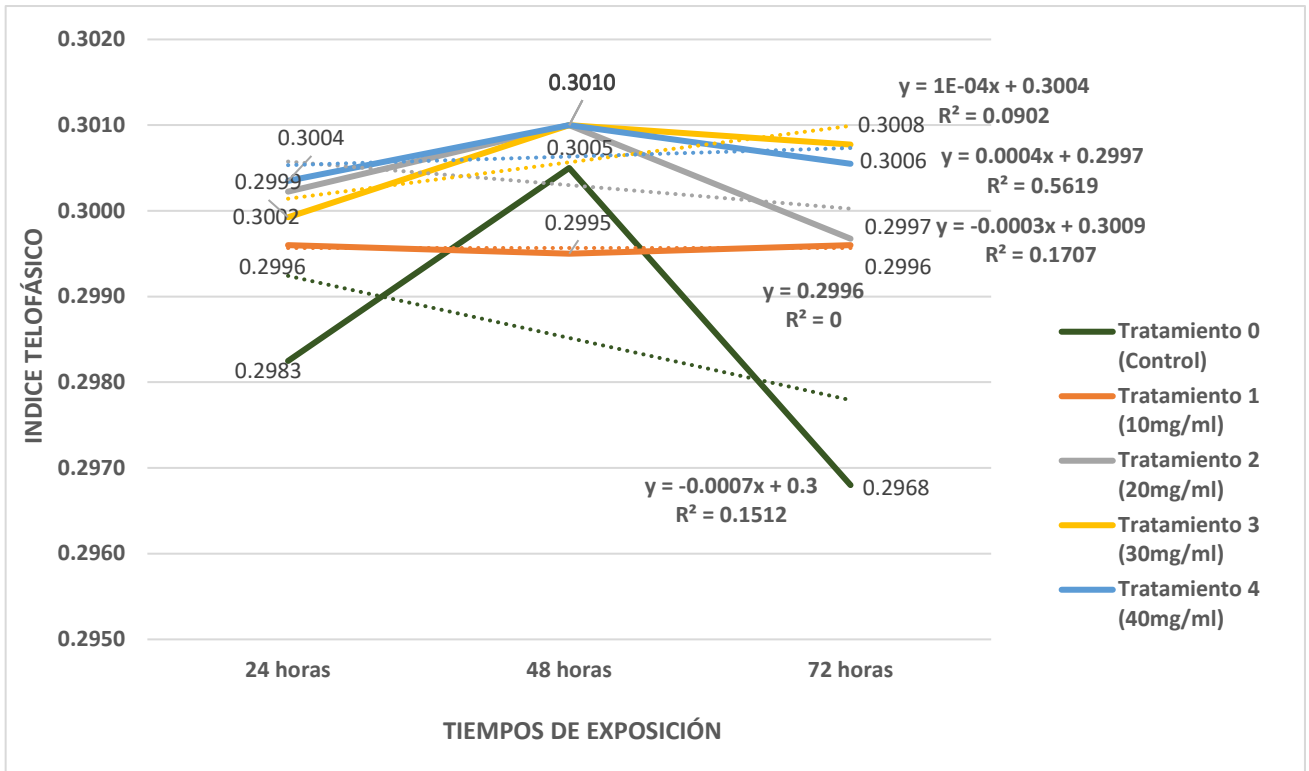


Figura 6.

Relación entre el Índice Telofásico de las células meristemáticas del *Allium cepa*, y los tiempos de exposición bajo diferentes concentraciones de extracto acuoso de *S. molle* L.

Nota: Las ecuaciones de tendencia y los valores de R^2 indican el ajuste de los datos a modelos lineales.

V. DISCUSIÓN

La presente investigación se desarrolla en un contexto donde los estudios sobre bioensayos en Perú son escasos, lo que resalta la necesidad de profundizar en el análisis de especies vegetales con potencial para la reforestación y aplicaciones medicinales. En este marco, el creciente interés por *Schinus molle* L. (molle), un árbol ampliamente utilizado en la medicina tradicional y otras prácticas, ha impulsado la evaluación de su citotoxicidad como un paso crucial para garantizar su seguridad y explorar sus posibles aplicaciones. Los resultados obtenidos revelan un efecto citotóxico significativo del extracto acuoso de *S. molle* L. sobre células meristemáticas de *Allium cepa*, evidenciado por la reducción del índice mitótico, alteraciones en la distribución de las fases del ciclo celular y la inhibición del crecimiento radicular. Estos hallazgos coinciden con estudios previos que documentaron actividad citotóxica en extractos de esta especie y validan el uso del bioensayo de *A. cepa* como una herramienta eficaz para evaluar toxicidad (Cerón & Morera, 2022).

La disminución del índice mitótico, que alcanzó reducciones de hasta el 81.25% a las 24 horas y 71.43% a las 48 horas en la concentración más alta (40 mg/ml), sugiere una interferencia del extracto de *S. molle* L. en la división celular, esto podría deberse a la afectación de procesos clave como la replicación del ADN, la formación del huso mitótico o la segregación cromosómica. Es posible que compuestos presentes en el extracto, como los taninos, interactúen con proteínas esenciales para estos procesos, o que los terpenos alteren la dinámica de los microtúbulos, componentes fundamentales del huso mitótico (Fernández et al., 2021). El análisis de las fases mitóticas reveló una disminución gradual en los índices profásico, metafásico, anafásico y telofásico con el aumento de la concentración del extracto, lo que indica un posible bloqueo o retraso en la progresión del ciclo celular, especialmente en la transición de G1 a S o de G2 a M (Llpo & Llontop, 2019).

La inhibición del crecimiento radicular, observada a partir de concentraciones de 20 mg/ml a las 24 horas y de 30 mg/ml a las 48 y 72 horas, respalda el efecto citotóxico del extracto. Esta inhibición, cuantificada mediante la fórmula descrita por Santa-Cruz & Cabrejo (2019), podría estar relacionada con la alteración de procesos celulares fundamentales para el crecimiento y la elongación de las raíces, como la división y la diferenciación celular (Altamirano et al., 2020). La relación dosis-respuesta observada en la inhibición del crecimiento radicular, así como en la disminución del índice mitótico, sugiere que el efecto citotóxico del extracto de *S. molle* es dependiente de la concentración (Nogueira et al., 2021).

Esto tiene implicaciones importantes para la evaluación del riesgo de exposición a esta planta y para el establecimiento de dosis seguras en posibles aplicaciones terapéuticas.

