

Artículo Científico

Potencial antifúngico de extractos vegetales contra *Puccinia sorghi* en el cultivo de *Zea mays*

Antifungal potential of plant extracts against Puccinia sorghi in Zea mays crops



Troncozo-Correa, Juan Bautista ¹



<https://orcid.org/0009-0000-3217-007X>



juan.troncozo2017@uteq.ed.ec



Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo



Rodríguez-Intriago, Carlos Kevin ²



<https://orcid.org/0009-0008-6266-3535>



carlos.rodriguez2016@uteq.edu.ec



Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo



Arteaga-Terán, Aramy Geoconda ³



<https://orcid.org/0009-0005-0695-3747>



aramyarteagat@gmail.com



Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo



Pillasagua-León, Ivonne Rocío ⁴



<https://orcid.org/0009-0002-0173-8966>



ivonnepillasagua@gmail.com



Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo



Arechua-Pino, Katherine Fabiola ⁵



<https://orcid.org/0009-0000-7429-1267>



kathy_arechua@hotmail.com



Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Ecuador, Guayaquil

Autor de correspondencia ¹



DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v4/n2/177>

Resumen: El cultivo de *Zea mays* presentó alta relevancia por su valor nutricional, aunque su producción se vio limitada por enfermedades como el tizón causado por *Puccinia sorghi*. La investigación tuvo como objetivo evaluar la eficacia de fungicidas orgánicos para el control de *Puccinia sorghi* en *Zea mays*. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones, T1: Extracto de neem; T2: Extracto de eucalipto; T3: Extracto de ajo; T4: Control químico; y T5: Control sin producto. Los resultados mostraron que el extracto de neem promovió el mayor incremento en altura a los 40 días con 105.01 cm, mientras que a los 55 días el control sin aplicación fue mayor con 217.91 cm. El extracto de ajo registró el mayor diámetro de tallo a los 40 días con 9.86 mm, sin diferencias significativas posteriores. El menor número de hojas enfermas a los 40 días se observó con neem (7.88 hojas). El control químico presentó la menor incidencia a los 55 días con 43.19 %, seguido del ajo, que además mostró la menor severidad. Los fungicidas orgánicos mostraron efectos diferenciados, destacando el neem en crecimiento inicial y el ajo en la reducción de la enfermedad.

Palabras clave: roya, fitopatógeno, incidencia, severidad, maíz.



Check for updates

Received: 22/Feb/2026

Accepted: 20/Mar/2026

Published: 08/Abr/2026

Cita: Troncozo-Correa, J. B., Rodríguez-Intriago, C. K., Arteaga-Terán, A. G., Pillasagua-León, I. R., & Arechua-Pino, K. F. (2026). Potencial antifúngico de extractos vegetales contra *Puccinia sorghi* en el cultivo de *Zea mays*. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 4(2), 17-31. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v4/n2/177>

Revista Científica Ciencia y Método (RCyM)
<https://revistacym.com>
revistacym@editorialgrupo-aea.com
info@editorialgrupo-aea.com

© 2026. Este artículo es un documento de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la [Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).



Abstract:

The cultivation of *Zea mays* was of great importance due to its nutritional value, although its production was limited by diseases such as leaf rust caused by *Puccinia sorghi*. The aim of the research was to evaluate the efficacy of organic fungicides for the control of *Puccinia sorghi* in *Zea mays*. A completely randomised block design was used with five treatments and four replicates: T1: Neem extract; T2: Eucalyptus extract; T3: Garlic extract; T4: Chemical control; and T5: Control without product. The results showed that the neem extract promoted the greatest increase in height at 40 days, with 105.01 cm, whilst at 55 days the control without application was greater, at 217.91 cm. The garlic extract recorded the greatest stem diameter at 40 days, with 9.86 mm, with no significant differences thereafter. The lowest number of diseased leaves at 40 days was observed with neem (7.88 leaves). The chemical control showed the lowest incidence at 55 days at 43.19%, followed by garlic, which also showed the lowest severity. The organic fungicides showed varying effects, with neem standing out in initial growth and garlic in disease reduction.

Keywords: rust, plant pathogen, incidence, severity, maize.

1. Introducción

El cultivo de *Zea mays* se erige como uno de los pilares fundamentales de la seguridad alimentaria global, extendiendo su presencia desde los sistemas tradicionales de México hasta los complejos esquemas agroindustriales de Estados Unidos, Brasil y Argentina (Carranza-Patiño et al., 2023). Su plasticidad fisiológica permite su adaptación a diversos ambientes, desde trópicos húmedos hasta regiones templadas, sosteniendo cadenas productivas de alimento, forraje y bioenergía (Imade & Babalola, 2021). Sin embargo, esta amplitud ecológica también lo expone a múltiples factores bióticos y abióticos que limitan su rendimiento. En este contexto, el maíz se configura como un sistema altamente dinámico donde convergen presiones ambientales y biológicas (Murialdo et al., 2022).

Entre las principales limitantes del cultivo, las enfermedades foliares representan uno de los problemas más críticos para la estabilidad productiva (Quade et al., 2022). La interacción entre humedad relativa elevada, temperaturas moderadas y altas densidades de siembra genera un microclima favorable para el desarrollo de patógenos (Quade et al., 2021). Estas condiciones, frecuentes en regiones tropicales y subtropicales, favorecen la rápida diseminación de enfermedades que reducen la eficiencia fotosintética y aceleran la senescencia de las hojas. Como consecuencia, la planta experimenta un debilitamiento progresivo que afecta directamente su capacidad productiva (Kim et al., 2021).

