UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE BIOTECNOLOGÍA

EFECTO ALELOPÁTICO DE EXTRACTOS ACUOSOS Y ETANÓLICOS DE NEEM (*Azadirachta indica*) Y LAUREL (*Laurus nobilis*) EN LA GERMINACIÓN DE MAÍZ (*Zea mays*)

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniera Biotecnóloga

AUTORA: DAILENIS MIRIEL SOTO OCAMPO

TUTORA: DRA. INÉS PATRICIA MALO CEVALLOS, Ph.D.

Cuenca - Ecuador

2025

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Dailenis Miriel Soto Ocampo con documento de identificación N° 1106029166 manifiesto que:

Soy la autora y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 19 de febrero del 2025

Atentamente,

_____

Dailenis Miriel Soto Ocampo

1106029166

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Yo, Dailenis Miriel Soto Ocampo con documento de identificación N° 1106029166, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del Trabajo experimental: "Efecto alelopático de extractos acuosos y etanólicos de Neem (*Azadirachta indica*) y Laurel (*Laurus nobilis*) en la germinación de maíz (*Zea mays*)", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Biotecnóloga, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 19 de febrero del 2025

Atentamente,

Dailenis Miriel Soto Ocampo

1106029166

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Inés Patricia Malo Cevallos con documento de identificación N° 0102291044, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: EFECTO ALELOPÁTICO DE EXTRACTOS ACUOSOS Y ETANÓLICOS DE NEEM (*Azadirachta Indica*) Y LAUREL (*Laurus Nobilis*) EN LA GERMINACIÓN DE MAÍZ (*Zea Mays*), realizado por Dailenis Miriel Soto Ocampo con documento de identificación N° 1106029166, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 19 de febrero del 2025

Atentamente,

Dra. Inés Patricia Malo Cevallos, Ph.D.

0102291044

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN 7
ABSTRACT 8
CAPÍTULO 1 9
INTRODUCCIÓN 9
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 11
1.2. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA 12
1.3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN 12
1.4. OBJETIVOS 12
1.4.1. Objetivo General 12
1.4.2. Objetivos Específicos 12
1.5. HIPÓTESIS 13
CAPÍTULO 2 14
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA 14
2.1. ANTECEDENTES 14
2.2. BASES TEÓRICAS 16
2.2.1. Alelopatía y su relevancia en la agricultura 16
2.2.2. Mecanismos de acción alelopática 18
2.2.3. Transporte de metabolitos secundarios en plantas y raíces 19
2.2.4. Limitaciones de los mecanismos de acción 20
2.2.5. Factores que influyen en la liberación de aleloquímicos de la planta 20
2.2.6. Interacciones de los aleloquímicos 22
2.2.6.1. Interacciones entre aleloquímicos y características del suelo 22
2.2.6.2. Interacción entre aleloquímicos y microorganismos del suelo 23
2.2.7. Neem (Azadirachta indica) 23
2.2.7.1. Generalidades y morfología del Neem (Azadirachta indica) 24
2.2.7.2. Compuestos bioactivos presentes en Azadirachta indica 25
2.2.7.3. Extractos de Azadirachta indica 26
2.2.8. Laurel (Laurus nobilis) 28
2.2.8.1. Generalidades y morfología del Laurel (Laurus nobilis) 29
2.2.8.2. Compuestos bioactivos presentes en Laurus nobilis 30
2.2.8.2.1. Fenoles 30
2.2.8.2.2. Terpenoides 31
2.2.8.2.3. Antocianinas 31
2.2.9. Maíz (Zea mays) 32
2.2.9.1. Generalidades y morfología del maíz (Zea mays) 32
2.2.9.2. Germinación del maíz (Zea mays) 33
2.2.9.3. Condiciones óptimas de crecimiento de Zea mays 34

CAPÍTULO 3 **36**
MATERIALES Y MÉTODOS **36**
3.1. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN 36
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA 37
3.3. VARIABLES 37
3.3.1. Variables dependientes 37
3.3.2. Variables independientes 38
3.4. RECOLECCIÓN DE DATOS 39
3.5. PROTOCOLOS 39
3.5.1. Esterilización del material 39
3.5.2. Maceración de los extractos acuosos y etanólicos 41
3.5.3. Dilución de los extractos acuosos y etanólicos 41
3.5.4. Siembra 42
3.5.5. Incubación 43
CAPÍTULO 4 **45**
RESULTADOS Y DISCUSIÓN **45**
4.1. ANÁLISIS DE LOS DATOS 45
4.2. PRESENTACIÓN DE LO DATOS 46
4.3. DISCUSIÓN 52
CAPÍTULO 5 **55**
CONCLUSIONES **55**
5.1. CONCLUSIONES 55
5.2. RECOMENDACIONES **56**
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS **57**
ANEXOS **65**

RESUMEN

La agricultura enfrenta un desafío debido al uso excesivo y constante de herbicidas, este método utilizado durante años ha generado graves consecuencias en la salud de las personas. Los científicos han investigado el desarrollo de bioherbicidas elaborados a partir de plantas que poseen propiedades alelopáticas, ofreciendo así una alternativa prometedora. En la presente investigación se evaluó la actividad alelopática de los extractos acuosos y etanólicos de las hojas de *Azadirachta indica* y *Laurus nobilis* sobre semillas certificadas de *Zea mays,* en condiciones de laboratorio; que se realizó por medio de pruebas de germinación y crecimiento de la radícula. Los extractos se prepararon al 10% p/v, empleando concentraciones de 25% y 50%, la siembra se ejecutó en placas Petri sobre papel filtro, distribuidas en un diseño completamente al azar y tres réplicas por extracto y concentración. Los resultados demostraron un estímulo inhibitorio en la germinación de semillas, de los cuales los extractos acuosos al 25% obtuvieron un menor efecto inhibitorio y un mayor porcentaje de germinación, siendo el extracto de *Laurus nobilis* el que obtuvo un mayor rendimiento en comparación a la muestra de control; por el contrario con los extractos etanólicos, no se observó ningún cambio durante el análisis de la germinación de las semillas. En conclusión, los ensayos demostraron que los extractos etanólicos de *Laurus nobilis* y *Azadirachta indica* inhibieron completamente la germinación de *Zea mays* en ambas concentraciones, mientras que con los extractos acuosos se observaron efectos menos severos, especialmente al 25%, destacando el extracto de *Laurus nobilis* que permitió un desarrollo moderado de las plántulas.

Palabras clave: *Azadirachta indica*, *Laurus nobilis, Zea mays,* alelopatía, concentración y germinación.

ABSTRACT

Agriculture faces a challenge due to the excessive and constant use of herbicides, a method used for years that has had serious consequences on people's health. Scientists have investigated the development of bioherbicides made from plants that possess allelopathic properties, thus offering a promising alternative. In the present research, the allelopathic activity of aqueous and ethanolic extracts of *Azadirachta indica* and *Laurus nobilis* leaves on certified *Zea mays* seeds was evaluated under laboratory conditions; this was done by means of germination and radicle growth tests. The extracts were prepared at 10% w/v, using concentrations of 25% and 50%, the sowing was carried out in Petri dishes on filter paper, distributed in a completely randomized design and three replicates per extract and concentration. The results showed an inhibitory stimulus on seed germination, of which the 25% aqueous extracts obtained a lower inhibitory effect and a higher germination percentage, being the extract of *Laurus nobilis* the one that obtained a higher yield compared to the control sample; on the contrary, with the ethanolic extracts, no change was observed during the analysis of seed germination. In conclusion, the tests showed that the ethanolic extracts of *Laurus nobilis* and *Azadirachta indica* completely inhibited the germination of *Zea mays* at both concentrations, while less severe effects were observed with the aqueous extracts, especially at 25%, with the *Laurus nobilis* extract allowing moderate seedling development.

Keys word: *Azadirachta indica*, *Laurus nobilis, Zea mays,* allelopathy, concentration and germination.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

En el siglo XXI, la agricultura a nivel mundial, enfrenta varios desafíos, uno de sus principales retos es la creciente demanda de alimentos, impulsada por el constante aumento de la población global, que dentro de las investigaciones realizadas por la ONU (2019) se prevé el aumento de 9700 millones para 2050, este drástico crecimiento poblacional ejerce una presión sobre las organizaciones agrícolas, que deben optar métodos sostenibles y eficaces tomando en consideración que la producción de los alimentos cubra las necesidades demográficas (FAO, 2022). Al mismo tiempo, la emergencia climática incrementa la inseguridad alimentaria, amenazando la productividad agrícola, lo que provoca un mayor revuelo en los agrícolas, al tener que tomar más consideraciones para la producción (Intergovernmental Panel On Climate Change (Ipcc), 2023).

Existen varios tipos de agricultura, pero adentrándonos en la agricultura sostenible y el manejo integrado de cultivos, respetuosas tanto para el medio ambiente, el ser humano y el cultivo mismo, se ha dado en la necesidad de explorar alternativas naturales para el control de plagas y el mejoramiento de la producción agrícola, tras varias investigaciones exitosas se ha desarrollado un mejor rendimiento en las últimas décadas (FAO, 2022). En este contexto, el estudio de las interacciones alelopáticas entre plantas emerge como un campo prometedor, brindando potenciales soluciones en los desafíos actuales de la agricultura (Cheng & Cheng, 2015).

El maíz (*Zea mays*), reconocido a nivel mundial como uno de los cereales más importantes (además del sorgo, mijo, trigo, arroz, cebada, avena, teff y quinoa), ha

participado un papel fundamental a nivel de la economía global debido a los beneficios de sus usos en varios ámbitos, que abarcan desde el consumo humano y la alimentación animal hasta aplicaciones en industrias de alta tecnología, como productos comestibles, biocombustibles, plásticos y otros productos industriales (Kerchner et al., 2024). La demanda exponencial del cultivo ejerce presión para maximizar su producción, resultando en la búsqueda para la innovación en la gestión del cultivo, desarrollando alternativas naturales como la alelopatía (Martínez-Ortiz et al., 2024).

La alelopatía es el acontecimiento a través del cual organismos (plantas, microorganismos, virus y hongos) liberan metabolitos secundarios, conocidos como aleloquímicos, estos afectan el crecimiento y desarrollo de organismos patógenos en el organismo huésped (Shan et al., 2023). El manejo de los compuestos aleloquímicos puede tener como resultado diversos efectos que van desde la inhibición del crecimiento de especies competidoras hasta la disuasión de herbívoros o patógenos (Cheng & Cheng, 2015). La alelopatía desempeña un papel importante en la conformación de la estructura y composición de los ecosistemas al influir en las interacciones entre plantas y en la dinámica de las comunidades (Zandi et al., 2023).

Esta investigación se propone evaluar el efecto alelopático de los extractos acuosos y etanólicos de Neem y Laurel en la germinación del maíz (*Zea mays*), uno de los cultivos de mayor importancia tanto en la economía como en el ámbito alimentario a nivel mundial (FAO, 2022). El estudio busca extender el conocimiento sobre las interacciones de los extractos con la germinación de la planta principal (*Zea mays*), además de explorar posibles aplicaciones prácticas en el desarrollo de bioestimulantes o biopesticidas naturales.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La agricultura convencional, se caracteriza por el uso de agroquímicos (pesticidas y fungicidas), ha mostrado limitaciones significativas. El uso continuo de pesticidas presenta una problemática ambiental con efectos de varios aspectos, los cuales reducen la capacidad de propagación de diversas especies y contamina las fuentes de suelo y agua, a largo plazo, afectando la salud de animales y seres humanos (Sobchenko & Fedosova, 2024).