La investigación concuerda con estudios previos que reportaron actividad citotóxica de extractos de *S. molle* en otros sistemas celulares, así como con investigaciones que utilizaron el bioensayo de *A. cepa* para evaluar la toxicidad de diversas sustancias, como estudios realizados por Aybar & Zavala (2016) y Fernández et al. (2021), quienes también observaron una disminución en el índice mitótico y alteraciones celulares en respuesta a extractos de plantas. Asimismo, investigaciones que utilizaron el bioensayo de *A. cepa* para evaluar la toxicidad de diversas sustancias, como las de Koynova et al. (2017), Altamirano et al. (2020), Silva et al. (2022) y Llapo & Llontop (2019) respaldan la sensibilidad de este modelo para detectar efectos citotóxicos e inhibitorios sobre el crecimiento radicular. Por lo tanto, la metodología empleada en este estudio, ha sido ampliamente reconocida y validada en la literatura científica para la evaluación de la citotoxicidad y genotoxicidad de diversas sustancias (Fiskesjö, 1985). La sensibilidad de las células meristemáticas de cebolla ha sido destacada en varios estudios, como el de Muñoz & Guerrero (2013), lo que respalda la confiabilidad de nuestros resultados. El uso de células meristemáticas de cebolla ofrece ventajas como su fácil obtención, bajo costo y alta sensibilidad a agentes tóxicos. Además, la observación de parámetros como el índice mitótico, el índice de fases y las alteraciones cromosómicas permite una evaluación integral del efecto de las sustancias en el ciclo celular (Díaz et al., 2004). Sin embargo, es importante reconocer que este modelo, aunque valioso, presenta limitaciones en cuanto a la extrapolación directa de los resultados a otros sistemas biológicos y que los efectos observados podrían variar dependiendo del tipo de extracto y la parte de la planta utilizada. Es importante destacar que el efecto citotóxico del extracto de *S. molle* se intensificó con el aumento de la concentración y el tiempo de exposición, lo que sugiere una relación dosis-respuesta. Además, el análisis estadístico (ANOVA y prueba de Tukey) confirmó la significancia de las diferencias observadas entre los tratamientos y el control, respaldando la validez de nuestros resultados.

No obstante, el estudio de Nogueira et al. (2021), respalda nuestros resultados, ya que demostró efectos fitotóxicos y citotóxicos de extractos de *S. molle* L., en semillas de lechuga, incluyendo la inhibición de la germinación, el alargamiento de la raíz y la inducción de anormalidades cromosómicas. La presencia de compuestos bioactivos en el extracto de *S. molle*, como terpenos, flavonoides y taninos, podría explicar la citotoxicidad observada, ya que estos compuestos han demostrado propiedades antiproliferativas y citotóxicas en diversos

estudios. Además, encontraron una mayor toxicidad en extractos etanólicos de frutos verdes de *S. molle* en comparación con extractos acuosos de hojas, como los utilizados en nuestro estudio. Esta diferencia podría atribuirse a la variación en la composición química de los extractos, dependiendo de la parte de la planta utilizada y el método de extracción. Por otro lado, el estudio de Ruiz & Salazar (2021), que se enfocó en los aceites esenciales de *S. molle* L., detectó la presencia de compuestos con propiedades antiinflamatorias, antioxidantes y antimicrobianas. Esto sugiere que, además de su potencial citotóxico, *S. molle* L. también podría contener compuestos beneficiosos para la salud, ya que es posible que la actividad biológica de esta planta dependa no solo de la concentración y el tiempo de exposición, sino también del tipo de extracto y los compuestos específicos presentes en él.

VI. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos demuestran claramente el potencial citotóxico del extracto acuoso de hojas de *Schinus molle* L. sobre las células meristemáticas de *Allium cepa*. La disminución en los índices mitótico y de fases, junto con la inhibición del crecimiento radicular, evidencian una interferencia significativa en procesos clave del ciclo celular y en el desarrollo de las raíces, confirmando así su efecto citotóxico.

El extracto acuoso de *Schinus molle* L. ejerce un efecto inhibitorio dosis-dependiente sobre el índice mitótico en las células meristemáticas de cebolla, lo que indica una reducción en la actividad de división celular. Este efecto se intensifica con el aumento de la concentración del extracto y el tiempo de exposición.

El extracto de *Schinus molle* L. también afecta las diferentes fases de la mitosis, siendo la profase la más sensible a su acción. Se observó una disminución generalizada en los índices de profase, metafase, anafase y telofase, lo que sugiere una interrupción del ciclo celular en diversos puntos.

El extracto de *Schinus molle* L. inhibe el crecimiento radicular de *Allium cepa* de manera dosis-dependiente. A concentraciones más altas del extracto, se observó una mayor reducción en la longitud de las raíces y un mayor porcentaje de inhibición del crecimiento, lo que indica un impacto negativo en el alargamiento celular, esencial para el desarrollo de las raíces.

VII. RECOMENDACIONES

Este estudio demuestra el potencial citotóxico del extracto acuoso de *Schinus molle* L. y la importancia de evaluar su seguridad en aplicaciones agrícolas, medicinales y ambientales. Se recomienda profundizar en estudios de toxicidad en diferentes organismos y modelos biológicos para garantizar un manejo seguro y eficiente. Además, es esencial identificar los compuestos bioactivos responsables.

En el ámbito de la reforestación, se deben establecer protocolos que aseguren su uso seguro, evaluando su impacto en la biodiversidad, el suelo y posibles efectos alelopáticos. También se sugiere ampliar el rango de concentraciones, tiempos de exposición y estudiar extractos de diferentes partes de la planta. Los análisis de ecotoxicidad y biodegradabilidad también son fundamentales para evitar riesgos a largo plazo.

Por último, se recomienda divulgar estos hallazgos a través de publicaciones científicas y talleres educativos, promoviendo el uso sostenible de *S. molle* L. para maximizar sus beneficios y minimizar los riesgos asociados.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alba, A., Bonilla, P., & Arroyo, J. (2009). Actividad cicatrizante de una pomada con aceite esencial de *Schinus molle* L. “Molle” en ganado vacuno con heridas infectadas y en ratones. 12(1). <https://doi.org/10.15381/ci.v12i1.3384>

Altamirano, C. G., Pozzer, M. J., Rebatta, J. L., Semckzuk, R. I., Florentín, A. P., y Fernández, M. S. (2020). Evaluación de la genotoxicidad de extractos acuosos de hojas de *Moringa oleifera* Lam. (Moringaceae) utilizando el test de *Allium cepa*. *Fitos*, 14(1), 67-75. <https://doi.org/10.32712/2446-4775.2020.809>

Alzamora, E. (2021). Efecto antibacteriano in vitro del extracto hidroalcohólico de *Schinus molle* L. (molle) sobre *Streptococcus mutans* ATCC 25175 [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Digital Institucional UCV. <https://doi.org/https://hdl.handle.net/20.500.12692/74045>

Ashutosh, Y., Raj, A., Purchase, D., Ferreira, L., Saratale, D., & Bharagava, N. (2019). Phytotoxicity, cytotoxicity, and genotoxicity evaluation of organic and inorganic pollutants rich tannery wastewater from a Common Effluent Treatment Plant (CETP) in Unnao district, India using *Vigna radiata* and *Allium cepa*. *Chemosphere*, 224, 324-332. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.02.124>

Aybar, J., & Zavala, F. (2016). Efecto citotóxico del extracto acuoso del pericarpio de *Caesalpinia spinosa* “tara” en células meristemáticas de *Allium cepa* L. var. Arequipeña. *Revista Ciencia y Tecnología*, 12(2), 185-193. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/PGM/article/view/1598>

Benites, J., Bravo, F., Rojas, M., Fuentes, R., Moiteiro, C., y Venancio, F. (2011). Composition and antimicrobial screening of the essential oil from the leaves and stems of *Senecio atacamensis* Phil. from Chile. *Journal of the Chilean Chemical Society*, 56(2), 712-714. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-97072011000200020>

Carrión, A. (2010). Propagación botánica de *Schinus molle* L. en diferentes tipos de sustrato [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional UNCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/2578>

Carriquiriborde, P. (Compilador). (2021). Principios de Ecotoxicología. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). <http://hdl.handle.net/20.500.12894/2578>

Causil, L., Coronado, J., Verbel, L., Vega, M., Donado, K., & Pacheco, C. (2017). Cytotoxic effect of sodium hypochlorite (NaClO) in apical cells of onion roots (*Allium cepa* L.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(1), 97-104. <https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.5662>

Cazau, P. (2011). Evolución de las relaciones entre la epistemología y la metodología de la investigación. *Paradigmas: Una Revista Disciplinar de Investigación*, 3(2), 109-126.