Dentro de este complejo fitopatológico, la roya común del maíz, causada por *Puccinia sorghi*, se posiciona como una de las enfermedades de mayor relevancia. Este hongo biotrófico invade los tejidos foliares formando pústulas urediniales de color marrón a rojizo, que actúan como estructuras de dispersión de esporas (Wenqiang et al., 2022). Su ciclo de vida depende estrechamente de condiciones ambientales favorables, permitiendo múltiples ciclos de infección durante el desarrollo del cultivo (Randle et al., 2022a). Como resultado, se produce una reducción significativa de la capacidad fotosintética, lo que impacta negativamente en la acumulación de biomasa y el llenado de grano (Khalil & Salama, 2025).

El desarrollo de la enfermedad responde a una interacción compleja entre el patógeno y la fisiología del hospedante. La colonización intercelular altera los procesos metabólicos de la planta, redirigiendo recursos hacia mecanismos de defensa en detrimento del crecimiento (Blum et al., 2026). Asimismo, la presencia de pústulas incrementa la pérdida de agua por transpiración y compromete la integridad estructural del tejido foliar (Kim & Brewbaker, 2022). En sistemas productivos intensivos, estas alteraciones generan pérdidas económicas significativas, especialmente en zonas donde las estrategias de manejo fitosanitario son limitadas o poco eficientes (Randle et al., 2022b).

Frente a esta problemática, los fungicidas orgánicos emergen como una alternativa sostenible para el manejo de enfermedades. Estos productos se basan en el uso de extractos botánicos, microorganismos benéficos y compuestos naturales con actividad antifúngica (Qin et al., 2022). Ingredientes activos derivados de especies como *Azadirachta indica*, *Allium sativum* y bacterias como *Bacillus subtilis* actúan mediante la inhibición del crecimiento micelial, la interrupción de la germinación de esporas y la inducción de resistencia sistémica en la planta (Blum et al., 2026). Su aplicación se expande en países como Alemania y Canadá, donde se promueven prácticas agrícolas sostenibles y la reducción del uso de agroquímicos sintéticos.

En este contexto, la integración de fungicidas orgánicos dentro de programas de manejo integrado de enfermedades representa una estrategia clave para mejorar la sostenibilidad del cultivo de *Zea mays*. Estas alternativas permiten reducir el impacto ambiental, mejorar la salud del agroecosistema y mantener niveles productivos competitivos. Además, su uso responde a la creciente demanda de sistemas agrícolas más seguros y resilientes. En este marco, la investigación tuvo como objetivo evaluar la eficacia de fungicidas orgánicos para el control de *Puccinia sorghi* en *Zea mays*.

2. Materiales y métodos

La investigación se llevó a cabo en el Campus Experimental “La María” de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, ubicado en el km 7.5 de la vía Quevedo–El Empalme, cantón Mocache, provincia de Los Ríos, Ecuador. El sitio se localizó a 01°05'02" de latitud sur y 79°29'54" de longitud oeste, a una altitud de 66 m s. n. m.

Las condiciones agroclimáticas correspondieron a una temperatura promedio de 24.9 °C, precipitación anual de 2295.1 mm, heliofanía de 87.2 horas y humedad relativa de 84 %, según registros de la estación meteorológica Pichilingue (INAMHI, serie 1990–2021).

El estudio fue de tipo experimental y exploratorio, orientado a evaluar la eficacia de fungicidas orgánicos en el control de la roya causada por *Puccinia sorghi* en *Zea mays*. Se utilizó un Diseño de Bloques Completos al Azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Cada unidad experimental estuvo conformada por 80 plantas, con un total de 1600 plantas en todo el ensayo. Se evaluaron cinco tratamientos: T1: Extracto de neem; T2: Extracto de eucalipto; T3: Extracto de ajo; T4: Control químico (epoxiconazol + piraclostrobina); y T5: Control sin producto. Los tratamientos se aplicaron bajo condiciones homogéneas para comparar su eficacia en el manejo de la enfermedad.

Las parcelas experimentales estuvieron conformadas por cuatro hileras con una distancia de 0.80 m entre hileras y 0.20 m entre plantas. Cada hilera contó con 20 plantas, con un total de 80 plantas por parcela y 32 plantas útiles. El área total del ensayo fue de 380 m², con un área neta de parcela de 12.80 m². La preparación del suelo se realizó mediante dos pases de rastra. La siembra se efectuó manualmente utilizando un espeque, colocando dos semillas por sitio a una profundidad de 2 cm, empleando el híbrido Advanta 9139. El control de malezas se llevó a cabo mediante la aplicación de nicosulfuron a razón de 40 g ha⁻¹. La fertilización se realizó con un fertilizante granulado con proporciones de N: 12.72%, P: 13.50% y K: 10.35%, aplicado a los 12 y 35 días después de la siembra.