El maíz, actualmente como el segundo cultivo más importante a nivel mundial, cuenta con una producción global anual de 111 millones de toneladas métricas (FAO, 2022), el maíz es uno de los cultivos principales mundialmente, para la seguridad alimentaria y la economía agrícola. Sin embargo, el maíz enfrenta problemáticas que arriesgan en su proceso de productividad y rentabilidad, esta problemática va desde los impactos del cambio climático hasta limitaciones tecnológicas, amenazas constantes de plagas y enfermedades, y la progresión de la demanda de sostenibilidad que requieren técnicas agrícolas más eficientes y adaptativas (Martínez-Ortiz et al., 2024).

En este contexto, la importancia de esta problemática radica en la búsqueda de alternativas naturales que no dañan al ecosistema y permitan el mejoramiento agrícola del maíz en agentes dañinos como las plagas, disminuyendo así el impacto negativo de los agroquímicos tanto en el medio ambiente como en la salud de las personas. Algunos estudios han sabido manifestar que el manejo de los extractos de plantas con propiedades alelopáticas, como el Neem y el Laurel, puede brindar soluciones prácticas que ayuden a resolver esta problemática. Sin embargo, varias investigaciones realizadas manifiestan que los extractos vegetales que se usan a altas concentraciones pueden inhibir el crecimiento del cultivo, pero esto no aplica para todas las plantas alelopaticas (Wang et al., 2024).

1.2. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

Se centrará utilizando semillas certificadas de *Zea mays,* con el uso de extractos acuosos y etanólicos de *Azadirachta indica* y *Laurus nobilis* en concentraciones específicas del 25% y 50%, bajo condiciones de laboratorio estandarizadas, este estudio tuvo una duración de aproximadamente dos meses.

1.3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es el efecto alelopático de los extractos de *Azadirachta indica* y *Laurus nobilis* en la tasa y el vigor de germinación de *Zea mays*?

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

Evaluar el efecto alelopático de los extractos acuosos y etanólicos de las especies *Azadirachta indica* y *Laurus nobilis* sobre la germinación de *Zea mays*, determinando su impacto en el proceso de desarrollo inicial de la planta.

1.4.2. Objetivos Específicos

Determinar el porcentaje de germinación de semillas de *Zea mays* bajo diferentes concentraciones de los extractos acuosos y etanólicos de *Azadirachta indica* y *Laurus nobilis* en condiciones controladas de laboratorio.

Analizar estadísticamente los datos obtenidos en la germinación y crecimiento de *Zea mays* entre los tratamientos con los extractos alelopáticos y el grupo control, determinando su significancia y aplicabilidad

1.5. HIPÓTESIS

Los extractos acuosos de *Azadirachta indica* y *Laurus nobilis* contienen compuestos bioactivos que ejercen efectos significativos (estimulantes o inhibidores) sobre la germinación y el crecimiento temprano de *Zea mays*.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. ANTECEDENTES

En el estudio "Efecto alelopático del Neem (*Azadirachta indica a. Juss.*) sobre plantas nativas de la Caatinga" se analizó el impacto alelopático de extractos acuosos de *Azadirachta indica* sobre la germinación y desarrollo de dos especies nativas *Cenostigma pyramidale* y *Myracrodruon urundeuva*. La investigación se realizó mediante bioensayos con extractos en cinco diferentes concentraciones (0%, 25%, 50%, 75% y 100%), durante un período de observación de 8 días. Se evaluaron múltiples parámetros, incluyendo porcentaje de germinación, desarrollo de plántulas normales y mediciones de crecimiento. Con los datos analizados se demostró que Neem ejerció susceptibilidad en ambas especies, siendo *C. pyramidale* más vulnerable ante los extractos, y en las dos especies manifestó una reducción progresiva en todos los parámetros evaluados conforme aumentaba la concentración del extracto (Nascimiento et al., 2024).

La investigación realizada por Castrillo Miranda en 2022 revela que por el uso de *Azadirachta indica* como planta ornamental y en proyectos de reforestación, ha logrado una rápida dispersión en diversos ecosistemas. Este estudio evaluó el impacto de los compuestos alelopáticos del Neem sobre la germinación y desarrollo de las especies nativas *A. niopoides* y *T. stans* del Bosque seco Tropical (BsT), se emplearon extractos acuosos de hojas frescas de Neem en diferentes concentraciones (20%, 40%, 60%, 80% y 100%), empleando un diseño experimental con 150 semillas por tratamiento, distribuidas en cajas Petri con 30 semillas cada una y 5 réplicas. Los resultados que se lograron observar se analizaron por un período

de 7 días con fotoperiodos de 12 horas, se evidenció un efecto inhibidor en la germinación y el desarrollo radicular en ambas especies, siendo este efecto más pronunciado a medida que aumentaba la concentración del extracto.

Un estudio reciente publicado en Colombia, valoró la actividad alelopática de extractos etanólicos a partir de las hojas y tallo de *Laurus nobilis* (laurel) sobre las semillas de *Phaseolus vulgaris* (frijol) y *Zea mays* (maíz). Los investigadores realizaron varias pruebas, la más importante, prueba de germinación y crecimiento, donde se observó efectos alelopáticos inhibitorios sobre las semillas, que aumentaban conforme las concentraciones aumentaban. Además, durante la prueba de toxicidad se reveló que el extracto etanólico del tallo de *Laurus nobilis* es más tóxico que la hoja, demostrando así que el efecto inhibitorio de *Laurus nobilis* sobre la germinación del maíz y frijol no solo depende de su concentración, también de la parte de la planta que se usa (Jimenez et al., 2022).

El estudio realizado por Mishra Arpana (2014) investiga los efectos alelopáticos de la *Azadirachta indica*, sobre la germinación y crecimiento de semillas de cuatro cultivos agrícolas. La investigación pone en evidencia que el extracto acuoso de *A. indica*, presenta un efecto inhibidor notable sobre la germinación de las semillas y el crecimiento de raíces y brotes en todos los cultivos. El estudio encontró que las concentraciones más altas del extracto producían una inhibición más significativa. Esta investigación subraya el potencial del uso de extractos de *A. indica* para su uso como biopesticida, siendo manejado en las concentraciones adecuadas y así promover el equilibrio ecológico reduciendo el impacto ambiental de los herbicidas químicos en la agricultura.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Alelopatía y su relevancia en la agricultura

La alelopatía es postulada por Rice (1984) como "cualquier efecto directo o indirecto causado por una planta (incluyendo microorganismos) sobre otras a través de la producción de compuestos químicos que escapan al medio ambiente". En el año 1996, la Sociedad Internacional de Alelopatía (IAS) estableció una definición que concibe la alelopatía como un fenómeno compuesto, es decir, un proceso en el cual los metabolitos secundarios generados por organismos de diferentes especies (plantas, microorganismos, virus y hongos) ejercen una influencia directa sobre el crecimiento y desarrollo de sistemas agrícolas, presenciando dos resultados, tanto efectos potenciadores como inhibidores, con la exclusión del factor de los sistemas animales (Amb & Ahluwalia, 2016).

Los efectos alelopáticos son provocados por aleloquímicos, metabolitos secundarios presentes en el organismo, que son producto de reacciones enzimáticas, con varias funciones de atracción, defensa o señalización (Flores-Villa et al., 2020). Las distintas partes vegetales como las hojas, frutos, semillas, flores, tallos, corteza y raíces contienen diferentes metabolitos secundarios que actúan como fuentes de liberación de aleloquímicos, presentando variaciones significativas en las concentraciones de cada compuestos y en sus mecanismos de interacción con el organismo y su forma de descarga al medio ambiente (Mohamed Salman et al., 2024). Existen varias estrategias de manejo agrícola que permiten aprovechar los aleloquímicos para la eliminación de plagas, incluyendo técnicas como cultivos intercalados, cultivos de cobertura, acolchados, rotación de cultivos, aplicación de extractos vegetales y desarrollo de herbicidas naturales (Mohamed Salman et al., 2024).

Las propiedades de los aleloquímicos se ejercen sobre las plantas vecinas de dos formas básicas. Por un lado, actúan de forma directa interfiriendo en procesos biológicos fundamentales como la fotosíntesis, la respiración y el metabolismo. Si no actúa de forma directa, su acción puede ser indirecta, modificando las condiciones ambientales, principalmente transformando las características fisicoquímicas del suelo y las comunidades microbianas (Xu et al., 2023).

Habitualmente, los compuestos aleloquímicos de especies invasoras tienen un impacto limitado sobre plantas vecinas primitivas, resultado de una aclimatación mutua prolongada. Sin embargo, al ser un agente externo desconocido para las especies del ecosistema invadido, generan una interferencia alelopática significativa sobre las especies nativas (Xu et al., 2023).

Múltiples investigaciones han evidenciado que los aleloquímicos parecen proporcionar una ventaja competitiva crucial para las plantas invasoras. Complementariamente, la hipótesis del reconocimiento bioquímico (BRH) sugiere un mecanismo donde, las semillas de las plantas pueden detectar adaptativamente los fitoquímicos liberados por posibles competidores, respondiendo mediante la extensión de su período de latencia hasta que se configuren condiciones más favorables para su establecimiento (Xu et al., 2023).

El uso de las sustancias alelopáticas extraídas de las plantas pueden controlar o inhibir significativamente la manifestación de plagas y de floraciones vegetales nocivas. Sin embargo, varios experimentos actuales que han valorado los beneficios de los compuestos alelopáticos muestran dos desventajas obvias. Primeramente, las sustancias alelopáticas producen concentraciones altas localizadas, que pueden tener toxicidad elevada o efectos adversos que causan daños sobre otros organismos. En segundo lugar, la adición directa de las sustancias químicas alelopáticas producen una inhibición a corto plazo de las floraciones

vegetales no deseadas, es decir, pueden volver a aparecer plagas en la etapa tardía. Por lo tanto, es necesario desarrollar materiales alelopáticos de liberación controlada y concentraciones adecuadas que puedan simular la liberación de aleloquímicos a largo plazo en las plantas de interés con el fin de obtener características eficientes, controlables, económicos, de acción prolongada y amigables con el medio ambiente (Cheng et al., 2024).

2.2.2. Mecanismos de acción alelopática

El proceso de liberación de aleloquímicos representa un proceso donde las plantas despliegan estrategias químicas para interactuar con su entorno. Willis (2008) resalta que los mecanismos de liberación aleloquímica involucran procesos multidimensionales, de los cuales se incluyen la exudación radicular, volatilización, lixiviación y descomposición de tejidos vegetales, cada uno modulado por factores ambientales específicos. La liberación de aleloquímicos se constituye como un sistema activo de regulación ecológica que está involucrada en los procesos fotosintéticos, enzimáticos y de transporte molecular especializados a gran escala (Reigosa et al., 2006).

La fotosíntesis juega un papel primordial en la producción y liberación de aleloquímicos de interés, actuando como un proceso metabólico primario que genera compuestos necesarios para la comunicación química vegetal. Según Taiz y Zeiger (2010), los metabolitos secundarios desarrollados durante el ciclo fotosintético se manifiestan mecanismos de defensa y señalización química, siendo sintetizados inicialmente en los cloroplastos y posteriormente son transportados a diferentes tejidos vegetales, dando las diferentes concentraciones por cada parte de la planta.

Desde el enfoque enzimático, la liberación de aleloquímicos involucra complejos sistemas de control y regulación molecular. Algunos de los compuestos alelopáticos poseen la capacidad de modificar la síntesis o la actividad de enzimas tanto *in vivo* como *in vitro*. La mayoría de estos compuestos han demostrado un efecto doble sobre la regulación de la enzima, en concentraciones bajas estimulan la actividad enzimática, mientras que en concentraciones elevadas provocan una inhibición o reducción de la misma (Blanco, 2006).

2.2.3. Transporte de metabolitos secundarios en plantas y raíces

El mecanismo del transporte de metabolitos secundarios representa uno de los procesos de mayor complejidad y de difícil comprensión dentro de la fisiología vegetal. Aunque es muy conocido el proceso de la síntesis de estos compuestos y su función en la rizosfera, los mecanismos específicos de su salida a partir de las células y raíces siguen siendo un enigma científico (Weston et al., 2012).