Cerón, S., & Morera, G. (2022). Evaluación de fitotoxicidad y citotoxicidad del glifosol mediante *Allium test*. Facultad de Ciencias Ambientales y Desarrollo Sostenible. Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria.

Conabio. (2009). *Schinus molle* L. https://doi.org/http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/3-anaca4m.pdf

Daam, M., Chelinho, S., Niemeyer, J., Owojori, O., De Silva, P., Sousa, J., & Rombke, J. (2019). Environmental risk assessment of pesticides in tropical terrestrial ecosystems: Test procedures, current status and future perspectives. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 181, 534-547. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.06.038>.

Díaz, M., Ronco, A., & Pica, Y. (2004). Ensayo de toxicidad aguda con bulbos de cebolla *Allium cepa* L. mediante la evaluación de la inhibición del crecimiento promedio de raíces. Canadá: IDRC IMTA.

Díaz, M., & Rebolledo, V. (2021). Descubriendo la nobleza del molle, un árbol de nuestra América. *Cuadernos Médico Sociales*, 61(2), 111-114.

Fajardo, K. (2012). Efecto protector del extracto etanólico de *Lupinus mutabilis* sobre la citotoxicidad y genotoxicidad del dicromato de potasio en meristemas radiculares de *Allium cepa* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Trujillo]. <https://hdl.handle.net/20.500.14414/4732>

Fernández, S., Llanos, F., & Santa Cruz, C. (2021). Citotoxicidad y genotoxicidad del extracto acuoso de *Matricaria chamomilla* (manzanilla) sobre células meristemáticas de *Allium cepa*. *Manglar*, 18(2). <https://doi.org/10.17268/manglar.2021.017>

Fiskesjö, G. (1985). The *Allium test* as a standard in environmental monitoring. *Hereditas*, 102(1), 99-112. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1601-5223.1985.tb00471.x>

Fiskesjo, G. (1997). Allium test for screening chemicals; evaluation of cytological parameters. *Plants for environmental studies*, 11, 307-333.

Garza, S., Sánchez, V., Godínez, S., & Lara, A. (2014). Avances recientes en el estudio del ciclo celular en plantas. *Revista de Educación Bioquímica*, 33(2), 39-47. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-19952014000200002&lng=es&tlng=es.

González, A., Pérez, D., Rubí, M., Gutiérrez, F., Franco, R., & Padilla, A. (2019). InfoStat, InfoGen y SAS para contrastes mutuamente ortogonales en experimentos en bloques completos al azar en parcelas subdivididas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(6), 1417-1431. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i6.1767>

Jiménez, L., Kolevic, N., Jara, U., Meléndez, J., Jiménez, C., & Salazar, A. (2020). Referencia de los usos medicinales del chuchuhuasi (*Maytenus macrocarpa*) por curanderos del distrito de Santa María de Huachipa, Lurigancho, Lima - Perú: un estudio cualitativo. *Horizonte Médico*, 20(3): e1245. <https://doi.org/https://doi.org/10.24265/horizmed.2020.v20n3.08>

Koynova, T., Vanya, K., Dragoeva, A., & Kuleva, I. (2017). Cytotoxicity and genotoxicity of soil in Shumen city park. *Current Bioactive Compounds*, 5. <https://doi.org/10.12955/cbup.v5.1086>

Lagunas, M., Valle, A., & Soto, I. (2014). Ciclo celular: Mecanismos de regulación. *Revista Especializada en Ciencias de la Salud*, 17(2).

Lima, Y., Guzmán, V., López, Y., & Satchwell, R. (2019). La medicina tradicional herbolaria en los sistemas de salud. *Humanidades Médicas*, 19(1), 201-217. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-81202019000100201&lng=es&nrm=iso

Limachi, J., & Chipana, G. (2022). Aplicación del Molle (*Schinus molle*) como fungicida tradicional en la enfermedad de la mancha. *La Paz, Bolivia*, 1(1). <https://orcid.org/0000-0001-8014-0385>

Llapo, M., & Llontop, N. (2019). Efecto del extracto acuoso de hojas de *Cordia lutea* sobre células meristemáticas de *Allium cepa* [Tesis, Universidad Nacional de Trujillo]. <https://hdl.handle.net/20.500.14414/12222>

Lopez, E., García, B., Larroudé, V., Picicelli, R., Reynoso, C., & Ramírez, E. (2016). Uso de *Allium cepa* test como indicador de eficacia para el tratamiento de efluentes. *Ciencia y Tecnología*, 1(16). <https://doi.org/10.18682/cyt.v1i16.558>

Lorsbach, B., Sparks, T., Cicchillo, R., Garizi, N., Hahn, D., & Meyer, K. (2019). Natural products: a strategic lead generation approach in crop protection discovery. *Pest Management Science*, 75, 2301-2309. <https://doi.org/10.1002/ps.5350>

Márquez, S., Ifrán, S., & Zabala, E. (2018). Ciclo celular y duplicación del ADN. *GenomaSur.com*. <http://www.genomasur.com/lecturas/Guia12a.htm>

Megías, M., Molist, P., & Pombal, M. (2020). *Uvigo.es. La célula. 8. Ciclo celular. Atlas de Histología Vegetal y Animal.*

Mejia, J., Carrasco, R., Miguel, J., & Flores, S. (2017). Conocimiento, aceptación y uso de medicina tradicional peruana y de medicina alternativa/complementaria en usuarios de consulta externa en Lima Metropolitana. *Revista Peruana de Medicina Integrativa*. <https://doi.org/10.26722/rpmi.2017.21.44>

Mihelcic, J., & Zimmerman, J. (2017). *Environmental Engineering: Fundamentals, Sustainability, Design*. John Wiley & Sons.

Monge, C., Nattery, L., & Rojas, T. (2021). Efecto cariostático de la resina de *Schinus molle* L. Estudio in vitro - Huancayo 2019. *Repositorio Institucional Continental*. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/9376>

Muñeton Peña, C. M. (2007). Ciclo celular. En *Biología de la célula* (Vol. 15, pp. 207-218). Biogénesis.

Muñoz, D., & Guerrero, N. (2013). *Allium* test para evaluar el efecto citotóxico y genotóxico de extractos naturales en células meristemáticas de *Allium cepa*. *Memoria*, 11(19), 83-96.

Nogueira, M., Campos, N., Santos, S., Beijo, L., & Barbosa, S. (2021). The species used in urban afforestation can present phytotoxicity—a case study of *Schinus molle* L. *Ciência Florestal*, 31(1), 66-84.