Los extractos vegetales se prepararon a partir de 200 g de material fresco, el cual fue lavado, hervido en un litro de agua durante 15 minutos y dejado en reposo por 24 horas. Posteriormente, se maceró y filtró para obtener un extracto concentrado, el cual fue diluido antes de su aplicación. Las dosis aplicadas fueron de 1.5 L ha⁻¹ para neem, 1 L ha⁻¹ para eucalipto, 0.4 L ha⁻¹ para ajo y 0.5 L ha⁻¹ para el tratamiento químico. Las aplicaciones se realizaron a los 25, 40 y 55 días después de la siembra utilizando una bomba de mochila de 20 L.

Se evaluaron variables de crecimiento y sanidad en 40 plantas por tratamiento. La altura de planta se midió desde la base hasta el ápice, el diámetro del tallo a 5 cm de la base y el número de hojas mediante conteo directo. La incidencia de la enfermedad se determinó como el porcentaje de plantas afectadas respecto al total evaluado, mientras que la severidad se estimó visualmente mediante una escala diagramática, considerando el porcentaje de área foliar afectada de acuerdo con Hernández & Sandoval (2015).

Los datos obtenidos fueron sometidos a pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas. Posteriormente, se realizó un análisis de varianza y comparación de medias mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia de 0.05. El

procesamiento estadístico se efectuó utilizando el software InfoStat (2021). Las figuras fueron elaboradas en el programa Sigma Plot.

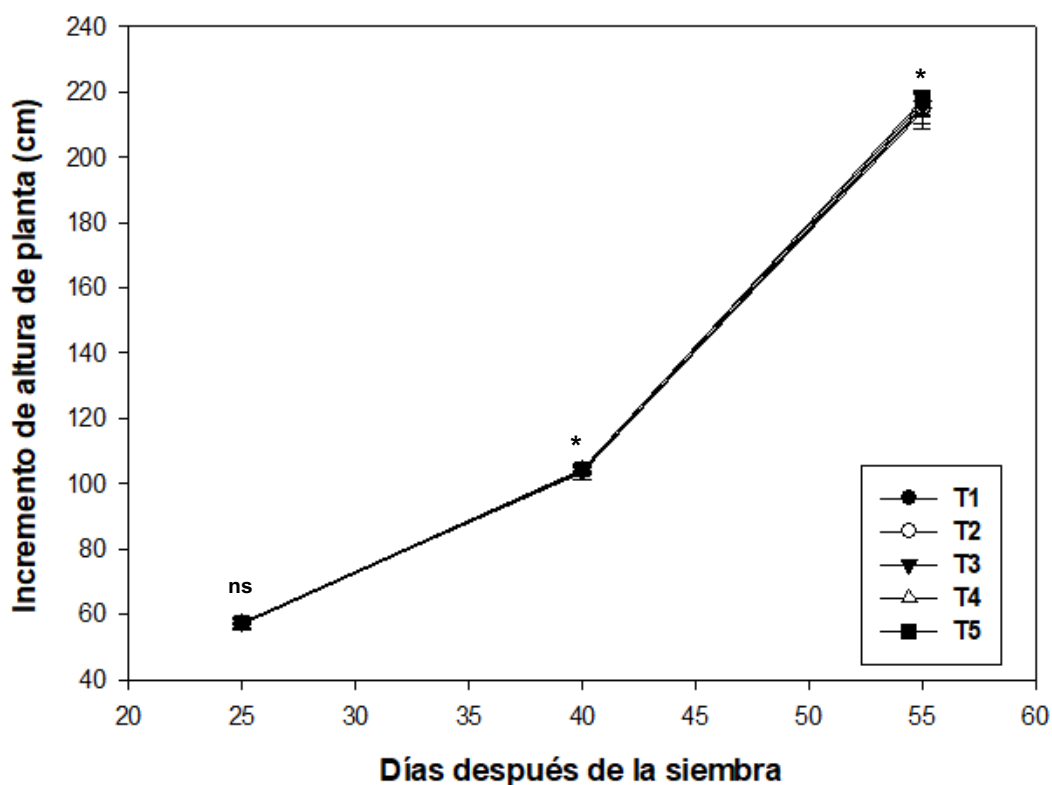
3. Resultados

3.1. Incremento de altura de plantas

En la variable altura de planta (cm), a los 25 días después de la siembra no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p > 0.05$). A los 40 días el tratamiento T1 (extracto de neem) alcanzó el mayor valor con 105.01 cm, mostrando diferencia significativa frente al tratamiento T2 (extracto de eucalipto), que registró el menor valor con 102.04 cm. Por su parte, los tratamientos T3 (extracto de ajo, 103.23 cm), T4 (control químico, 104.3 cm) y T5 (control sin producto, 104.56 cm) no evidenciaron diferencias estadísticas entre ellos. A los 55 días, el tratamiento T5 (control sin producto) presentó la mayor altura con 217.91 cm, diferenciándose significativamente del tratamiento T1 (extracto de neem), que alcanzó 210.46 cm. En contraste, los tratamientos T2 (212.34 cm), T3 (214.46 cm) y T4 (215.3 cm) no mostraron diferencias significativas entre sí (Figura 1).