La liberación de metabolitos secundarios enfrenta retos tanto estructurales como fisicoquímicos que tienen bastante relevancia. Las paredes celulares vegetales, con un tamaño de poro de aproximadamente dos nanómetros, no representan una barrera completa para la mayoría de estos compuestos. Sin embargo, las barreras anatómicas (endodermis e hipodermis) pueden interrumpir en la difusión libre de las sustancias dentro del apoplasto, regulando sus movimientos con una buena planificación (Weston et al., 2012).

Las propiedades fisicoquímicas de cada metabolito secundario limitan altamente su capacidad de transporte. Los compuestos polares o cargados presentan una solubilidad lipídica demasiado baja, esto no les permite avanzar atravesando las membranas biológicas de forma autónoma. Aunque, los compuestos altamente lipofílicos tienen la capacidad de

extenderse directamente, la mayoría de los metabolitos secundarios, especialmente aquellos modificados mediante glicosilación, acilación o hidroxilación, requieren mecanismos de transporte especializados (Weston et al., 2012).

Con estos datos se conoce que existe la sofisticación en los mecanismos de transporte vegetal, donde cada metabolito secundario atraviesa por un complicado sistema de barreras moleculares y estructurales en el organismo, evidenciando que la liberación celular se basa demasiado en ser un proceso pasivo y representa un elaborado sistema de control y regulación molecular (Weston et al., 2012).

2.2.4. Limitaciones de los mecanismos de acción

Las investigaciones realizadas sobre los agentes alelopáticos presentan desafíos científicos relevantes, derivados de su diversidad química y su comportamiento molecular. No existe una explicación del mecanismo de acción de cómo estas sustancias afectan a las plantas receptoras. Las limitaciones experimentales son significativas, las concentraciones naturales son considerablemente menores que en laboratorio, las interacciones sinérgicas dificultan el análisis individual de compuestos y resulta complicado distinguir efectos primarios de secundarios (Blanco, 2006).

2.2.5. Factores que influyen en la liberación de aleloquímicos de la planta

Los factores que influyen en la liberación de aleloquímicos son complejos y de varias dimensiones, con aspectos genéticos, ambientales y fisiológicos de las plantas. Uno de los primeros investigadores dentro del tema de alelopatía Rice (1984) señaló que la producción y liberación de aleloquímicos no es un proceso aleatorio, sino un mecanismo de gran complejidad que debe estar altamente regulado por múltiples variables.

Las condiciones ambientales juegan un papel importante para la síntesis y liberación de compuestos aleloquímicos. Según Inderjit y Keating (1999), factores como la temperatura, la humedad, la radiación solar y la disponibilidad de nutrientes pueden cambiar de manera significativa la producción de los metabolitos secundarios. Las plantas dan respuesta a los estímulos ambientales, variando en la síntesis de sus compuestos químicos como mecanismo de adaptación y supervivencia.

Las características genéticas de la especie vegetal representan un factor fundamental en la producción de aleloquímicos. Los investigadores Williamson y Richardson (1988), demostraron que la capacidad para sintetizar y liberar estos compuestos está directamente relacionada con la información genética, por lo que se puede explicar la razón de qué algunas especies dan como resultado ser más efectivas que otras en la producción de sustancias alelopáticas.

Las interacciones microbianas en la rizosfera constituyen un factor poco explorado pero fundamental. Según el estudio realizado por Bais y colaboradores (2006), las microbianas del suelo pueden estimular o inhibir la producción de aleloquímicos, estableciendo complejas redes de comunicación química que modulan la liberación de estos compuestos.

La estructura del ecosistema y la competencia interespecífica también determinan la liberación de aleloquímicos. Walker y colaboradores (2012) sugieren que las plantas en su medio desarrollan respuestas químicas específicas dependiendo de la comunidad vegetal, desarrollando sus estrategias de competencia y supervivencia mediante la liberación selectiva de compuestos alelopáticos

2.2.6. Interacciones de los aleloquímicos

La alelopatía es un fenómeno ecológico complejo que abarca diversas modalidades de interacción, tales como las relaciones entre plantas, entre plantas e insectos, y entre plantas y microorganismos. En estos distintos escenarios, tanto las plantas como los microorganismos pueden actuar como agentes alelopáticos, capaces de influir químicamente en otros organismos de su entorno.

2.2.6.1. Interacciones entre aleloquímicos y características del suelo

El comportamiento de los compuestos aleloquímicos en el suelo constituye un proceso complejo y dinámico que determina su potencial fitotóxico. La interacción de estos compuestos químicos con el medio terrestre (suelo) depende de un delicado equilibrio de adsorción-desorción, que influye directamente en la concentración y disponibilidad en la solución del suelo (Scavo et al., 2019).

Las características del suelo ejercen una influencia sobre los aleloquímicos, abarcando aspectos físicos, químicos y biológicos. Las propiedades físicas, como la textura, estructura, contenido de materia orgánica, humedad y aireación, interactúan entre sí de manera compleja con los parámetros químicos (el pH, la capacidad de intercambio iónico, la dinámica de nutrientes y las concentraciones de oxígeno y dióxido de carbono) para modular el comportamiento de estos compuestos. La dimensión biológica, que se basa principalmente por los microorganismos del suelo pueden transformar las características de la rizosfera (Scavo et al., 2019).

En resumen, la fitotoxicidad de los aleloquímicos no es el resultado de una sola característica, sino, es el producto entre varias interacciones, múltiples y sinérgicas entre

diversos factores terrestres. Cada componente del suelo (físico, químico y biológico) contribuye de manera interdependiente a los procesos de retención, transporte y transformación de estos compuestos químicos (Scavo et al., 2019).

2.2.6.2. Interacción entre aleloquímicos y microorganismos del suelo

Las interacciones entre planta-microorganismo pueden clasificarse en dos categorías fundamentales: positivas y negativas. Entre las interacciones positivas se desarrollan las simbiosis con micorrizas, rizobios y bacterias que promueven el crecimiento vegetal. Por su parte, las interacciones negativas, incluyen asociaciones con organismos como plantas parásitas, herbívoros y microorganismos patógenos, constituyendo un sistema de relaciones ecológicas muy complejas mediadas por señales químicas (Scavo et al., 2019).

La complejidad de la actividad alelopática supera los límites de los estudios *in vitro*, ya que solo la presencia de aleloquímicos no garantiza tener una buena efectividad en condiciones naturales. La degradación de estos compuestos depende de múltiples factores interdependientes, como la naturaleza química específica del compuesto, las características fisicoquímicas del suelo y la composición de la comunidad microbiana presente (Scavo et al., 2019).

2.2.7. Neem (*Azadirachta indica*)

El árbol de *Azadirachta indica*, también denominado “Nim” o “Neem”, se destaca como una de las especies vegetales de alto valor ecológico y medicinal. Su origen da inicio en el subcontinente indio, y gracias a sus beneficios ha logrado una distribución biogeográfica relevante que se extiende por todo el mundo, hasta las estribaciones del

Himalaya, su adaptación exitosa a diversos ecosistemas que incluyen zonas tropicales, subtropicales y regiones áridas ayudan a su distribución (Silva et al., 2024).

Su importancia radica en la presencia en toda su estructura de compuestos bioactivos, especialmente en sus semillas, corteza y hojas, que contienen moléculas con propiedades insecticidas, repelentes y terapéuticas (Islas et al., 2020).

Actualmente, se ha observado una notable expansión de su cultivo a nivel global, inicialmente por su valor en significativos beneficios como programas de reforestación y producción de compuestos con potencial uso en agricultura, salud humana y control de plagas y en recursos forestales, siendo ampliamente utilizada tanto para la obtención de madera como para propósitos energéticos en calidad de combustible (Silva et al., 2024).

2.2.7.1. Generalidades y morfología del Neem (*Azadirachta indica*)

Es una especie arbórea de gran tamaño, también conocida como margosa, nimba o lila de la India y es perteneciente a la familia Meliaceae (Silva et al., 2024). Se caracteriza por un tronco recto que puede llegar a medir un diámetro de 2,5 metros, su corteza es gris rojiza y puede llegar a superar los 200 años. Su estructura radicular está determinada por una raíz pivotante de crecimiento rápido que puede llegar a extenderse el doble de la altura del árbol, esto le ayuda en casos de sequía, volviéndose resistente a la misma. El follaje está compuesto por hojas pecioladas de borde aserrado, que en sus primeras etapas juveniles dan una coloración rojo cobrizo que avanza a verde oscuro en su etapa de madurez, organizadas en foliolos de 35 cm con siete pares de hojas más una terminal. Sus flores, de carácter bisexual y actinomórficas, son pequeñas de aproximadamente 5 mm y son de tonalidades que varían, agrupándose en racimos axilares de hasta 22 cm. El fruto es una drupa elipsoidal de 1,4 a 2,4

cm de largo, que presenta una maduración no simultánea, con una pulpa jugosa y dulce que alberga en su interior una semilla elipsoidal (ocasionalmente dos), de aproximadamente 1,4 cm de largo y 6,5 mm de ancho (Sánchez & Marroquín, 2020).

Tabla 1.

Clasificación taxonómica de Azadirachta indica

TAXONOMÍA	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Sub-división	Meliaceae
Clase	Magnoliopsida
Orden	Sapindales
Familia	Meliaceae
Género	Azadirachta
Especie	*Azadirachta indica*

Fuente: *(Sánchez & Marroquín, 2020)*

2.2.7.2. Compuestos bioactivos presentes en *Azadirachta indica*

Azadirachta indica produce una plétora de tetranortriterpenoides, cuya biosíntesis termina dando como producto la azadiractina (Mordue & Nisbet, 2000). Dentro de la azadiractina están presentes algunos compuestos de mayor relevancia, como la azadiractina A (azadiractina), azadiractina B (3-tigloylazadirachtol), azadiractina D (1-tigloil-3-acetil-11-hidroxi-meliacarpina), azadiractina H (11-demetoxicarbonil azadiractina), azadiractina I (1-tigloil-3-acetil-11-hidroxi-11-demetoxicarbonil-meliacarpina), azadiractanina, azadiriadiona, azadirachtolida, deacetilnimbina, epoxiazadiradiona,

isoazadirolida, margosinolida, nimbina, nimbolina A, nimbandiol, nimocinol, nimbineno, nimbocinona, nimbocinolida, nimocina, nimbolida, salannina y derivados relacionados (Baby et al., 2022). Algunos de estos compuestos desempeñan funciones fisiológicas importantes, principalmente como mecanismos de defensa contra amenazas ambientales como la radiación, depredadores, microorganismos e insectos. Del árbol de *A. indica* se han aislado más de 135 fitocompuestos, de estos se han resaltado nueve limonoides triterpénicos, los cuales son los más investigados por su potencial insecticida. Adicionalmente, la corteza del Neem presenta una alta concentración de lignanos (Baby et al., 2022).

Los extractos de varias partes del árbol de Neem han sido estudiados científicamente y se ha comprobado su uso como potentes agentes antimicrobianos e insecticidas, siendo la azadiractina la responsable de los efectos tóxicos sobre los insectos y además está presente en las semillas (Islas et al., 2020).

2.2.7.3. Extractos de *Azadirachta indica*

La investigación realizada por Dash, Dixit y Sahoo (2017) dio resultados significativos sobre la composición química de extractos foliares del Neeem. El estudio reveló una compleja composición de gran diferencia según el método de extracción a usar, extractos acuosos y extractos metanoicos. Los extractos acuosos dieron como resultado altos niveles de saponinas, taninos y glucósidos, mientras que los extractos metanoicos mostraron una concentración elevada de alcaloides, taninos y flavonoides.