Owolarafe, T., Salawu, K., Ihegboro, G., Ononamadu, C., Alhassan, A., & Wudil, A. (2020). Investigation of cytotoxicity potential of different extracts of *Ziziphus mauritiana*

(Lam) leaf *Allium cepa* model. *Toxicology Reports*, 7, 816-821. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2020.06.010>

Pacheco, K., Tomita, R., Oliveira, M., Alves, P., Andrade, G., Toyota, A., & Barbosa, S. (2020). Allelochemical activity of eugenol-derived coumarins on *Lactuca sativa* L. *Plants*, 9(4), 2223-7747. <https://doi.org/10.3390/plants9040533>

Pianka, E. (1982). *Ecología evolutiva*. Omega, S.A. <https://books.google.com.pe/books?id=3d8zAAAACAAJ>

Rodríguez, A., & Frías, S. (2014). La mitosis y su regulación. *Acta Pediátrica de México*, 35(1), 55-86.

Rondón, R. (2021). *Schinus molle* L. como fitorremediador en la bioacumulación de plomo.

Ruiz, J., & Salazar, M. (2021). Composición química y actividad antibacteriana de los aceites esenciales de *Citrus paradisi*, *Juglans neotropica* Diels, *Schinus molle* y *Tagetes elliptica* Smith. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 87(3), 228-241.

Santa Cruz, C., & Cabrejo, J. (2019). Efecto citotóxico y genotóxico del extracto acuoso de *Physalis peruviana* L. (aguaymanto) sobre células meristemáticas de *Allium cepa* (cebolla) y linfocitos. *Revista Ciencia y Tecnología*, 15(1), 137-145. <https://hdl.handle.net/20.500.14414/14342>

Sharma, S., & Pal, A. (2012). Antigenotoxic effects of Indian mustard *Brassica*. *Scientific Research and Essays*, 7(13), 1385-1392.

Silva, O., Destacio, J., Paula, G., Rodrigues, F., & Rieder, A. (2022). Cytotoxic and genotoxic effects of *Psittacanthus acinarius* and *Psittacanthus cordatus* (mistletoe) on *Allium cepa*. *Revista Fitos*, 16(3), 305-314. <https://doi.org/10.32712/2446-4775.2022.1312>

Smaka-Kincl, V., Stegnar, P., Lovka, M., & Toman, M. (1996). The evaluation of waste, surface, and ground water quality using the *Allium* test procedure. *Mutation Research/Genetic Toxicology*, 368(3-4), 171-179. [https://doi.org/10.1016/S0165-1218\(96\)90059-2](https://doi.org/10.1016/S0165-1218(96)90059-2)

Ullah, S., Ullah, F., Hussain, M., Ihsan, M., Mehmood, S., Ali, L., & Hussain, M. (2023). Estado actual de los efectos de los pesticidas en el medio ambiente, la salud humana y su gestión ecológica como biorremediación: una revisión exhaustiva. *Revista de la Universidad Rey Saud - Ciencia*, 35(3), 2. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2023.102571>

Vásquez, C., Batis, A., Alcocer, M., Gual, M., & Sánchez, C. (2009). Árboles y arbustos nativos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.11004.54407>

Vergara, F., & Quijano, C. (2017). Efecto del extracto acuoso de *Moringa oleifera* sobre el índice mitótico y la frecuencia de micronúcleos en *Allium cepa*. *Rebiol*, 37(2), 5-13.

Vibrans, H. (2009). Catálogo de malezas de México. *Schinus molle* L. <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/anacardiaceae/schinus-molle/fichas/ficha.htm>

Wimalaratne, D., Slessor, K., Borden, J., Abate, T., & Chong, L. (1996). Isolation and identification of house fly, *Musca domestica* L., repellents from pepper tree, *Schinus molle* L. *Journal of Chemical Ecology*, 22(1), 49-59. <https://doi.org/10.1007/BF02040199>

IX. ANEXOS

ANEXO 1: EVIDENCIAS FOTOGRÁFICAS



Fotografía 1. Recolección de hojas de la especie *Schinus molle* L. “molle”



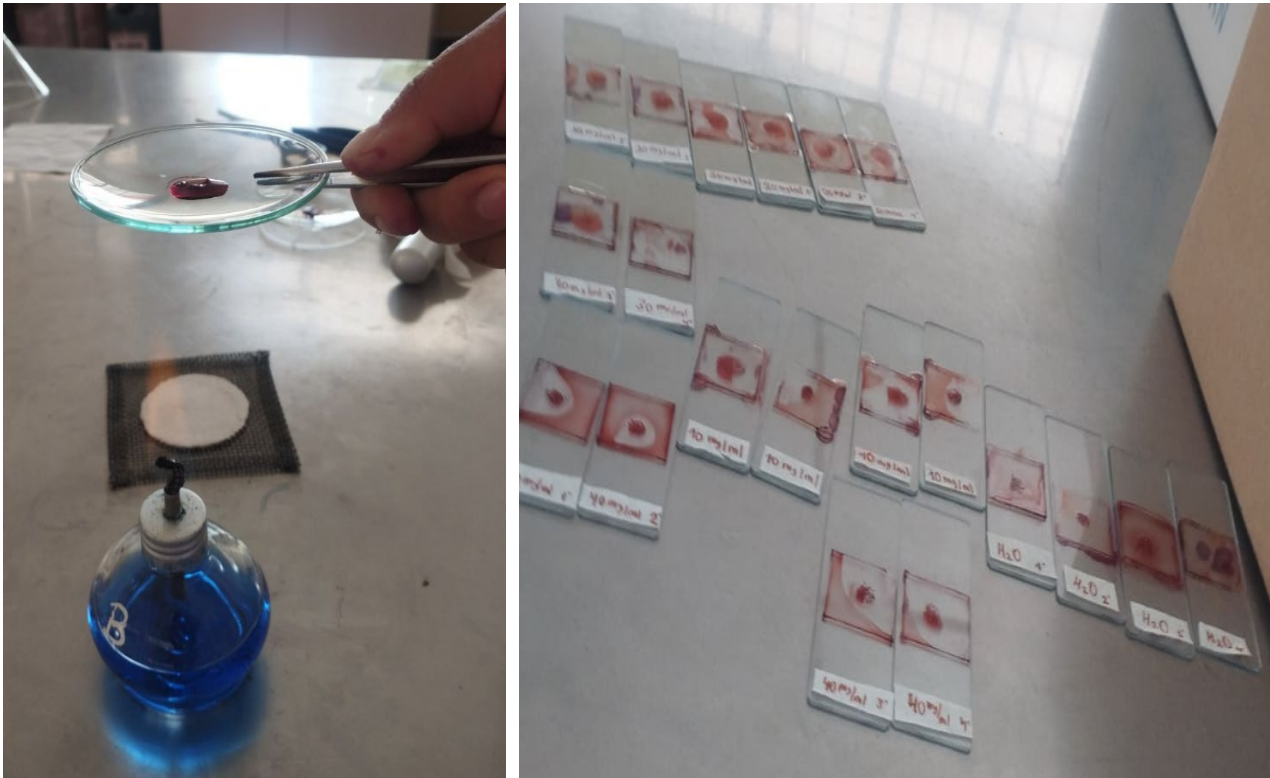
Fotografía 2. Secado, pesado, filtrado y obtención de extractos acuosos de hojas de *Schinus molle* L. (molle) en concentraciones de 10, 20, 30 y 40 mg/ml.