Figura 1

Incremento de altura de plantas de maíz después de la aplicación de los fungicidas orgánicos



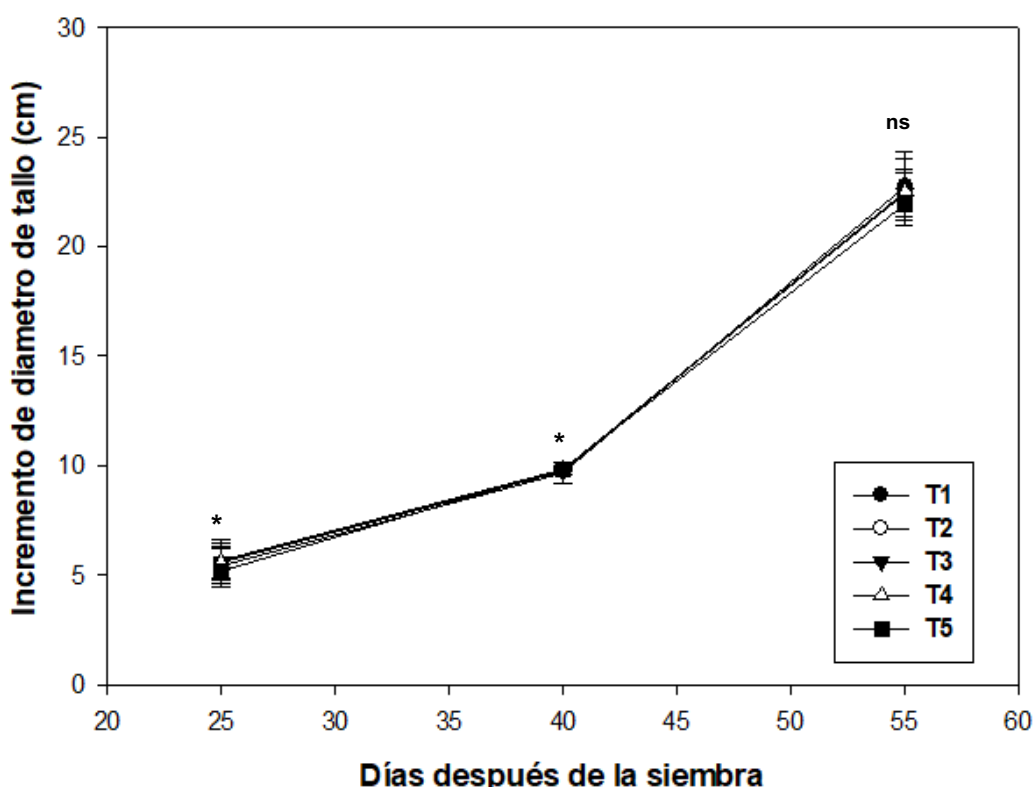
Nota: Tratamientos T1 (Extracto de neem); T2 (Extracto de eucalipto); T3 (Extracto de ajo); T4 (Control químico); T5 (Control sin producto - control negativo). * Significativo ($p < 0.05$), ns diferencias no significativas ($p > 0.05$) (Autores, 2026).

3.2. Incremento de diámetro de tallo

En la variable diámetro del tallo (mm), a los 25 días después de la siembra se evidenciaron diferencias entre tratamientos. El mayor valor correspondió al tratamiento T4 (control químico) con 5,91 mm, seguido de T3 (extracto de ajo, 5,78 mm) y T2 (extracto de eucalipto, 5,27 mm). En contraste, los valores más bajos se registraron en T5 (control sin producto, 5,16 mm) y T1 (extracto de neem, 4,94 mm), siendo este último significativamente inferior, lo que indica una menor respuesta inicial del neem en el crecimiento del tallo. A los 40 días se evidenciaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Los mayores valores se registraron en T3 (extracto de ajo, 9.86 mm), T4 (control químico, 9.79 mm) y T5 (control sin producto, 9.81 mm). En contraste, el tratamiento T2 (extracto de eucalipto, 9.65 mm) mostró un menor desempeño, mientras que T1 (extracto de neem, 9.27 mm) presentó el valor más bajo. A los 55 días, no se observaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (T1: 23.98 mm; T2: 22.54 mm; T3: 22.32 mm; T4: 23.03 mm; T5: 21.97 mm) (Figura 2).

Figura 2

Incremento del diámetro de tallo en plantas de maíz después de la aplicación de los fungicidas orgánicos



Nota: Tratamientos T1 (Extracto de neem); T2 (Extracto de eucalipto); T3 (Extracto de ajo); T4 (Control químico); T5 (Control sin producto - control negativo). * Significativo ($p < 0.05$), ns diferencias no significativas ($p > 0.05$) (Autores, 2026).