Anteriores investigaciones dieron a conocer estos hallazgos, al identificar una amplia gama de los compuestos analizados en extractos no metanoicos. Alzohairy (2016) documentó la presencia de compuestos como glucósidos nimbaneno, 6-desacetilnimbineno, nimbandiol,

nimbolida, ácido ascórbico, n-hexacosanol, aminoácidos, 7-desacetil-7-benzoilazadiradiona, 7-desacetil-7-benzoilgedunina, 17-hidroxiazadiradiona y nimbiolandia. Esta diversidad de compuestos evidencia la riqueza química de los extractos foliares, además que recalca la importancia del uso de método de extracción, que evidencia las alteraciones en la identificación y cuantificación de los componentes (Islas et al., 2020).

El grupo de investigación liderado por Hossaiń (2013) realizó un amplio estudio donde usó cinco métodos de extracción de los extractos de hojas manejando solventes con diferentes polaridades: hexano, acetato de etilo, cloroformo, butanol y metanol. Los extractos con el solvente de cloroformo destacaron ya que presentó el mayor efecto antioxidante, junto con una composición química compleja. En comparación, los extractos metanólicos resultaron ser el efecto antioxidante más bajo, con una composición más limitada, además se observó una alta concentración de flavonoides. El extracto de hexano presentó una mayor concentración de compuestos biológicos activos, revelando una amplia gama de sustancias, entre ellos se incluyen desde alcoholes hasta hidrocarburos y ésteres. Los resultados con el extracto de butanol reveló que mostraba la concentración más baja de flavonoides.

Varios estudios experimentales demostraron la capacidad de los extractos etanólicos de hojas de Neem, particularmente hablando sobre su eficiencia en su actividad antibacteriana comprobada *in vitro*. Las pruebas revelaron una capacidad inhibitoria de gran apreciación contra microorganismos patógenos, incluyendo *Staphylococcus aureus* y cepas de MRSA (*Staphylococcus aureus* resistente a la meticilina), lo que da como resultado la recomendación del uso de estos extractos en el desarrollo de alternativas terapéuticas y de control microbiológico (Islas et al., 2020).

2.2.8. Laurel (*Laurus nobilis*)

Laurus nobilis, es una especie arbórea de pequeño tamaño perteneciente a la familia *Lauraceae*, sus orígenes se han descifrado en la región meridional del Mediterráneo y Asia (Nagah et al., 2021). El *L. nobilis* es una especie que tiene una significativa importancia tanto histórica y culturalmente, dado que en épocas ancestrales fue conocido como un importante símbolo, representando la paz y el triunfo en deportes marciales, además de ser acreditado en el arte culinario, siendo usado como un condimento aromático de diversos platos como carnes, pescados, caldos y vegetales que enriquecen su sabor; su uso más reconocido desde épocas ancestrales son sus aplicaciones en la medicina tradicional, que ayudan en varios sistemas del cuerpo humano (Anzano et al., 2022). Su rica composición química es quien le da tanta relevancia, siendo esta especie una planta potencial por su uso en varios ámbitos que van desde la gastronomía, extendiéndose a campos como la cosmética, la farmacéutica, industrias agroalimentarias y la fitoterapia (Kamdem et al., 2023).

Investigaciones científicas han documentado complejos compuestos bioactivos en las hojas de *Laurus nobilis* dando capacidades antioxidantes, antimicrobianas y antiinflamatorias, y así esta especie es posicionada como un significativo recurso natural con gran potencial, tanto preventivo como protectivo. En estudios realizados se ha observado concretamente los efectos prometedores en la inhibición de procesos carcinogénicos y como alternativa natural en el control de plagas mediante estrategias de manejo de bioinsecticidas (Awada et al., 2023).

2.2.8.1. Generalidades y morfología del Laurel (*Laurus nobilis*)

Laurus nobilis es una especie vegetal perenne que se caracteriza por ser dioica y puede desarrollarse en forma de arbusto o árbol, llegando a obtener alturas de hasta 12 metros en su hábitat natural, aunque en cultivos donde interviene la mano humana generalmente se mantiene a una altura de 2 a 3 metros con constante poda. Naturalmente se puede observar una estructura de varios tallos (multicaule), con una corteza de coloración marrón oscura. Sus hojas exhiben un dimorfismo característico en su coloración, siendo verde oscuro en el haz y más claras en el envés, con forma lanceolada, ápices puntiagudos y pecíolos cortos. Presentan flores masculinas y femeninas en individuos separados, y cuyos brotes se desarrollan entre marzo y mayo. Las inflorescencias se componen de pequeñas umbelas axilares con cuatro o cinco flores de coloración blanco cremoso a blanco verdoso. Su fruto se caracteriza por ser una drupa carnosa ovoide y aromática de 10-15 mm de longitud, que va de un verde inicial a un negro purpúreo en su madurez en la época de otoño, permanecen en la planta durante todo el invierno e incrementa su tamaño hasta la primavera, coincidiendo ocasionalmente con la nueva floración (Khaled Khodja et al., 2023).

Tabla 2.

Clasificación taxonómica de Laurus nobilis

TAXONOMÍA	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Sub-división	Meliaceae
Clase	Magnoliopsida
Orden	Laurales
Familia	Lauraceae
Género	Laurus
Especie	*Laurus nobilis*

Fuente: *(Khaled Khodja et al., 2023)*

2.2.8.2. Compuestos bioactivos presentes en *Laurus nobilis*

2.2.8.2.1. Fenoles

En *L. nobilis* existen compuestos fenólicos compuestos por un grupo variado de metabolitos secundarios donde se destaca su propiedad antioxidante. De acuerdo a la clasificación de los fenoles iniciamos con los flavonoides identificados, donde se destacan el kaempferol, isoquercitrina, luteolina, quercetina-3-O-ramnósido, 30-metoxiquercetina-3-O-glucopiranósido, isovitexina-2"-ramnósido y rutina; aunque esos son los de mayor importancia se han destacado otros compuestos flavonoides de interés, incluyendo 2'-dihidroxi-α,β-dihidrochalcona-α-O-hexósido, apigenina-6,8-di-C-glucósido, isoramnetina-3-O-hexósido, kaempferol-3-O-rutinósido y diversos derivados de luteolina y apigenina. Acerca de los ácidos fenólicos, las hojas de *L. nobilis* presentan una composición que incluye ácido 3,4-dihidroxibenzoico, ácido gálico, ácido vanílico, ácido rosmarínico,

ácido cafeico, ácido ferúlico, ácido cumárico y ácido 2-hidroxicinámico. Además, la planta es rica en glicósidos fenólicos (que actúan como método de defensa), entre los que se encuentran el 2-(4-hidroxi-3-metoxifenil)-etil-O-β-D-glucósido, el ácido 3,4-dihidroxibenzoico hexósido, el ácido cumárico hexósido y el 1-(2'-hidroxifenil)-1-hidroxifenilpropano-α-O-hexósido. Así támbien, las hojas son ricas en flavonoles que tienen una significativa importancia dentro del campo farmacológico, como catequina, cinamtanina B1, epicatequina hexósido, (+)-catequina, (-)-epicatequina, epigalocatequina y metileugenol. Todos estos compuestos bioactivos presentes en *Laurus nobilis* recalca el significativo potencial antioxidante de la especie, respaldando su valor como recurso fitoterapéutico y farmacéutico (Awada et al., 2023).

2.2.8.2.2. Terpenoides

Hablando de la composición terpénica, las hojas de *Laurus nobilis* presentan diversos terpenoides, incluyendo compuestos como 10-epigazaniólido, gazaniólido, espirafólido, reinosina, costunólido y santamarina, así como lauroxepina, dehidrocostus lactona, zaluzanina D y acetato de (1R,4S)-1-hidroperoxi-p-ment-2-en-8-ol. Sin embargo, se considera de particular interés la identificación de cinco glucósidos de sesquiterpeno tipo megastigmano, denominados laurósidos A, B, C, D y E, que ayudan en la ampliación en el perfil fitoquímico de esta especie y su potencial aplicación en diversos campos de investigación (Awada et al., 2023).

2.2.8.2.3. Antocianinas

Los frutos de *Laurus nobilis* expresan una composición antociánica caracterizada principalmente por dos compuestos predominantes: la cianidina 3-O-glucósido y la cianidina

3-O-rutinósido, que representan un alto nivel de la composición total de antocianinas del 41% y 53% respectivamente. En menor porcentaje, se han identificado dos derivados de la peonidina: el 3-O-glucósido y el 3-O-rutinósido, constituyendo el 5% restante del contenido antociánico. La composición que se encuentra en los frutos de estas antocianinas contribuye a las propiedades bioactivas y el potencial nutracéutico (Awada et al., 2023).

2.2.9. Maíz (*Zea mays*)

2.2.9.1. Generalidades y morfología del maíz (*Zea mays*)

El cultivo de *Zea mays* puede llegar a alcanzar hasta 3,5 metros de altura, aunque lo más habitual es de 2 a 2,5 metros, morfológicamente cuentan con un sistema radicular fibroso y un sistema caulinar con mínimos brotes secundarios. Las hojas están constituidas por láminas, vainas y cuello. La lámina es una banda delgada y angosta de 1,5 metros por 0,1 metros, que finaliza en punta. El tallo se caracteriza por ser una caña maciza con médula blanca azucarada, del cual sobresalen hojas envainadoras de cada uno de los nudos, que cuentan con la capacidad de desarrollar raíces adventicias, estas raíces, cumplen una función dual de anclaje y absorción de agua y nutrientes. Las flores se dividen por su diferenciación sexual en su desarrollo, por un lado, las flores femeninas crecen en las mazorcas, que tiene forma de espiga cilíndrica y está construida alrededor de un eje central o raquis, además de estar envuelta y protegida por hojas. Por otro lado, las flores masculinas se agrupan en una inflorescencia conocida como panoja, la cual es la encargada para la producción de polen. En cuanto al fruto, denominado cariópside o grano, contiene una sola semilla. La inflorescencia masculina se caracteriza por una panícula que contiene entre 20 y 25 millones de granos de polen, los responsables de la producción del polen se dan en los tres estambres que se ubican en cada flor, el cual es de vital importancia para la transferencia genética; mientras que la

inflorescencia femenina, una vez esta polinizada, desarrolla semillas que se distribuyen a lo largo de un eje central, constituyendo un proceso fundamental para la reproducción de la planta (Quispe Trujillo, 2023).

Tabla 3.

Clasificación taxonómica de Zea mays

TAXONOMÍA	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Sub-división	Meliaceae
Clase	Liliopsida
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Género	Zea
Especie	*Zea mays*

Fuente: *(Santos Rivera, 2023)*

2.2.9.2. Germinación del maíz (*Zea mays*)

La germinación se basa en un proceso fisiológico que da origen al desarrollo de una nueva plántula mediante etapas determinadas en los eventos biológicos y bioquímicos. La evolución de la plántula inicia con la fase de imbibición, donde la semilla absorbe el 30% de su peso seco en agua, todo esto obviamente bajo condiciones térmicas óptimas, provocando la expansión y ablandamiento de la cubierta seminal. Posteriormente, se da inicio a la activación interna de los mecanismos fisiológicos, incluyendo la respiración seminal, que acaba con la ruptura de los tegumentos y la aparición de la radícula y plúmula. Con estas

fases se logra determinar que la germinación implica una serie de alteraciones morfogenéticas y fisiológicas, que conllevan a la movilización energética, aprovechando de las reservas endospérmicas y múltiples alteraciones metabólicas. La verificación de una buena germinación se basa en la observación de los indicadores de las diferentes fases que incluyen la reactivación de funciones celulares como la transcripción, traducción y reparación del ADN, continuadas por procesos de elongación y división celular que accede al establecimiento exitoso de la nueva plántula, es decir a su germinación (Khaeim et al., 2022).

2.2.9.3. Condiciones óptimas de crecimiento de *Zea mays*

El cultivo de *Zea mays* se caracteriza por su crecimiento sensible a las variaciones edafoclimáticas, lo que implica determinar las estrategias necesarias para el manejo que debe adaptarse para el rentable crecimiento del cultivo, esto incluye la supervisión de parámetros meteorológicos (EOS Data Analytics, 2024).