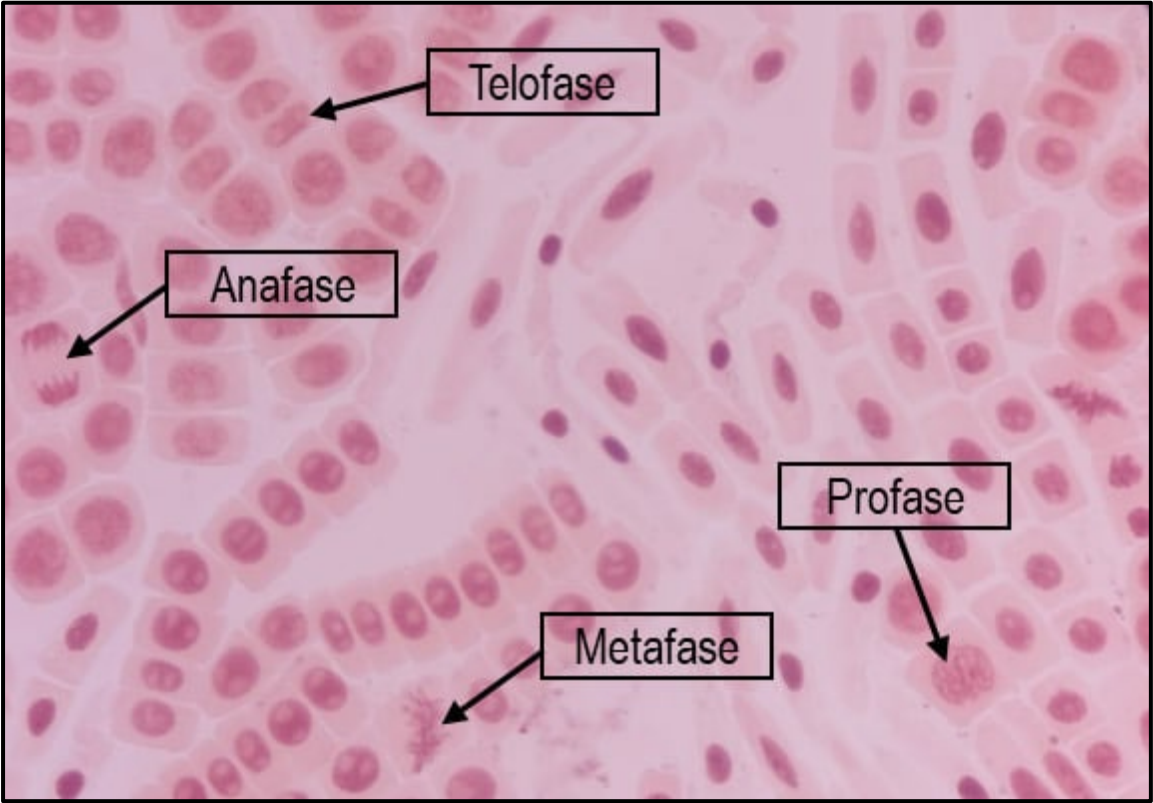
Fotografía 3. Exposición de las raicillas de *Allium cepa* (cebolla) frente al extracto acuoso de *Schinus molle* L. (molle).



Fotografía 4. Crecimiento y medición de las raicillas de *Allium cepa* (cebolla) en diferentes tiempos de exposición, 24, 48 y 72 horas.



Fotografía 5. Coloración de las raicillas y obtención de los preparados citológicos de *Allium cepa* (cebolla).



Fotografía 6. Índice de fases en las células meristemáticas de *Allium cepa* (cebolla) expuesto al extracto acuoso de las hojas de *Schinus molle* L. (molle).

ANEXO 2:

Base de datos sobre la longitud (cm) de los meristemos radiculares de *Allium cepa* tras la exposición a un tratamiento de control (agua destilada) y a extractos acuosos de *Schinus molle* L. en concentraciones de 10 mg/ml, 20 mg/ml, 30 mg/ml y 40 mg/ml, con tiempos de exposición de 24, 48 y 72 horas.

Tabla 15.

Estadísticas descriptivas de la longitud (cm) de los meristemos radiculares de *Allium cepa*.

		N	Media	Desv, Desviación	Desv, Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
Longitud raíz (cm) a 24 horas	Tratamiento 0 (Control)	4	3,2000	0,21602	0,10801	2,8563	3,5437	3,00	3,50
	Tratamiento 1 (10mg/ml)	4	2,6500	0,12910	0,06455	2,4446	2,8554	2,50	2,80
	Tratamiento 2 (20mg/ml)	4	2,0750	0,20616	0,10308	1,7470	2,4030	1,80	2,30
	Tratamiento 3 (30mg/ml)	4	2,1500	0,19149	0,09574	1,8453	2,4547	2,00	2,40
	Tratamiento 4 (40mg/ml)	4	1,8000	0,21602	0,10801	1,4563	2,1437	1,60	2,10
	Total	20	2,3750	0,53693	0,12006	2,1237	2,6263	1,60	3,50
Longitud raíz (cm) a 48 horas	Tratamiento 0 (Control)	4	3,6500	0,12910	0,06455	3,4446	3,8554	3,50	3,80
	Tratamiento 1 (10mg/ml)	4	2,8000	0,21602	0,10801	2,4563	3,1437	2,50	3,00
	Tratamiento 2 (20mg/ml)	4	2,4000	0,38297	0,19149	1,7906	3,0094	1,90	2,70
	Tratamiento 3 (30mg/ml)	4	2,1250	0,34034	0,17017	1,5834	2,6666	1,80	2,60
	Tratamiento 4 (40mg/ml)	4	1,7750	0,22174	0,11087	1,4222	2,1278	1,50	2,00
	Total	20	2,5500	0,70450	0,15753	2,2203	2,8797	1,50	3,80
Longitud raíz (cm) a 72 horas	Tratamiento 0 (Control)	4	3,8500	0,12910	0,06455	3,6446	4,0554	3,70	4,00
	Tratamiento 1 (10mg/ml)	4	3,8500	0,12910	0,06455	3,6446	4,0554	3,70	4,00
	Tratamiento 2 (20mg/ml)	4	2,3750	0,34034	0,17017	1,8334	2,9166	2,10	2,80
	Tratamiento 3 (30mg/ml)	4	2,1000	0,47610	0,23805	1,3424	2,8576	1,60	2,60
	Tratamiento 4 (40mg/ml)	4	1,7000	0,14142	0,07071	1,4750	1,9250	1,60	1,90
	Total	20	2,7750	0,96019	0,21471	2,3256	3,2244	1,60	4,00

ANEXO 3:

Base de datos del Índice mitótico y de fases (Profase, Metafase, Anafase y Telofase) del tratamiento control (agua destilada) y extracto acuoso de *Schinus molle* L. en concentraciones de 10 mg/ml, 20 mg/ml, 30 mg/ml y 40 mg/ml), en meristemos radiculares de *Allium cepa* con tiempo de exposición de 24 horas.

Tabla 16.

Estadísticas descriptivas del Índice mitótico y de fases en los meristemos radiculares de *Allium cepa* con tiempo de exposición de 24 horas.