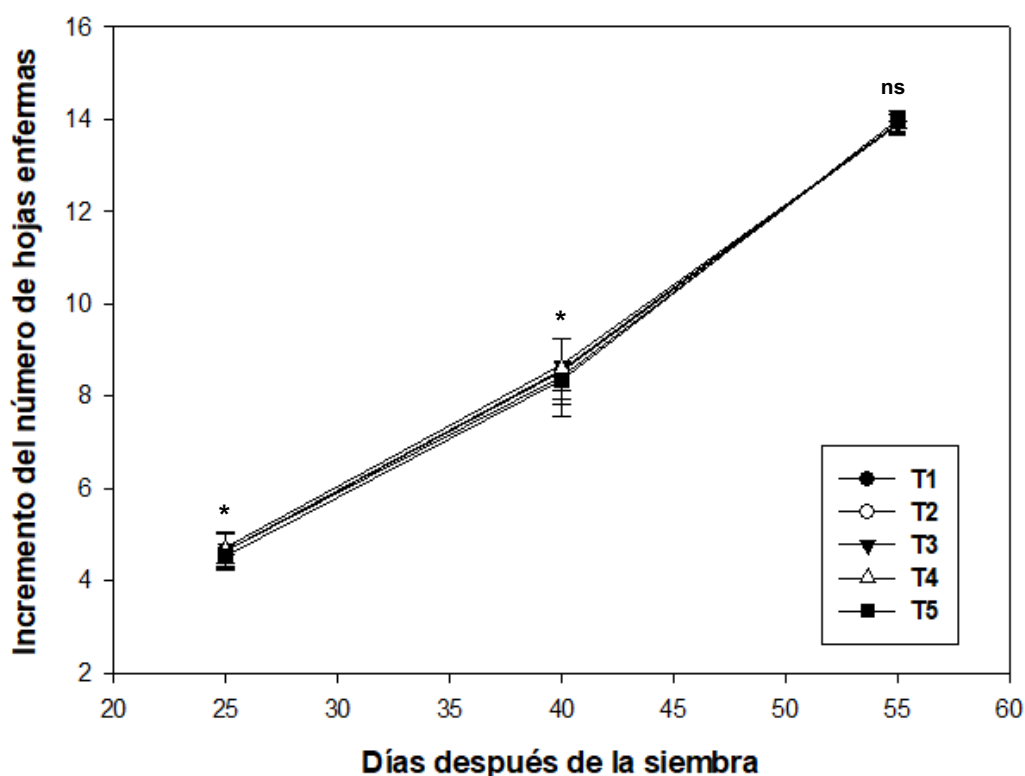
3.3. Incremento del número de hojas enfermas

El análisis de la variable número de hojas evidenció que, a los 25 días después de la siembra, el tratamiento T2 (extracto de eucalipto) registró el menor número de hojas,

mostrando diferencias significativas en comparación con T3 (extracto de ajo), el cual alcanzó el valor más alto (4.82). A los 40 días se evidenciaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Los valores más altos se registraron en T3 (extracto de ajo, 8.85 hojas) y T4 (control químico, 8.81 hojas). Seguido del T5 (control sin producto, 8.35 hojas) y T2 (extracto de eucalipto, 8.13 hojas), mientras que T1 (extracto de neem, 7.88 hojas) presentó el menor número de hojas afectadas. A los 55 días, no se detectaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (T1: 14 hojas; T2: 13.97 hojas; T3: 13.81 hojas; T4: 13.82 hojas; T5: 14 hojas) (Figura 3).

Figura 3

Incremento del número de hojas enfermas en plantas de maíz después de la aplicación de los fungicidas orgánicos



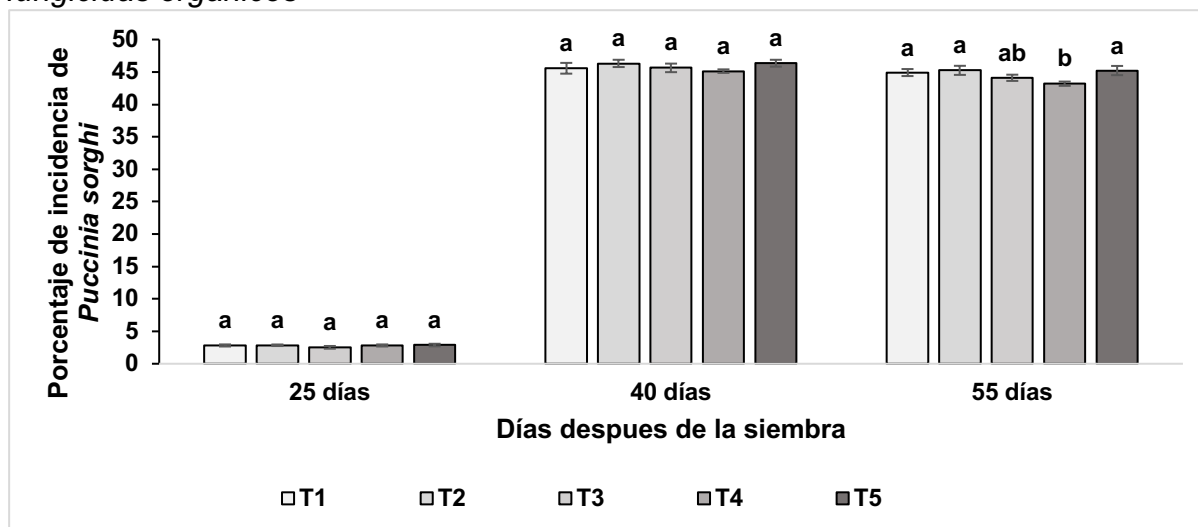
Nota: Tratamientos T1 (Extracto de neem); T2 (Extracto de eucalipto); T3 (Extracto de ajo); T4 (Control químico); T5 (Control sin producto - control negativo). * Significativo ($p < 0.05$), ns diferencias no significativas ($p > 0.05$) (Autores, 2026).