2.2.9.3.1. Suelo

La textura del suelo es fundamental para el desarrollo, se adaptan dependiendo de la variedad de maíz, si se trata de variedades tempranas (producción de siembra al final del invierno o inicio de la primavera) se recomiendan suelos arenosos o limosos, mientras que para variedades tardías (cultivo de servicio en un período previo a la siembra) son más apropiados los suelos limosos o arcillosos. Además, hay que tomar en cuenta otros parámetros para un buen cultivo, como es el pH, el rango óptimo se sitúa entre 5,5 y 6,5, (suelos ácidos y neutros). El cultivo del maíz demanda una alta disponibilidad de nutrientes, particularmente nitrógeno, la adición de materia orgánica enriquece las propiedades físico-químicas del suelo (EOS Data Analytics, 2024).

2.2.9.3.2. Clima

Es un cultivo que se reproduce en épocas estivales, como todos los sembríos se requiere condiciones óptimas de temperatura para su desarrollo. Se obtiene un desarrollo ideal a temperaturas entre 20-22 °C, aunque puede resistir hasta 38 °C siempre y cuando exista una adecuada disponibilidad hídrica en el suelo. Sin embargo, estos requerimientos presentan variaciones significativas en el transcurso del día, siendo óptimas las temperaturas diurnas entre 25-33 °C y nocturnas entre 17-23 °C (EOS Data Analytics, 2024).

2.2.9.3.3. Riego

Desde la siembra hasta la cosecha, es importante tomar en cuenta las necesidades hídricas del cultivo siendo particularmente críticas durante la fase reproductiva. El proceso del riego puede mantener un aporte hídrico semanal aproximado de 2,5 cm, sin embargo, es crucial evitar el exceso de humedad ya que podría provocar problemas fitosanitarios como la pudrición de semillas y sistemas radiculares. Para el manejo eficiente del riego se requiere un conocimiento de los requerimientos hídricos específicos en cada etapa del ciclo vegetativo (EOS Data Analytics, 2024).

CAPÍTULO 3

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación es experimental, dado que involucra la manipulación de variables independientes (tipos y concentraciones de extractos) para analizar las consecuencias sobre variables dependientes (parámetros de germinación del maíz). Se utilizó un diseño experimental factorial completamente aleatorizado. Consistió en el manejo de los tratamientos (acuosos y etanólicos) con la selección de dos especies vegetales (*Azadirachta indica* y *Laurus nobilis*), definidos por dos concentraciones (25% y 50%), con tres repeticiones por cada extracto y concentración y con 10 semillas de *Zea mays* por repetición.

Tabla 4.

Diseño experimental de las variables a tomar en cuenta

Placas Petri	***Tratamiento***	***Concentraciones***	***Germinación***
1	Control		%
2	Extracto acuoso Neem	C1 / C2	%
3	Extracto acuoso Laurel	C1 / C2	%
4	Extracto etanólico Neem	C1 / C2	%
5	Extracto etanólico Laurel	C1 / C2	%

Fuente: *Elaboración propia*

Se emplearon técnicas cuantitativas para obtener los resultados de los datos para su respectiva recolección y análisis, incluyendo mediciones del porcentaje de germinación, longitud de radícula, y el tiempo de germinación de la radícula. Los datos obtenidos fueron

sometidos a análisis estadísticos para determinar y valorar la significancia de los efectos observados en el uso de plantas alelopáticas.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

La población se define como el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones (Hernández Sampieri et al., 2014). Tomando en cuenta el contexto de este estudio, la población se define como la variedad específica del conjunto de semillas de *Zea mays* a utilizar en el experimento.

La muestra de la población es un subgrupo de interés con el cual se recolectarán datos de manera más precisa, y que tiene que delimitarse con precisión, además debe ser representativa en la recolección de los datos más significativos (Hernández Sampieri et al., 2014).

3.3. VARIABLES

En la presente investigación se determinan variables independientes y dependientes específicas que permiten la evaluación del efecto alelopático de los extractos acuosos y etanólicos de Neem (*Azadirachta indica)* y Laurel (*Laurus nobilis)* en la germinación de maíz (*Zea mays)*.

3.3.1. Variables dependientes

Analizando las variables dependientes se definieron tres aspectos claves que permiten determinar el resultado del uso de plantas alelopáticas en el experimento. La primera se trata del índice de germinación, el cual evalúa la interacción de los extractos con el proceso germinativo, es decir, si el extracto es adecuado y viable para el uso en la agricultura, se mide

en términos de porcentaje de germinación alcanzado en cada tratamiento y concentración experimental.

La segunda variable se basa en el porcentaje de germinación relativa de semillas (GRS), que se enfoca en la comparación de la proporción de semillas germinadas entre los tratamientos con extractos y el grupo control.

Finalmente, se incluyó el crecimiento relativo de la radícula (CRR), esta variable permite analizar la longitud de la parte radicular de las semillas que fueron expuestas a los extractos en comparación con las condiciones del control, este crecimiento se mide en centímetros (cm), y se fueron determinando los datos en los diez días de experimentación.

3.3.2. Variables independientes

Las variables independientes se relacionan con las condiciones óptimas bajo las cuales se preparan los extractos y se realizan las siembras. En cuanto a la preparación del extracto, se considerarán tres dimensiones principales, el método de extracción, la concentración del extracto y el tiempo de maceración del extracto. El indicador es la proporción usada entre la cantidad de material vegetal y el volumen del solvente, expresado en litros por kilogramo (L/kg).

Por otro lado, las condiciones en las que se realiza la siembra, tiene sus dimensiones que incluyen la distribución de las semillas en cada caja Petri, la cantidad de extracto aplicado sobre las semillas, y el fotoperiodo al que se va a exponer. El indicador correspondiente es la medición del volumen en mililitros (mL) de cada extracto aplicado.

3.4. RECOLECCIÓN DE DATOS

La técnica usada para la recolección de datos fue la observación directa y sistemática, que permitió el registro diariamente de manera objetiva de los cambios en las semillas a lo largo del experimento, los datos se complementaron con mediciones que se obtuvieron bajo la medición de cada semilla a través de una regla milimétrica de forma cuantitativa, necesarias para evaluar los parámetros de germinación.

En este estudio, los datos obtenidos fueron sometidos a un proceso de organización y análisis por cada caja Petri, sacando un promedio de cada una de ellas para la obtención de los resultados de cada parámetro que se determinó. Inicialmente, se clasificaron según el tipo de extracto (acuoso o etanólico), se separó según la especie de planta alelopática donadora (Neem o Laurel), y ordenando por la concentración del extracto (25% y 50%) y las variables de respuesta medidas en las semillas de maíz. Los datos recolectados diariamente se organizaron en una tabla que muestran los resultados por tratamiento, planta y concentración, con la medición de cada semilla incluyendo el promedio de cada variable de respuesta. Para el análisis de los datos recolectados se utilizó una técnica lógica y estadística que permite formular las conclusiones generales sobre los efectos alelopáticos de los extractos a partir de las observaciones realizadas en el experimento.

3.5. PROTOCOLOS

3.5.1. Esterilización del material

Los materiales e insumos necesarios fueron esterilizados en el autoclave, a 121 grados centígrados, durante un período de 20 minutos.

Figura 1.

Esterilización del material necesario en el autoclave.

Fuente: *Elaboración propia*

Así mismo, las semillas de maíz siguieron un proceso de esterilización. Primero se procedió con un enjuague, luego se sumergieron las semillas en una solución de hipoclorito de sodio al 15% durante 30 minutos, con dos gotas de Tween-20, agitando cada 5 minutos. Posteriormente se realizaron tres enjuagues consecutivos con agua destilada esteril y se colocó las semillas en papel filtro para su secado.

Figura 2.

Esterilización de las semillas de maíz con la solución de hipoclorito

Fuente: *Elaboración propia*

3.5.2. Maceración de los extractos acuosos y etanólicos

Para el extracto acuoso, se pesó 10 gramos de las hojas secas de Neem y Laurel trituradas en trozos de no más de un centímetro y se colocó en un matraz, donde se agregó 100 mL de agua destilada estéril. Se cubrió el matraz con papel aluminio y se lo dejó en maceración por 48 horas. Se procedió de la misma manera, para el extracto etanólico, a diferencia que se le agrega etanol al 96%.

Figura 3.

Preparación para la maceración de los extractos.

Fuente: *Elaboración propia*

3.5.3. Dilución de los extractos acuosos y etanólicos

Pasado el tiempo de reposo se procedió a filtrar en papel filtro cada uno de los extractos y se prosiguió con la dilución respectiva de 25% y 50% de la concentración del extracto.

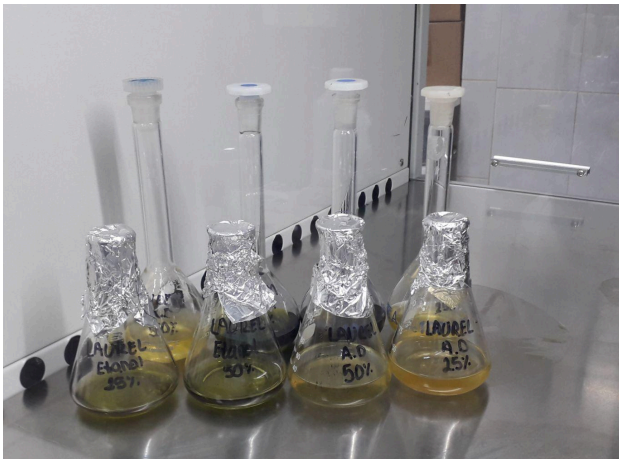
Figura 4.

Filtración de cada uno de los extractos acuosos y etanólicos.

Fuente: *Elaboración propia*

Figura 5.

Dilución de los extractos acuosos y etanólicos en una concentración de 25% y 50%



Fuente: *Elaboración propia*

3.5.4. Siembra

La siembra se realizó en una cámara de flujo laminar, donde se colocó papel filtro en cada caja Petri, para continuar con la adición de 10 semillas por caja, luego con ayuda de una

jeringa que tenía acoplada un filtro tipo pirinola de 0,22 um, se agregó en cada caja 5 mL de la solución correspondiente,, realizando tres repeticiones por cada una de ellas. Además, de las tres repeticiones de control, realizadas con agua destilada esteril. Cada caja fue sellada con parafilm, disponiendo de su respectiva etiqueta.

Figura 6.

Siembra de las semillas en cada caja Petri.

Fuente: *Elaboración propia*

3.5.5. Incubación

Las placas se incubaron en una cámara de crecimiento con un fotoperíodo de 8 horas de luz y 16 horas de oscuridad, a una temperatura de 25 °C, durante un período de 10 días. Con los datos recolectados luego de este tiempo, se pudo proceder con el respectivo análisis estadístico.

Figura 7.

Incubación en condiciones controladas.

Fuente: *Elaboración propia*

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se expondrán los resultados obtenidos de la observación de los efectos alelopáticos en el crecimiento de las semillas sometidas a los distintos tratamientos de los extractos acuosos y etanólicos de Neem (*Azadirachta indica*) y Laurel (*Laurus nobilis*) en comparación con el crecimiento de control en la germinación de maíz (*Zea mays*). Estos resultados se analizaron en el plazo de diez días, cada tratamiento cuenta con diferentes concentraciones, optando en el experimento por concentraciones del 25% y 50%, de allí se analizarán los tres aspectos de los cuales se tomarán en cuenta para determinar la eficacia de cada tratamiento en el experimento.