		N	Media	Desv, Desviación	Desv, Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
Índice Mitótico a 24 horas	Tratamiento 0 (Control)	4	0,01600	0,006272	0,003136	0,00602	0,02598	0,011	0,024
	Tratamiento 1 (10mg/ml)	4	0,01000	0,002708	0,001354	0,00569	0,01431	0,008	0,014
	Tratamiento 2 (20mg/ml)	4	0,00725	0,003594	0,001797	0,00153	0,01297	0,004	0,012
	Tratamiento 3 (30mg/ml)	4	0,00400	0,000816	0,000408	0,00270	0,00530	0,003	0,005
	Tratamiento 4 (40mg/ml)	4	0,00275	0,000500	0,000250	0,00195	0,00355	0,002	0,003
	Total	20	0,00800	0,005758	0,001288	0,00531	0,01069	0,002	0,024
Índice Profásico a 24 horas	Tratamiento 0 (Control)	4	0,0078	0,00250	0,00125	0,0038	0,0117	0,01	0,01
	Tratamiento 1 (10mg/ml)	4	0,0045	0,00129	0,00065	0,0024	0,0066	0,00	0,01
	Tratamiento 2 (20mg/ml)	4	0,0030	0,00082	0,00041	0,0017	0,0043	0,00	0,00
	Tratamiento 3 (30mg/ml)	4	0,0018	0,00050	0,00025	0,0010	0,0025	0,00	0,00
	Tratamiento 4 (40mg/ml)	4	0,0018	0,00050	0,00025	0,0010	0,0025	0,00	0,00
	Total	20	0,0038	0,00259	0,00058	0,0025	0,0050	0,00	0,01
Índice Metafásico a 24 horas	Tratamiento 0 (Control)	4	0,0018	0,00150	0,00075	-0,0006	0,0041	0,00	0,00
	Tratamiento 1 (10mg/ml)	4	0,0008	0,00096	0,00048	-0,0008	0,0023	0,00	0,00
	Tratamiento 2 (20mg/ml)	4	0,0018	0,00126	0,00063	-0,0003	0,0038	0,00	0,00
	Tratamiento 3 (30mg/ml)	4	0,0003	0,00050	0,00025	-0,0005	0,0010	0,00	0,00

	Tratamiento 4 (40mg/ml)	4	0,0003	0,00050	0,00025	-0,0005	0,0010	0,00	0,00
	Total	20	0,0010	0,00115	0,00026	0,0004	0,0015	0,00	0,00
Índice Anafásico a 24 horas	Tratamiento 0 (Control)	4	0,0033	0,00287	0,00144	-0,0013	0,0078	0,00	0,01
	Tratamiento 1 (10mg/ml)	4	0,0035	0,00252	0,00126	-0,0005	0,0075	0,00	0,01
	Tratamiento 2 (20mg/ml)	4	0,0018	0,00171	0,00085	-0,0010	0,0045	0,00	0,00
	Tratamiento 3 (30mg/ml)	4	0,0008	0,00050	0,00025	0,0000	0,0015	0,00	0,00
	Tratamiento 4 (40mg/ml)	4	0,0000	0,00000	0,00000	0,0000	0,0000	0,00	0,00
	Total	20	0,0019	0,00218	0,00049	0,0008	0,0029	0,00	0,01
Índice Telofásico a 24 horas	Tratamiento 0 (Control)	4	0,0033	0,00171	0,00085	0,0005	0,0060	0,00	0,01
	Tratamiento 1 (10mg/ml)	4	0,0020	0,00082	0,00041	0,0007	0,0033	0,00	0,00
	Tratamiento 2 (20mg/ml)	4	0,0010	0,00082	0,00041	-0,0003	0,0023	0,00	0,00
	Tratamiento 3 (30mg/ml)	4	0,0013	0,00126	0,00063	-0,0008	0,0033	0,00	0,00
	Tratamiento 4 (40mg/ml)	4	0,0008	0,00096	0,00048	-0,0008	0,0023	0,00	0,00
	Total	20	0,0017	0,00139	0,00031	0,0010	0,0023	0,00	0,01

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 4:

Base de datos del Índice mitótico y de fases (Profase, Metafase, Anafase y Telofase) del tratamiento control (agua destilada) y extracto acuoso de *Schinus molle* L. en concentraciones de 10 mg/ml, 20 mg/ml, 30 mg/ml y 40 mg/ml), en meristemos radiculares de *Allium cepa* con tiempo de exposición de 48 horas.

Tabla 17.

Estadísticas descriptivas del Índice mitótico y de fases en los meristemos radiculares de *Allium cepa* con tiempo de exposición de 48 horas.

	N	Media	Desv, Desviación	Desv, Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo	
					Límite inferior	Límite superior			
Índice Mitótico a 48 horas	T0	4	0,01350	0,003697	0,001848	0,00762	0,01938	0,009	0,017
	T1	4	0,00825	0,001500	0,000750	0,00586	0,01064	0,007	0,010
	T2	4	0,00650	0,002082	0,001041	0,00319	0,00981	0,004	0,009
	T3	4	0,00625	0,000957	0,000479	0,00473	0,00777	0,005	0,007
	T4	4	0,00400	0,001155	0,000577	0,00216	0,00584	0,003	0,005
Total	20	0,00770	0,003785	0,000846	0,00593	0,00947	0,003	0,017	
Índice Profásico a 48 horas	T0	4	0,0078	0,00263	0,00131	0,0036	0,0119	0,01	0,01
	T1	4	0,0043	0,00050	0,00025	0,0035	0,0050	0,00	0,01
	T2	4	0,0040	0,00000	0,00000	0,0040	0,0040	0,00	0,00
	T3	4	0,0038	0,00096	0,00048	0,0022	0,0053	0,00	0,01
	T4	4	0,0025	0,00100	0,00050	0,0009	0,0041	0,00	0,00
Total	20	0,0045	0,00216	0,00048	0,0034	0,0055	0,00	0,01	
Índice Metafásico a 48 horas	T0	4	0,0023	0,00096	0,00048	0,0007	0,0038	0,00	0,00
	T1	4	0,0015	0,00058	0,00029	0,0006	0,0024	0,00	0,00

	T2	4	0,0018	0,00096	0,00048	0,0002	0,0033	0,00	0,00
	T3	4	0,0018	0,00096	0,00048	0,0002	0,0033	0,00	0,00
	T4	4	0,0015	0,00100	0,00050	-0,0001	0,0031	0,00	0,00
	Total	20	0,0018	0,00085	0,00019	0,0014	0,0021	0,00	0,00
	T0	4	0,0028	0,00096	0,00048	0,0012	0,0043	0,00	0,00
	T1	4	0,0010	0,00082	0,00041	-0,0003	0,0023	0,00	0,00
Índice Anafásico a 48 horas	T2	4	0,0010	0,00115	0,00058	-0,0008	0,0028	0,00	0,00
	T3	4	0,0008	0,00096	0,00048	-0,0008	0,0023	0,00	0,00
	T4	4	0,0000	0,00000	0,00000	0,0000	0,0000	0,00	0,00
	Total	20	0,0011	0,00121	0,00027	0,0005	0,0017	0,00	0,00
	T0	4	0,0008	0,00050	0,00025	0,0000	0,0015	0,00	0,00
	T1	4	0,0020	0,00141	0,00071	-0,0003	0,0043	0,00	0,00
Índice Telofásico a 48 horas	T2	4	0,0000	0,00000	0,00000	0,0000	0,0000	0,00	0,00
	T3	4	0,0000	0,00000	0,00000	0,0000	0,0000	0,00	0,00
	T4	4	0,0000	0,00000	0,00000	0,0000	0,0000	0,00	0,00
	Total	20	0,0006	0,00100	0,00022	0,0001	0,0010	0,00	0,00

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 5:

Base de datos del Índice mitótico y de fases (Profase, Metafase, Anafase y Telofase) del tratamiento control (agua destilada) y extracto acuoso de *Schinus molle* L. en concentraciones de 10 mg/ml, 20 mg/ml, 30 mg/ml y 40 mg/ml, en meristemos radiculares de *Allium cepa* con tiempo de exposición de 72 horas.