3.4. Incidencia de *Puccinia sorghi*

En la variable porcentaje de incidencia de la enfermedad, a los 25 y 40 días no se registraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, ya que todos presentaron valores similares (T1: 45.57 %; T2: 46.32 %; T3: 45.63 %; T4: 45.13 %; T5: 46.35 %), lo que evidencia un comportamiento homogéneo en esta etapa. Sin embargo, a los 55 días se detectaron diferencias significativas, donde el tratamiento T4 (control químico, 43.19 %) mostró el menor porcentaje de incidencia, seguido de T3 (extracto de ajo, 44.1 %). Ambos tratamientos se diferenciaron estadísticamente de T1 (44.91 %), T2 (45.25 %) y T5 (45.22 %), los cuales presentaron mayores niveles de incidencia (Figura 4).

Figura 4

Incidencia de Puccinia sorghi en plantas de maíz después de la aplicación de los fungicidas orgánicos



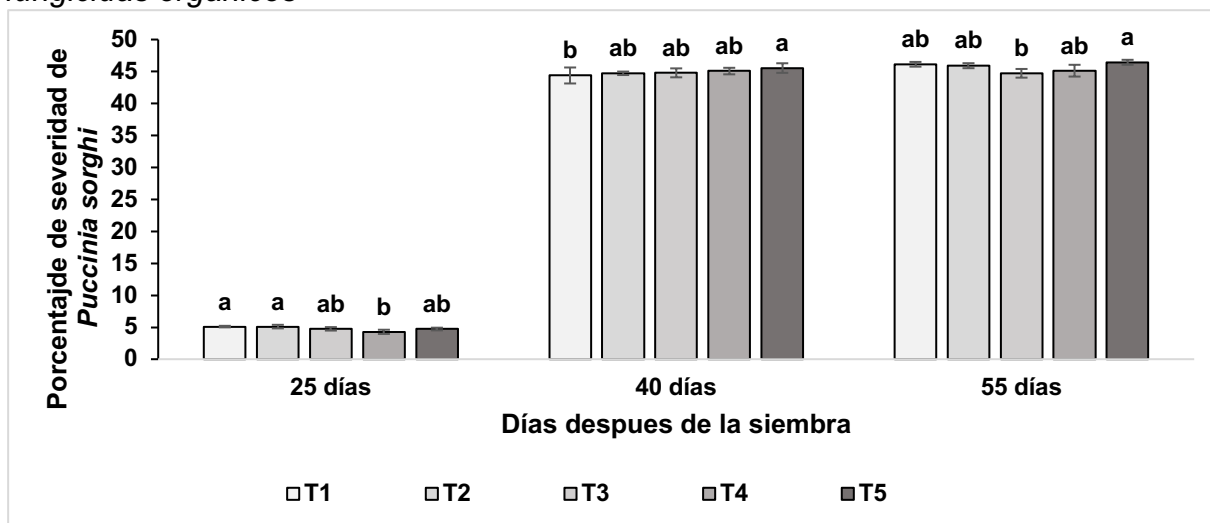
Nota: Tratamientos T1 (Extracto de neem); T2 (Extracto de eucalipto); T3 (Extracto de ajo); T4 (Control químico); T5 (Control sin producto - control negativo). Las barras representan la media de cada tratamiento. Las líneas sobre las barras indican la desviación estándar de cada tratamiento. Letras diferentes denotan diferencias significativas según Tukey ($p < 0.05$) (Autores, 2026).

3.5. Severidad de *Puccinia sorghi*

En la variable porcentaje de severidad de la enfermedad, a los 25 días después de la siembra se observó que el tratamiento T4 (control químico) presentó el menor nivel de severidad (4.28 %), mostrando diferencias significativas respecto a T1 (extracto de neem) y T2 (extracto de eucalipto), los cuales registraron los valores más elevados (5.1 %). A los 40 días, la severidad de la enfermedad no mostró diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, presentando valores similares (T1: 44.38 %; T2: 44.72 %; T3: 44.79 %; T4: 45.07 %; T5: 45.54 %), lo que indica un comportamiento uniforme en esta fase. A los 55 días, el tratamiento T5 (46.44 %) registró el mayor nivel de severidad, mientras que T3 (44.72 %) presentó el valor más bajo. Por su parte, los tratamientos T1 (46.13 %), T2 (45.91 %) y T4 (45.13 %) mostraron valores intermedios, sin evidenciar diferencias estadísticas significativas entre ellos (Figura 5).

Figura 5

Severidad de Puccinia sorghi en plantas de maíz después de la aplicación de los fungicidas orgánicos



Nota: Tratamientos T1 (Extracto de neem); T2 (Extracto de eucalipto); T3 (Extracto de ajo); T4 (Control químico); T5 (Control sin producto - control negativo). Las barras representan la media de cada tratamiento. Las líneas sobre las barras indican la desviación estándar de cada tratamiento. Letras diferentes denotan diferencias significativas según Tukey ($p < 0.05$) (Autores, 2026).

4. Discusión

En la presente investigación se evaluó el efecto de extractos vegetales de neem (*Azadirachta indica*), eucalipto (*Eucalyptus globulus*) y ajo (*Allium sativum*), en comparación con un control químico y un control absoluto, sobre variables de crecimiento y desarrollo del cultivo de maíz, así como sobre la incidencia y severidad de *P. sorghi*. Los resultados evidenciaron respuestas diferenciadas entre tratamientos a lo largo del ciclo fenológico, reflejando la complejidad de las interacciones entre los compuestos bioactivos de los extractos y los procesos fisiológicos de la planta.