4.1. ANÁLISIS DE LOS DATOS

Para valorar el efecto alelopático de los extractos acuosos y etanólicos de Neem (*Azadirachta indica*) y Laurel (*Laurus nobilis*) en la germinación de maíz (*Zea mays*), se realizó a partir de la medición de la longitud de las radículas de cada semilla por caja, calculando el promedio de cada uno de los tratamientos. Además, como anteriormente se mencionó, se analizaron tres parámetros fundamentales para la determinación de sus efectos en la germinación, el índice de germinación (IG), en la que un índice más alto indica una mayor velocidad de germinación, y un índice bajo demuestra una inhibición en la germinación de las semillas. En el porcentaje de germinación relativa de semillas (GRS), un valor cercano o igual al 100% demuestra la ausencia de efecto inhibitorio en el crecimiento de la radícula e incluso puede poseer una estimulación de la germinación. Finalmente, el parámetro del crecimiento relativo de la radícula (CRR), donde indica que un porcentaje

reducido en el tratamiento afecta negativamente el desarrollo radicular, y este se da por la presencia de compuestos alelopáticos que inhiben el crecimiento de las plántulas.

Estos indicadores permiten una interpretación cuantitativa del impacto de los tratamientos aplicados en las semillas de *Zea mays* en comparación con el grupo control. Cada uno de estos parámetros se calculó con las siguientes expresiones:

$$IG = \frac{GRS \times CRR}{100}$$

$$GRS = \frac{N° \text{ de semillas germinadas con extracto}}{N° \text{ de semillas germinadas en el control}} \times 100$$

$$CRR = \frac{\text{Longitud media de radícula con extracto}}{\text{Longitud media de radícula en el control}} \times 100$$

4.2. PRESENTACIÓN DE LOS DATOS

Dentro de los diez días de la duración del experimento se evaluaron y registraron la germinación diaria de cada uno de los tratamientos, tanto acuosos y etanólicos de *Azadirachta indica* y *Laurus nobilis,* además de las réplicas con el grupo control, se obtuvo como resultado que el grupo control tuvo mayor germinación que los grupos con el tratamiento, en la Tabla 2 se muestran los resultados promedio del crecimiento de la radícula con cada tratamiento y réplica.

Tabla 5.

Promedio del crecimiento radicular de cada uno de los extractos acuosos y etanólicos

DATOS				DÍAS						
				01 - 04	05	06	07	08	09	10
NEEM	ACUOSO	C1 25%	R1	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0,1 cm	0,2 cm	0,3 cm
			R2	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0,15 cm	0,2 cm	0,3 cm
			R3	0 cm	0 cm	0 cm	0,1 cm	0,2 cm	0,3 cm	0,5 cm
		C2 50%	R1	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0,1 cm	0,15 cm	0,2 cm
			R2	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0,1 cm	0,3 cm
			R3	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0,1 cm	0,2 cm
	ETANOL	C1 25%	R1	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm
			R2	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm
			R3	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm
		C2 50%	R1	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm
			R2	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm
			R3	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm
LAUREL	ACUOSO	C1 25%	R1	0 cm	0 cm	0 cm	0,1 cm	0,3 cm	0,4 cm	0,7 cm
			R2	0 cm	0 cm	0 cm	0,1 cm	0,2 cm	0,5 cm	0,8 cm
			R3	0 cm	0 cm	0,2 cm	0,5 cm	0,7 cm	0,9 cm	1 cm
		C2 50%	R1	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0,1 cm	0,3 cm
			R2	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0,1 cm	0,15 cm	0,2 cm
			R3	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0,1 cm	0,2 cm
	ETANOL	C1 25%	R1	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm
			R2	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm
			R3	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm
		C2 50%	R1	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm
			R2	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm
			R3	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm
dH2O		Control	R1	0 cm	0,3 cm	0,7 cm	1 cm	1,3 cm	1,8 cm	2 cm
			R2	0 cm	0,5 cm	0,9 cm	1,4 cm	1,9 cm	2,3 cm	2,5 cm
			R3	0 cm	0,7 cm	1,2 cm	1,7 cm	2,2 cm	2,5 cm	2,8 cm

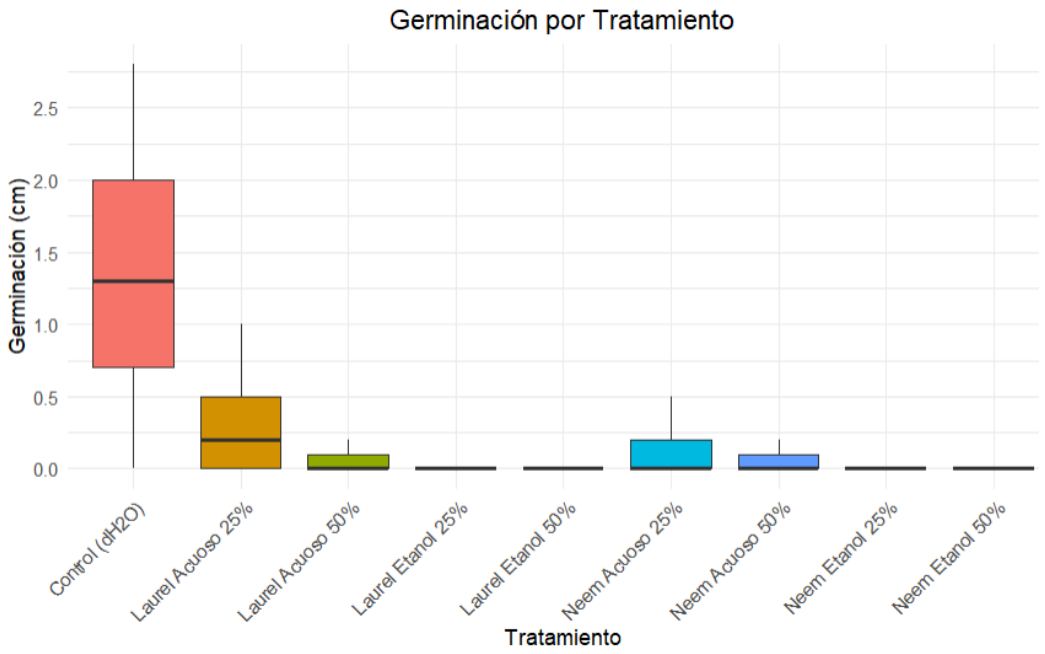
Nota: Se presentan los resultados del crecimiento en promedio de cada una de las cajas, en cada repetición (R1, R2, y R3) de cada extracto a lo largo de los diez días en los que se realizó la observación.

Fuente: *Elaboración propia*

Así mismo se grafica (Figura 8) el promedio del crecimiento de las semillas por cada uno de los tratamientos acuosos y etanólicos usados en sus diferentes concentraciones (25% y 50%), mostrando un mayor crecimiento en el grupo control durante los diez días, llegando hasta 2,8 cm. En cuanto a los grupos con tratamiento, se presentó un mayor crecimiento en el grupo acuoso de laurel al 25%, presentando un crecimiento a partir del día 6, alcanzando longitudes de hasta 1 cm al culminar el experimento; con el grupo acuoso de Neem al 25% se observó un crecimiento mínimo al día 7, llegando a medir hasta 0,5 cm; dentro del grupo acuoso tanto de laurel como Neem en una concentración del 50% se evidenció un crecimiento al octavo día, culminando con una pequeña elongación entre 0,2 y 0,3 cm al décimo día; sin embargo, en los tratamientos etanólicos de Neem y laurel en sus dos concentraciones de 25% y 50% no se obtuvo ningún resultado viable, dado que existió una inhibición completa del crecimiento radicular durante todo el experimento.

Figura 8.

Resultados del crecimiento de la radícula por cada uno de los extractos (acuosos y etanólicos) y por réplica



Fuente: *Elaboración propia*

Tras el análisis de los resultados individuales de cada uno de los tratamientos y las réplicas se prosiguió con los tres aspectos adicionales a investigar, los resultados evidencian variaciones significativas en cada uno de ellos.

Tabla 6.

Resultados de los parámetros principales de IG, GRS, CRR de cada tratamiento.

DATOS			IG (%)	GRS (%)	CRR (%)
NEEM	ACUOSO	C1 25%	13,17	88,88	14,81
		C2 50%	6,31	66,66	9,47
	ETANOL	C1 25%	0	0	0
		C2 50%	0	0	0
LAUREL	ACUOSO	C1 25%	34,16	100	34,16
		C2 50%	7,36	77,77	9,47
	ETANOL	C1 25%	0	0	0
		C2 50%	0	0	0
dH2O		Control	100	100	100

Fuente: *Elaboración propia*

En el parámetro índice de germinación (IG), para el extracto acuoso de *Azadirachta indica*, se observó el 13,17% de germinación a concentración del 25%, que disminuyó a 6,31% cuando la concentración se incrementó al 50%. Sin embargo, en el caso del tratamiento acuoso de *Laurus nobilis* en una concentración del 25% mostró un mejor desempeño con un IG de 34,16%, al aumentar la concentración el valor del IG se redujo al 7,36%. Estos datos indican que el extracto acuoso a una concentración del 25% de *Laurus nobilis* tiene una mayor velocidad en la germinación de semillas.

En el caso del análisis del porcentaje de germinación relativa de semillas (GRS) siguió una tendencia similar, siendo el extracto acuoso de *Laurus nobilis* al 25% con el mayor porcentaje, siendo el 100%, siguiendo con un porcentaje de 88,88% el extracto acuoso de *Azadirachta indica* al 25%. Estos porcentajes se redujeron al aumentar la concentración al 50%, indicando que el extracto de *Laurus nobilis* llegó al 77,77% y el extracto de

Azadirachta indica al 66,66%. Demostrando que en todos los casos existe la ausencia del efecto inhibitorio en el crecimiento de la radícula, pero se da un mayor porcentaje en los extractos más bajos, es decir en los extractos con una concentración del 25%.

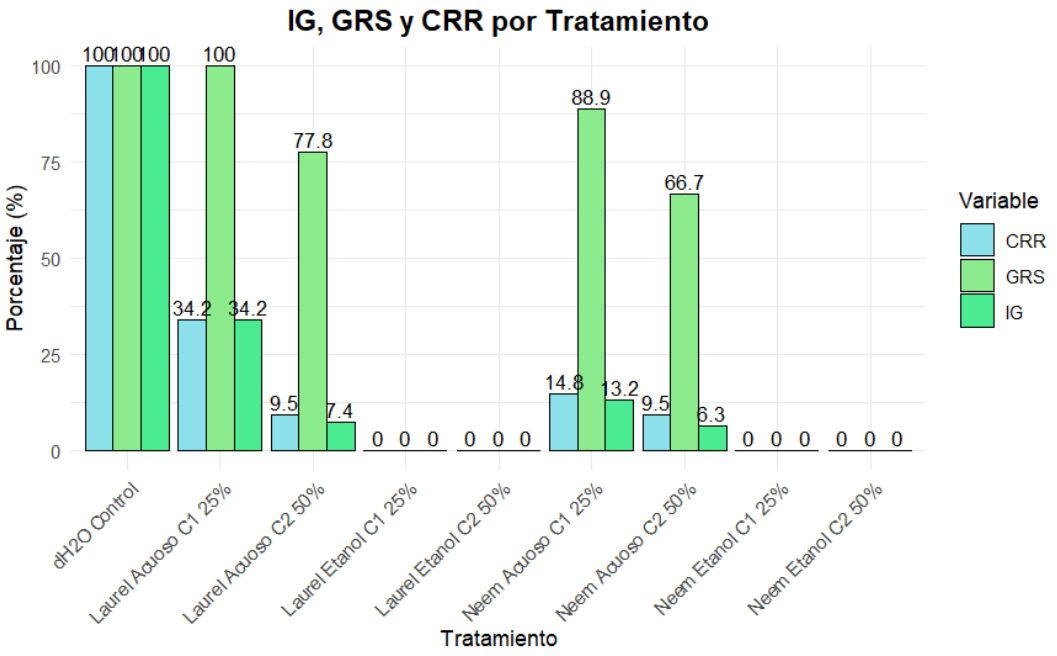
El parámetro que se basa en el crecimiento relativo de la radícula (CRR) obtuvo un mayor porcentaje para el extracto acuoso de *Laurus nobilis* al 25% con 34,16% que de igual manera disminuyó al incrementar la concentración llegando a 9,47%. Siguiendo con el mismo concepto el extracto de *Azadirachta indica* al 25% presentó un 14,81% y al incrementar la concentración descendió a 9,47%. Estos resultados indican que el extracto acuoso de *Laurus nobilis* al 25% es el que menos inhibe el crecimiento de las plántulas, resultando ser el más viable debido a sus compuestos alelopáticos.