Tabla 18.

Estadísticas descriptivas del Índice mitótico y de fases en los meristemos radiculares de *Allium cepa* con tiempo de exposición de 72 horas.

						95% del intervalo de confianza para la media			
		N	Media	Desv, Desviación	Desv, Error	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
Índice Mitótico a 72 horas	T0	4	0,02500	0,004243	0,002121	0,01825	0,03175	0,019	0,028
	T1	4	0,01050	0,001291	0,000645	0,00845	0,01255	0,009	0,012
	T2	4	0,00625	0,003594	0,001797	0,00053	0,01197	0,003	0,011
	T3	4	0,00425	0,000957	0,000479	0,00273	0,00577	0,003	0,005
	T4	4	0,00250	0,000577	0,000289	0,00158	0,00342	0,002	0,003
	Total	20	0,00970	0,008627	0,001929	0,00566	0,01374	0,002	0,028
Índice Profásico a 72 horas	T0	4	0,0155	0,00311	0,00155	0,0106	0,0204	0,01	0,02
	T1	4	0,0065	0,00129	0,00065	0,0044	0,0086	0,01	0,01
	T2	4	0,0035	0,00129	0,00065	0,0014	0,0056	0,00	0,01
	T3	4	0,0023	0,00050	0,00025	0,0015	0,0030	0,00	0,00
	T4	4	0,0015	0,00058	0,00029	0,0006	0,0024	0,00	0,00
	Total	20	0,0059	0,00545	0,00122	0,0033	0,0084	0,00	0,02
	T0	4	0,0020	0,00141	0,00071	-0,0003	0,0043	0,00	0,00

Índice Metafásico a 72 horas	T1	4	0,0010	0,00115	0,00058	-0,0008	0,0028	0,00	0,00
	T2	4	0,0003	0,00050	0,00025	-0,0005	0,0010	0,00	0,00
	T3	4	0,0015	0,00129	0,00065	-0,0006	0,0036	0,00	0,00
	T4	4	0,0003	0,00050	0,00025	-0,0005	0,0010	0,00	0,00
	Total	20	0,0010	0,00117	0,00026	0,0005	0,0015	0,00	0,00
Índice Anafásico a 72 horas	T0	4	0,0028	0,00096	0,00048	0,0012	0,0043	0,00	0,00
	T1	4	0,0020	0,00082	0,00041	0,0007	0,0033	0,00	0,00
	T2	4	0,0010	0,00141	0,00071	-0,0013	0,0033	0,00	0,00
	T3	4	0,0003	0,00050	0,00025	-0,0005	0,0010	0,00	0,00
	T4	4	0,0003	0,00050	0,00025	-0,0005	0,0010	0,00	0,00
	Total	20	0,0013	0,00129	0,00029	0,0006	0,0019	0,00	0,00
Índice Telofásico a 72 horas	T0	4	0,0048	0,00050	0,00025	0,0040	0,0055	0,00	0,01
	T1	4	0,0018	0,00126	0,00063	-0,0003	0,0038	0,00	0,00
	T2	4	0,0015	0,00129	0,00065	-0,0006	0,0036	0,00	0,00
	T3	4	0,0003	0,00050	0,00025	-0,0005	0,0010	0,00	0,00
	T4	4	0,0005	0,00058	0,00029	-0,0004	0,0014	0,00	0,00
	Total	20	0,0018	0,00183	0,00041	0,0009	0,0026	0,00	0,01

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 6:

Análisis de varianza para Índice Mitótico y de fases (Profase, Metafase, Anafase y Telofase) del tratamiento control (agua destilada) y extracto acuoso de *Schinus molle* L. en concentraciones de 10 mg/ml, 20 mg/ml, 30 mg/ml y 40 mg/ml, en meristemos radiculares de *Allium cepa* con tiempo de exposición de 24, 48 y 72 horas.

Tabla 19.

Análisis de varianza del Índice Mitótico.

Fuente de variación	Índice mitótico				
	GL	SC	CM	F	Prob
Factor A (Tratamientos)	4	3,744	0,936	55,96	<0.0001
Factor B (Tiempos de exposición)	2	0,022	0,011	0,67	0,519
Factor A * Factor B	8	0,369	0,046	2,76	0,014
Error	45	0,753	0,017		
Total	59	4,888			

CV (%): 5,97

R² : 84,60

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20.

Análisis de varianza Profase.

Fuente de variación	Profase				
	GL	SC	CM	F	Prob
Factor A (Tratamientos)	4	3,511	0,879	45,57	<.0001
Factor B (Tiempos de exposición)	2	0,195	0,097	5,27	0,009
Factor A * Factor B	8	0,504	0,063	3,41	0,004
Error	45	0,830	0,018		
Total	59	5,040			

CV (%): 5,58

R² : 83,52

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21.

Análisis de varianza Metafase.

Fuente de variación	Metafase				
	GL	SC	CM	F	Prob
Factor A (Tratamientos)	4	8,102E-6	2,026E-6	2,88	0,033
Factor B (Tiempos de exposición)	2	5,510E-6	2,755E-6	3,92	0,027
Factor A * Factor B	8	6,540E-6	8,175E-7	1,16	0,341
Error	45	0,00003160	0.00000070		
Total	59	0,00005175			

CV (%): 27,90

R² : 0,389

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22.

Análisis de varianza Anafase.

Fuente de variación	Anafase				
	GL	SC	CM	F	Prob
Factor A (Tratamientos)	4	0.00004965	0.00001241	10,61	<.0001
Factor B (Tiempos de exposición)	2	0.00000371	0,00000185	1,58	0,217
Factor A * Factor B	8	0.00000623	0,00000078	0,67	0,719
Error	45	0.00005266	0,00000117		
Total	59	0.00011225			

CV (%): 0,36

R² : 53,08

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23.

Análisis de varianza Telofase.

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	Prob
Factor A (Tratamientos)	4	0,00003799	0,00000950	17.12	<.0001
Factor B (Tiempos de exposición)	2	0,00001437	0,00000718	12.95	<.0001
Factor A * Factor B	8	0,00002047	0,00000256	4.61	0,0004
Error	45	0,00002496	0,00000055		
Total	59	0,00009778			

CV (%): 0,25

R² : 74,50

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 7:

Base de datos de la longitud (cm) de los meristemos radiculares de *A. cepa* y los índices mitóticos y de fases (profase, metafase, anafase y telofase), tras la exposición a un tratamiento de control (agua destilada) y a extractos acuosos de *S. molle* L. en concentraciones de 10 mg/ml, 20 mg/ml, 30 mg/ml y 40 mg/ml, con tiempos de exposición de 24, 48 y 72 horas.