En la variable altura de planta, se observaron variaciones temporales en la respuesta de los tratamientos. A los 40 DDS, el tratamiento con extracto de eucalipto (T2) presentó valores inferiores en comparación con el extracto de neem (T1), lo cual podría atribuirse al efecto inhibitorio de compuestos volátiles presentes en el eucalipto, como el cineol, α -pineno y p-cimeno. Estos metabolitos secundarios han sido asociados con la interferencia en procesos fisiológicos esenciales como la fotosíntesis y la respiración, limitando el crecimiento vegetativo en etapas tempranas del cultivo (Villarreal et al., 2023; Merghni et al., 2023).

En cuanto al diámetro de tallo, a los 25 DDS se registraron diferencias significativas entre tratamientos, destacándose el control químico (T4) con los mayores valores. Este comportamiento puede estar relacionado con el efecto estimulante que ciertos fungicidas sistémicos ejercen sobre el crecimiento vegetal, posiblemente al reducir la presión de patógenos o inducir respuestas fisiológicas favorables (Giambastiani et al., 2023). Sin embargo, a los 40 DDS, el extracto de neem presentó el menor diámetro

de tallo, lo que sugiere una posible influencia de la azadiractina sobre rutas metabólicas implicadas en el engrosamiento celular. Este efecto ha sido reportado en otros cultivos, donde concentraciones elevadas de extractos de neem pueden afectar el desarrollo de órganos vegetativos (Patel et al., 2023; Vélez et al., 2023).

Respecto al número de hojas, a los 25 DDS el tratamiento con extracto de eucalipto (T2) mostró los valores más bajos, diferenciándose significativamente del extracto de ajo (T3), que presentó el mayor número de hojas. Este comportamiento podría explicarse por el efecto alelopático de los compuestos volátiles del eucalipto, los cuales pueden inhibir el desarrollo foliar en etapas iniciales (Gil-Mora & Casas-Toribio, 2023). A los 40 DDS, el extracto de neem (T1) registró un menor número de hojas en comparación con T3 y T4, lo que podría estar relacionado con la acción de la azadiractina sobre fitohormonas como auxinas y giberelinas, afectando la expansión foliar (Hernández-Fuentes et al., 2021).

En relación con la incidencia de *P. sorghi*, no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos a los 25 y 40 DDS. No obstante, a los 55 DDS, el control químico (T4) presentó la menor incidencia, seguido del extracto de ajo (T3), ambos con valores significativamente inferiores al control sin aplicación (T5). Este resultado concuerda con estudios previos que destacan la actividad antifúngica de los compuestos organosulfurados del ajo, como la alicina y el dialil disulfuro, los cuales actúan inhibiendo la síntesis de ergosterol y alterando la permeabilidad de la membrana celular del patógeno (Cruz-Ortiz et al., 2021).

En cuanto a la severidad de la enfermedad, a los 25 DDS el control químico (T4) mostró el mejor desempeño, con los valores más bajos, superando significativamente a los tratamientos con neem (T1) y eucalipto (T2). Este efecto puede atribuirse a la acción rápida y específica de los fungicidas sistémicos sobre el patógeno, a diferencia de los extractos vegetales, cuyos mecanismos de acción suelen ser más graduales (Carranza-Patiño et al., 2023). A los 40 DDS, el extracto de neem evidenció una reducción en la severidad respecto al control absoluto, lo que sugiere una acción progresiva de sus compuestos bioactivos sobre el patógeno (Racines et al., 2019). Finalmente, a los 55 DDS, el extracto de ajo (T3) presentó la menor severidad, incluso por debajo del control químico, evidenciando su alto potencial como alternativa para el manejo de *P. sorghi*. Este comportamiento ha sido reportado en otros estudios, donde los extractos de ajo reducen significativamente la severidad de mildius vellosos mediante mecanismos tanto directos como indirectos (Ayvar-Serna et al., 2021).

El efecto del extracto de ajo puede explicarse por la presencia de compuestos como alicina, ajoeno, dialil disulfuro y dialil trisulfuro, los cuales poseen actividad antimicrobiana de amplio espectro. Estos compuestos actúan inhibiendo la síntesis de proteínas, alterando la integridad de la membrana celular y bloqueando enzimas esenciales del metabolismo fúngico (Rodríguez et al., 2020; Villa et al., 2021). Adicionalmente, se ha demostrado que el ajo puede inducir mecanismos de defensa en la planta, como la producción de fitoalexinas y proteínas relacionadas con la

patogénesis, fortaleciendo la resistencia sistémica (Castañeda et al., 2021). Este doble mecanismo de acción explicaría su eficacia superior en la reducción de la severidad (Bautista, 2021).

Por su parte, el comportamiento variable del extracto de neem a lo largo del ciclo podría estar asociado a la complejidad de sus compuestos activos, como azadiractina, salanina, meliantriol y nimbin. Aunque estos metabolitos presentan actividad antifúngica, su efectividad depende de factores como la concentración, estabilidad, método de extracción y condiciones ambientales (Alejos-Loyola & Valverde-Rodríguez, 2020; Bravo et al., 2022). Algunos estudios han reportado que la azadiractina puede interferir en la producción de zoosporas en oomicetos, lo que explicaría su efecto parcial sobre la severidad; sin embargo, este efecto puede no ser persistente debido a la degradación de los compuestos o a procesos de adaptación del patógeno (Loeblein-Verdério et al., 2024; Ricci et al., 2022).