No obstante, en los extractos etanólicos, tanto de *Azadirachta indica* como *Laurus nobilis*, en ambas concentraciones (25% y 50%), mostraron una inhibición total del crecimiento de la semillas durante todo el experimento, dando como resultado valores de 0% en todos los parámetros evaluados (IG, GRS y CRR). Estos resultados contrastan de manera significativa con el grupo de control (dH2O), que como datos bases mantienen valores del 100% en todos los parámetros, estableciendo así la referencia para el crecimiento normal.

En la Figura 9, se puede observar e identificar de mejor manera los resultados explicados anteriormente, donde se evidencia los diferentes porcentajes de cada parámetro analizado según el tratamiento.

Figura 9.

Gráfica de los resultados de los parámetros de IG, GRS, CRR por cada tratamiento.



Fuente: *Elaboración propia*

4.3. DISCUSIÓN

La presente investigación revela una diferenciación clara de los efectos alelopáticos de los extractos acuosos y etanólicos de *Azadirachta indica* y *Laurus nobilis* sobre el proceso de la germinación y desarrollo radicular de *Zea mays*, así como una notable influencia de las concentraciones empleadas de cada extracto.

Los extractos acuosos mostraron efectos inhibitorios variables, pero siendo los extractos acuosos en una concentración al 25% los que demuestran mejores resultados, sin embargo, el extracto de *Laurus nobilis* al 25% fue el que mostró el mejor desempeño en todos los parámetros evaluados (IG: 34,16%, GRS: 100%, CRR: 34,16%). Este

comportamiento fue observado diariamente durante el experimento en el desarrollo radicular, alcanzando una longitud de 1 cm al finalizar el experimento, e iniciando su crecimiento desde el día 6. Estos valores aunque son mayores a los demás extractos, son inferiores al control, que alcanzó 2,8 cm de longitud, sugiriendo que a pesar que contiene compuestos alelopáticos que ayudan con el manejo de plagas existe un efecto inhibitorio que permite un desarrollo moderado de las plántulas.

Un dato que resulta importante en el estudio es la relación inversamente proporcional entre la concentración de los extractos y los parámetros de crecimiento. Al incrementar la concentración al 50%, todos los parámetros e indicadores mostraron una disminución significativa del crecimiento. Esta disposición se observó de manera clara en el desarrollo radicular de las semillas, donde los extractos acuosos al 50% de cualquiera de las especies mostraron un retraso en el inicio de la germinación hasta el octavo día y una elongación radicular final muy reducida, que estuvo entre 0,2 - 0,3 cm.

El resultado más significativo que tuvo una constante durante toda la experimentación, se observó en los extractos etanólicos de ambas especies, donde se registró una inhibición total de la germinación en ambas concentraciones (25% y 50%), con valores de 0% en los parámetros que se determinaron para la evaluación del estudio (IG, GRS y CRR). Esta completa inhibición propone que el etanol como solvente a un alto porcentaje de concentración (96%) puede tener una mayor eficiencia en la extracción de compuestos con mayor potencial inhibitorio.

Estos hallazgos muestran una participación significativa dentro de la comprensión de las interacciones alelopáticas y su potencial aplicación como pesticida natural en el manejo de cultivos. La afinidad que tiene el nivel de inhibición de acuerdo a el tipo de extracto y su

concentración provee la información necesaria para el mejoramiento del desarrollo de las estrategias para el control biológico, resultando ser más efectivas y ambientalmente sostenibles.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Los extractos acuosos y etanólicos de *Azadirachta indica* y *Laurus nobilis* demostraron variaciones de los efectos alelopáticos sobre la germinación y desarrollo radicular de *Zea mays*. Se evidenció una clara afinidad en dependencia entre la concentración de los extractos y su efecto inhibitorio, donde el incremento de la concentración al 50% de ambas especies resultaron en la disminución significativa del crecimiento germinal y todos los parámetros evaluados.

El uso del etanol como su solvente a una concentración del 96% en los extractos etanólicos de ambas especies demostraron una inhibición total del crecimiento en todas las concentraciones evaluadas. Este hallazgo determina que el uso del etanol en una maceración por dos días extraen los compuestos más solubles y de rápida liberación, como aceites esenciales y algunos flavonoides, obteniendo una menor concentración de metabolitos secundarios, disminuyendo su efecto alelopático en las semillas.

Por último, esta investigación contribuye a una mejor comprensión dentro del conocimiento de las propiedades alelopáticas de *Azadirachta indica* y *Laurus nobilis*, proporcionando información importante basadas en los métodos de extracción y el porcentaje de concentración, para el desarrollo de alternativas naturales en el manejo de cultivos. Los resultados obtenidos establecen las bases para futuras investigaciones enfocadas en la identificación y caracterización de los compuestos específicos y las concentraciones adecuadas responsables de estos efectos alelopáticos.

5.2. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios adicionales con diferentes concentraciones intermedias entre las evaluadas para determinar con mayor precisión los umbrales de inhibición/estimulación.
- Extender el período de observación post-germinación para evaluar los efectos en el desarrollo temprano de las plántulas.
- Implementar un protocolo de desinfección superficial de las hojas de Neem y Laurel antes de la preparación de extractos.
- Utilizar material de protección personal (bata, gafas de seguridad, guantes estériles, mascarilla) durante la experimentación para evitar contaminación cruzada.
- Esterilizar todos los materiales de vidrio (vasos de precipitado, matraces, embudos) en autoclave antes de su uso.
- Filtrar los extractos utilizando filtros pirinola estériles de 0,22 μm para eliminar microorganismos.
- Almacenar los extractos en recipientes esterilizados y sellados herméticamente para evitar la contaminación de los extractos.
- Mantener las placas Petri selladas con Parafilm durante el experimento.
- Desinfectar las superficies de trabajo con alcohol al 70% antes y después de cada sesión experimental.
- Utilizar cabina de flujo laminar para la preparación de extractos y montaje de bioensayos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alzohairy, M. A. (2016). Therapeutics Role of Azadirachta indica (Neem) and Their Active Constituents in Diseases Prevention and Treatment. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, *2016*(1), 7382506. https://doi.org/10.1155/2016/7382506

Amb, M. K., & Ahluwalia, A. S. (2016). Allelopathy: Potential Role to Achieve New Milestones in Rice Cultivation. *Rice Science*, *23*(4), 165-183. https://doi.org/10.1016/j.rsci.2016.06.001

Anzano, A., de Falco, B., Grauso, L., Motti, R., & Lanzotti, V. (2022). Laurel, Laurus nobilis L.: A review of its botany, traditional uses, phytochemistry and pharmacology. *Phytochemistry Reviews*, *21*(2), 565-615. https://doi.org/10.1007/s11101-021-09791-z

Awada, F., Hamade, K., Kassir, M., Hammoud, Z., Mesnard, F., Rammal, H., & Fliniaux, O. (2023). Laurus nobilis Leaves and Fruits: A Review of Metabolite Composition and Interest in Human Health. *Applied Sciences*, *13*(7), 4606. https://doi.org/10.3390/app13074606

Baby, A. R., Freire, T. B., Marques, G. D. A., Rijo, P., Lima, F. V., Carvalho, J. C. M. D., Rojas, J., Magalhães, W. V., Velasco, M. V. R., & Morocho-Jácome, A. L. (2022). Azadirachta indica (Neem) as a Potential Natural Active for Dermocosmetic and Topical Products: A Narrative Review. *Cosmetics*, *9*(3), 58. https://doi.org/10.3390/cosmetics9030058

Bais, H. P., Weir, T. L., Perry, L. G., Gilroy, S., & Vivanco, J. M. (2006). The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. *Annual Review of Plant Biology*, *57*, 233-266. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.57.032905.105159

Blanco, Y. (2006). *Revisión bibliografica LA UTILIZACIÓN DE LA ALELOPATÍA Y SUS EFECTOS*. *27*(3), 5-16.

Bruce Williamson, G., & Richardson, D. (1988). Bioassays for allelopathy: Measuring treatment responses with independent controls. *Journal of Chemical Ecology*, *14*(1), 181-187. https://doi.org/10.1007/BF01022540

Castrillo Miranda, A. (2022). *Efectos alelopáticos de Azadirachta indica A.juss. "Neem" en la germinación de dos especies vegetales de bosque seco tropical.* https://repositorio.unimagdalena.edu.co/handle/123456789/12203

Cheng, F., & Cheng, Z. (2015). Research Progress on the use of Plant Allelopathy in Agriculture and the Physiological and Ecological Mechanisms of Allelopathy. *Frontiers in Plant Science*, *6*, 1020. https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01020

Cheng, K., Zhao, K., Zhang, R., & Guo, J. (2024). Progress on control of harmful algae by sustained-release technology of allelochemical: A review. *Science of The Total Environment*, *918*, 170364. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170364

Dash, S. P., Dixit, S., & Sahoo, S. (2017). *Phytochemical and Biochemical Characterizations from Leaf Extracts from Azadirachta Indica: An Important Medicinal Plant*. https://doi.org/10.4172/2161-1009.1000323

EOS Data Analytics. (2024). *Cultivo Del Maíz: Cómo Plantarlo, Cuidarlo y Cosecharlo*. https://eos.com/es/blog/cultivo-del-maiz/

FAO. (2022). *Alimentación y agricultura sostenibles | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. http://www.fao.org/sustainability/es/

Flores-Villa, E., Sáenz-Galindo, A., Castañeda-Facio, A. O., Narro-Céspedes, R. I., Flores-Villa, E., Sáenz-Galindo, A., Castañeda-Facio, A. O., & Narro-Céspedes, R. I. (2020). Romero (Rosmarinus officinalis L.): Su origen, importancia y generalidades de sus metabolitos secundarios. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, *23*. https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.266

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw Hill España. https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=775008

Hossain, M. A., Al-Toubi, W. A. S., Weli, A. M., Al-Riyami, Q. A., & Al-Sabahi, J. N. (2013). Identification and characterization of chemical compounds in different crude extracts from leaves of Omani neem. *Journal of Taibah University for Science*, *7*, 181-188. https://doi.org/10.1016/j.jtusci.2013.05.003

Inderjit, nulo, & Keating, K. A. N. C. 1999 A. 1-1999. (1999). Alelopatía: Principios, procedimientos, procesos y promesas para el control biológico. *Avances en Agronomía*, *67*, 141-231.

Intergovernmental Panel On Climate Change (Ipcc). (2023). *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (1.ª ed.). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781009325844

Islas, J. F., Acosta, E., G-Buentello, Z., Delgado-Gallegos, J. L., Moreno-Treviño, M. G., Escalante, B., & Moreno-Cuevas, J. E. (2020). An overview of Neem (<i>Azadirachta indica) and its potential impact on health. *Journal of Functional Foods*, *74*, 104171. https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.104171

Jimenez, A. T., Marrugo, A. A., Pereae, A. G., Gomez, F. C., & Romero, O. C. (2022). Evaluación del efecto alelopático del extracto etanólico de hojas y tallo de Laurus nobilis (laurel) en los cultivos de Zea mays (maíz) y Phaseolus vulgaris (frijol). *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, *18*(2), Article 2. https://doi.org/10.18359/rfcb.7212

Kamdem, B. P., Kamto, E. L. D., Soh, D., Pegnyemb, D. E., Zingue, S., Paumo, H. K., Katata-Seru, L. M., Abou, A., Rosinah, M. M., Mbah, J. A., & Boyom, F. F. (2023). Pharmacological Activity and Mechanisms of Action of Terpenoids from Laurus nobilis L. *http://www.eurekaselect.com*, *13*(7). https://www.eurekaselect.com/article/128158

Kerchner, A. C., Madruga, F. B., Rodrigues, H. C. S., Silva, A. F. da, Pohl, S., Harter, L. dos S. H., Munari, J., Tunes, L. V. M. de, & Almeida, A. da S. (2024). CORN CULTURE: FROM THE FIRST RECORDS TO HARVESTING AND STORAGE. *Colloquium Agrariae. ISSN: 1809-8215*, *20*(1), Article 1.