Concentración	Longitud de raíz (cm)			Índice Mitótico			Índice profásico			Índice metafásico			Índice anafásico			Índice telofásico		
	24 h	48 h	72 h	24 h	48 h	72 h	24 h	48 h	72 h	24 h	48 h	72 h	24 h	48 h	72 h	24 h	48 h	72 h
T0	3	3.5	4	1.1%	1.6%	2.8%	0.7%	1.0%	1.7%	0.1%	0.3%	0.4%	0.1%	0.2%	0.2%	0.1%	0.1%	0.5%
T0	3.1	3.8	3.9	2.4%	0.9%	2.5%	1.1%	0.5%	1.6%	0.1%	0.1%	0.2%	0.7%	0.2%	0.3%	0.5%	0.1%	0.4%
T0	3.2	3.6	3.7	1.8%	1.2%	1.9%	0.8%	0.6%	1.1%	0.4%	0.2%	0.1%	0.4%	0.3%	0.2%	0.3%	0.1%	0.5%
T0	3.5	3.7	3.8	1.1%	1.7%	2.8%	0.5%	1.0%	1.8%	0.1%	0.3%	0.1%	0.1%	0.4%	0.4%	0.4%	0.0%	0.5%
T1	2.7	2.5	4	0.9%	1.0%	1.2%	0.3%	0.5%	0.8%	0.1%	0.2%	0.0%	0.3%	0.1%	0.3%	0.3%	0.2%	0.2%
T1	2.6	3	3.9	0.8%	0.7%	0.9%	0.4%	0.4%	0.6%	0.0%	0.1%	0.2%	0.3%	0.0%	0.1%	0.1%	0.3%	0.0%
T1	2.8	2.9	3.7	1.4%	0.7%	1.0%	0.6%	0.4%	0.7%	0.0%	0.1%	0.0%	0.7%	0.2%	0.2%	0.2%	0.0%	0.2%
T1	2.5	2.8	3.8	0.9%	0.9%	1.1%	0.5%	0.4%	0.5%	0.2%	0.2%	0.2%	0.1%	0.1%	0.2%	0.2%	0.3%	0.3%
T2	2.3	1.9	2.8	0.8%	0.6%	0.7%	0.3%	0.4%	0.4%	0.2%	0.2%	0.0%	0.2%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.3%
T2	2.1	2.7	2.5	0.5%	0.7%	0.3%	0.3%	0.4%	0.2%	0.2%	0.1%	0.0%	0.0%	0.2%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
T2	2.1	2.7	2.1	1.2%	0.9%	1.1%	0.4%	0.4%	0.5%	0.3%	0.3%	0.1%	0.4%	0.2%	0.3%	0.2%	0.0%	0.2%
T2	1.8	2.3	2.1	0.4%	0.4%	0.4%	0.2%	0.4%	0.3%	0.0%	0.1%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.1%
T3	2.2	2	2.6	0.5%	0.5%	0.5%	0.1%	0.3%	0.2%	0.1%	0.1%	0.2%	0.0%	0.1%	0.1%	0.3%	0.0%	0.0%
T3	2	1.8	2.4	0.4%	0.7%	0.3%	0.2%	0.4%	0.2%	0.0%	0.3%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%
T3	2	2.6	1.6	0.3%	0.7%	0.4%	0.2%	0.3%	0.3%	0.0%	0.2%	0.0%	0.1%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%
T3	2.4	2.1	1.8	0.4%	0.6%	0.5%	0.2%	0.5%	0.2%	0.0%	0.1%	0.3%	0.1%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%
T4	1.6	1.7	1.6	0.3%	0.3%	0.3%	0.1%	0.3%	0.1%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.1%	0.2%	0.0%	0.0%
T4	1.7	1.5	1.9	0.3%	0.5%	0.2%	0.2%	0.3%	0.2%	0.0%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%
T4	1.8	2	1.7	0.3%	0.3%	0.2%	0.2%	0.1%	0.1%	0.1%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%
T4	2.1	1.9	1.6	0.2%	0.5%	0.3%	0.2%	0.3%	0.2%	0.0%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%

ANEXO 8:

Tabla 24.

Matriz de Consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p>Generales:</p> <p>¿Cuál es el efecto citotóxico del extracto acuoso de <i>Schinus molle</i> L. (molle) sobre las células meristemáticas de <i>Allium cepa</i> (cebolla) a diferentes concentraciones y tiempos de exposición?</p> <p>Específicos</p> <p>a) ¿Cómo se ve afectado el índice mitótico en las células meristemáticas de <i>Allium cepa</i> (cebolla) cuando se exponen al extracto acuoso de <i>Schinus molle</i> L. (molle) a diferentes concentraciones y tiempos de exposición?</p> <p>b) ¿Cómo se ve afectado las fases del ciclo celular en las células meristemáticas de <i>Allium cepa</i> (cebolla) cuando se exponen al extracto acuoso de <i>Schinus molle</i> L. (molle) a diferentes concentraciones y tiempos de exposición?</p> <p>c) ¿Cuál es el efecto del extracto acuoso de <i>Schinus molle</i> L. (molle) en el crecimiento radicular y el porcentaje de inhibición en <i>Allium cepa</i> (cebolla) bajo distintas concentraciones y tiempos de exposición?</p>	<p>Generales</p> <p>Evaluar la citotoxicidad del extracto acuoso de <i>Schinus molle</i> L “molle” en células meristemáticas de <i>Allium cepa</i> “cebolla” a diferentes concentraciones y tiempos de exposición.</p> <p>Específicos</p> <p>a) Evaluar el índice mitótico en las células meristemáticas de <i>Allium cepa</i> “cebolla” sometidos al extracto acuoso de <i>Schinus molle</i> L “molle” a diferentes concentraciones y tiempos de exposición.</p> <p>b) Evaluar el índice de fases en las células meristemáticas de <i>Allium cepa</i> “cebolla” sometidos al extracto acuoso de <i>Schinus molle</i> L “molle” a diferentes concentraciones y tiempos de exposición.</p> <p>c) Calcular el crecimiento radicular y su porcentaje de inhibición en <i>Allium cepa</i> “cebolla” expuestas al extracto acuoso de <i>Schinus molle</i> L “molle” a diferentes concentraciones y tiempos de exposición.</p>	<p>Variable 1:</p> <p>Variable independiente</p> <p>Concentraciones y tiempos de exposición del extracto acuoso de <i>Schinus molle</i> L “molle”</p> <p>Variable dependiente</p> <p>Citotoxicidad en células meristemáticas de <i>Allium cepa</i> “cebolla”.</p>	<p>Tipo: Experimental</p> <p>Nivel: Explicativo</p> <p>Diseño: Experimental con diseño factorial.</p> <p>Población y muestra</p> <p>a) Población: Conformada por 60 cebollas (<i>Allium cepa</i>).</p> <p>b) Muestra: Células del meristemo apical de las raíces de los 60 bulbos.</p> <p>Técnicas e instrumentos</p> <p>a) Técnicas: Se empleará la observación estructurada de las variables a evaluar con el propósito de mejorar la precisión y objetividad en la recopilación de datos durante la investigación.</p> <p>b) Instrumentos: Ficha de control.</p> <p>Técnica de procesamiento de datos: Se aplicará el diseño factorial con respecto a la concentración del extracto acuoso de <i>S. molle</i> L (10, 20, 30 y 40 mg/ml) y los tiempos de exposición al extracto (24, 48 y 72 horas). Además, se empleará el software estadístico Infostat para calcular el análisis de varianza y realizar la prueba post anova (González et al., 2019).</p>