Khaeim, H., Kende, Z., Jolánkai, M., Kovács, G. P., Gyuricza, C., & Tarnawa, Á. (2022). Impact of Temperature and Water on Seed Germination and Seedling Growth of Maize (Zea mays L.). *Agronomy*, *12*(2), Article 2. https://doi.org/10.3390/agronomy12020397

Khaled Khodja, Y., BachiR-Bey, M., Belmouhoub, M., Ladjouzi, R., Dahmoune, F., & Khettal, B. (2023). The botanical study, phytochemical composition, and biological

activities of Laurus nobilis L. leaves: A review. *International Journal of Secondary Metabolite*, *10*(2), 269-296. https://doi.org/10.21448/ijsm.1171836

Martínez-Ortiz, M. A., Salinas-Moreno, Y., Ramírez-Díaz, J. L., Ledesma-Miramontes, A., & Alemán de la Torre, I. (2024). Challenges and Opportunities in the Specialization of Maize Cultivation. *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias*. https://doi.org/10.32854/agrop.v17i9.3037

Mishra, Dr. A. (2014). *Indian Journal of Applied Research*, *4*(5), 53-54. https://doi.org/10.15373/2249555X/MAY2014/16

Mohamed Salman, M., A, G., E, S., J, P., & P, A. (2024). Allelopathic Potential of Medicinal Plants Serves as a Valuable Source for Sustainable Weed Management. *International Journal of Environment and Climate Change*, *14*(10), 633-648. https://doi.org/10.9734/ijecc/2024/v14i104513

Mordue, A. J., & Nisbet, A. J. (2000). Azadirachtin from the neem tree Azadirachta indica: Its action against insects. *Anais Da Sociedade Entomológica Do Brasil*, *29*, 615-632. https://doi.org/10.1590/S0301-80592000000400001

Nagah, N., Mostafa, I., Dora, G., El-Sayed, Z., & Ateya, A.-M. (2021). Essential Oil Composition, Cytotoxicity against Hepatocellular Carcinoma, and Macro and Micro-Morphological Fingerprint of Laurus nobilis Cultivated in Egypt. *Egyptian Journal of Botany*, *0*(0), 0-0. https://doi.org/10.21608/ejbo.2021.56342.1603

Nascimento, L., Farias, M. H. B., Leite, M. E., & Oliveira, J. F. de. (2024). EFEITO ALELOPÁTICO DO NIM (AZADIRACHTA INDICA A. JUSS.) EM PLANTAS NATIVAS DA CAATINGA. *Caderno Prudentino de Geografia*, *2*(46), Article 46.

Quispe Trujillo, W. A. (2023). *"CARACTERIZACIÓN DE ACCESIONES DE MAÍCES ORIGINARIAS DE LA REGIÓN LIMA CONSERVADOS EN EL BANCO DE GERMOPLASMA DE MAÍZ (Zea mays L.)"*. UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA.

Reigosa Roger, M., Pedrol, N., & González, L. (2006). *Allelopathy: A Physiological Process With Ecological Implications*. Springer. https://www.researchgate.net/publication/259591449_Allelopathy_A_Physiological_Process_With_Ecological_Implications

Rice, E. (1984). *Allelopathy*. *2da ed.*

Sánchez, Y. D. M., & Marroquín, B. S. T. (2020). *Determinacion de la mortalidad, la DL50 y el TL50 de extractos acuosos de hojas y semillas de Azadirachta indica A. Juss, sobre Plutella xylostella L., bajo condiciones de laboratorio.* http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/2240/1/Mondrag%c3%b3n_Triana_2020_TG.pdf

Santos Rivera, S. (2023). *EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE DOS VARIEDADES DE MAÍZ (Zea mays L.) CON DIFERENTES DOSIS DE FERTILIZANTE EN EL CASERÍO VISTA ALEGRE*.

Scavo, A., Abbate, C., & Mauromicale, G. (2019). Plant allelochemicals: Agronomic, nutritional and ecological relevance in the soil system. *Plant and Soil*, *442*(1), 23-48. https://doi.org/10.1007/s11104-019-04190-y

Shan, Z., Zhou, S., Shah, A., Arafat, Y., Arif Hussain Rizvi, S., & Shao, H. (2023). Plant Allelopathy in Response to Biotic and Abiotic Factors. *Agronomy*, *13*(9), Article 9. https://doi.org/10.3390/agronomy13092358

Silva, V. C. L. da, Silva, F. M. de F., Chagas, M. M. M. das, Lucena, R. C. de, Silva, T. M. S. da, Meunier, I. M. J., Lorenzato, F. R. B., Lima, E. R. de, & Júnior, V. A. da S. (2024). Influência da administração oral do extrato etanólico das folhas de Nim (Azadirachta indica A. juss) em ratas Wistar durante o terço final da gestação. *Caderno Pedagógico*, *21*(9), e7622-e7622. https://doi.org/10.54033/cadpedv21n9-066

Sobchenko, L., & Fedosova, O. (2024). Negative effect of pesticides on the biosphere as a threat to environmental safety. *Visegrad Journal on Human Rights*, *3*, Article 3. https://doi.org/10.61345/1339-7915.2024.3.6

Taiz, L., & Zeiger, E. (2010). *Plant physiology* (5th Edition, Vol. 91). Sinauer Associates Inc., Sunderland. https://doi.org/10.1093/aob/mcg079

Walker, T. S., Bais, H. P., Grotewold, E., & Vivanco, J. M. (2003). Root exudation and rhizosphere biology. *Plant Physiology*, *132*(1), 44-51. https://doi.org/10.1104/pp.102.019661

Wang, X., Wang, S., Zhu, J., Li, L., Ma, J., Zuo, L., Sun, X., Chen, B., & Yang, Z. (2024). Inhibition of co-occurring weeds and young sugarcane seedling growth by perennial sugarcane root extract. *Scientific Reports*, *14*(1), 7679. https://doi.org/10.1038/s41598-024-58082-y

Weston, L. A., Ryan, P. R., & Watt, M. (2012). Mechanisms for cellular transport and release of allelochemicals from plant roots into the rhizosphere. *Journal of Experimental Botany*, *63*(9), 3445-3454. https://doi.org/10.1093/jxb/ers054

Willis, R. J. (2008). *The History of Allelopathy*. Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4093-1

Xu, Y., Chen, X., Ding, L., & Kong, C.-H. (2023). Allelopathy and Allelochemicals in Grasslands and Forests. *Forests*, *14*(3), 562. https://doi.org/10.3390/f14030562

Zandi, P., Darma, A., Li, Q., Zhou, X., Yaosheng, W., & Schnug, E. (2023). A review of significance of allelopathy in anticipating negative climate change effects. *Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis Studia Naturae*. https://doi.org/10.24917/25438832.8.12

ANEXOS

Figura 10.

Resultado del crecimiento de las semillas del extracto acuoso de Laurus nobilis en una concentración del 25%.

Fuente: *Elaboración propia*

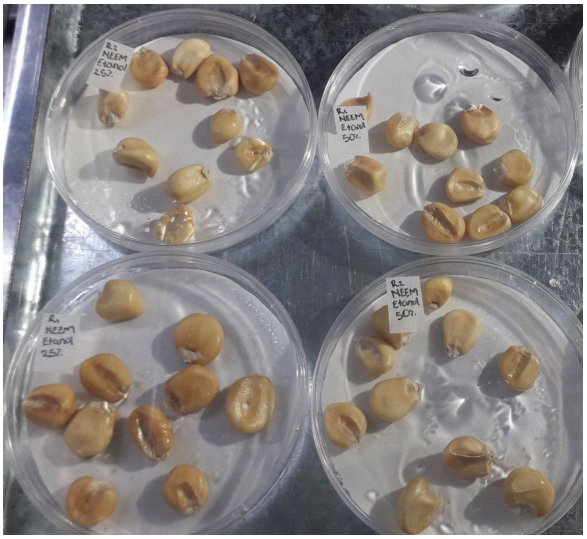
Figura 11.

Resultado del crecimiento de las semillas del extracto acuoso de Azadirachta indica en una concentración del 25%.

Fuente: *Elaboración propia*

Figura 12.

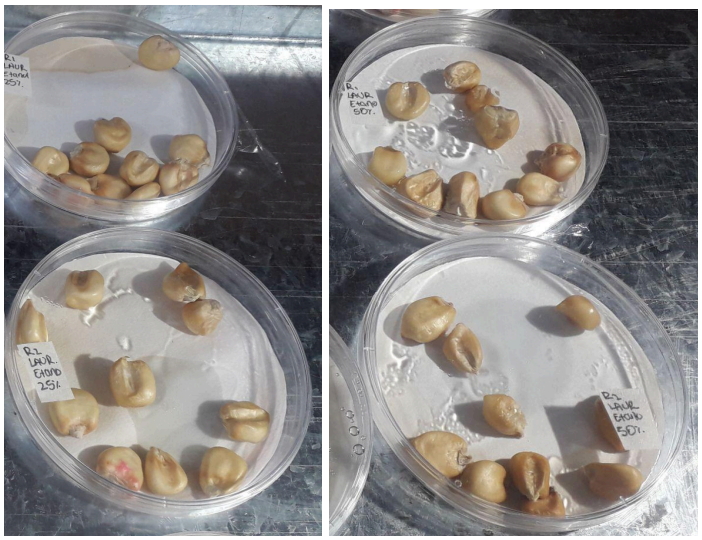
Resultado del crecimiento de las semillas del extracto etanólico de Azadirachta indica en las concentración del 25% y 50%.



Fuente: *Elaboración propia*

Figura 13.

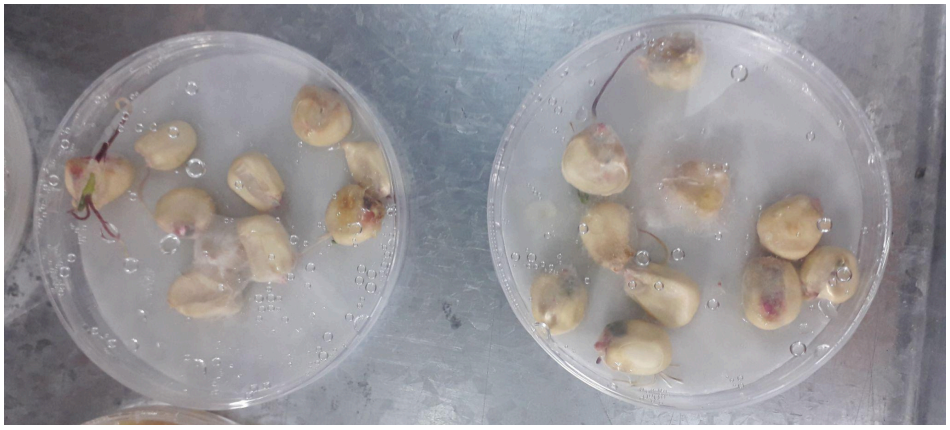
Resultado del crecimiento de las semillas del extracto etanólico de Laurus nobilis en las concentración del 25% y 50%.



Fuente: *Elaboración propia*

Figura 14.

Resultado del crecimiento de las semillas con muestra control.



Fuente: *Elaboración propia*