En contraste, el extracto de eucalipto mostró un desempeño inferior en el control de *P. sorghi*. A pesar de que compuestos como el cineol y otros terpenos han demostrado actividad antimicrobiana en condiciones in vitro, su eficacia en campo puede verse limitada por factores ambientales, volatilización y baja persistencia (Carranza, 2022). Los resultados obtenidos evidencian que los extractos vegetales, especialmente el extracto de ajo, representan una alternativa viable y sostenible para el manejo de *P. sorghi* en maíz. Si bien su eficacia puede variar en función de múltiples factores, su incorporación en programas de manejo integrado de enfermedades podría contribuir significativamente a reducir el uso de fungicidas sintéticos, minimizando impactos ambientales, riesgos para la salud humana y la probabilidad de generación de resistencia en los patógenos.

5. Conclusiones

El uso de fungicidas orgánicos en el cultivo de *Zea mays* evidenció efectos diferenciados tanto en el crecimiento vegetal como en el manejo fitosanitario, permitiendo establecer implicaciones relevantes para sistemas de producción sostenible. En términos de desarrollo vegetativo, el extracto de neem promovió un mayor crecimiento inicial en altura y redujo el número de hojas enfermas a los 40 días, lo que sugiere un efecto positivo en la fase temprana del cultivo. Por su parte, el extracto de ajo destacó en variables estructurales como el diámetro de tallo y número de hojas, indicando una respuesta favorable en el vigor de la planta bajo condiciones de campo. Desde el punto de vista fitosanitario, se demostró que, entre los fungicidas orgánicos evaluados, el extracto de ajo presentó el mejor desempeño en el control de *Puccinia sorghi*, al registrar los menores valores de incidencia y severidad a los 55 días. Este comportamiento evidencia su potencial como una alternativa eficaz frente a enfermedades foliares, debido a su doble mecanismo de acción, tanto directo sobre el patógeno como en la inducción de respuestas de defensa en la planta.

CONFLICTO DE INTERESES

“Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses”.

Referencias Bibliográficas

- Alejos-Loyola, G. L., & Valverde-Rodríguez, A. (2020). Comportamiento de la broca del café (*Hypothenemus Hampei*) ante efectos del biocida Neem (*Azadirachta indica*) e Higuera (*Ricinus communis*) en Monzón, Perú. *Revista Investigación Agraria*, 2(1), 64-71. <https://doi.org/10.47840/reina.2.1.837>
- Ayvar-Serna, S., Díaz-Nájera, J. F., Vargas-Hernández, M., Enciso-Maldonado, G. A., Alvarado-Gómez, O. G., & Ortiz-Martínez, A. I. (2021). Actividad antifúngica de pesticidas biológicos, botánicos y químicos sobre el agente causal de la marchitez vascular del jitomate. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 44(4), 617 – 624. <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.4.617>
- Bautista Gómez, R. (2021). Regulación de *Peronospora variabilis* con ecofungicidas en *Chenopodium quinoa* Willd., bajo sistema de labranza de conservación. Ayacucho. *Investigación*, 29(1), 37-45. <https://doi.org/10.51440/unsch.revistainvestigacion.29.1.2021.276>
- Blum, L. E. B., Cruz, A. F., Uebel, J. D., & Tormen, N. R. (2026). Efficacy of Carboxamide, Triazole and Strobilurin Fungicides on Corn Disease Management. *Journal of Agricultural Science*, 18(2), 16-37. <https://doi.org/10.5539/jas.v18n2p16>
- Bravo-Ruiz, O., Sánchez-Velásquez, L. R., Alarcón-Gutiérrez, E., & Cen Pacheco, F. (2022). Potencial fungicida del árbol de neem contra el hongo *Hemileia vastatrix*. *UVserva*, (13), 194-208. <https://doi.org/10.25009/uvs.vi13.2852>
- Carranza Villaty, L. del C. (2022). Actividad antibacteriana de Plantago major, Eucalyptus globulus y Matricaria chamomilla, frente a Streptococcus mutans. *Revista Cubana de Estomatología*, 59(3), e3793. <https://revestomatologia.sld.cu/index.php/est/article/view/3793>
- Carranza-Patiño, M., Contreras-Mora, M., Macias-Leon, M., Pincay-Pin, P., Rendón-Margallón, E., & Robinson J., H.-F. (2023). Uso de los pesticidas y su efecto en el cultivo de *Zea mays*: Una revisión de la literatura. *Código Científico Revista de Investigación*, 4(E2), 1258-1286. <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v4/ne2/219>
- Castañeda, D. C. B., Pincirolí, M., Bezus, R., & Sisterna, M. (2021). Alternativas de biocontrol antifúngico *in vitro* para el manchado de grano /semilla en arroz / Alternativos biocontroles *in vitro* antifúngicos para a despoção de grãos/seeds no arroz. *Brazilian Journal of Development*, 7(6), 55457-55466. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n6-110>
- Cruz-Ortiz, L., Escobar-Ventura, K., Flores-Méndez, M., Urbina-Reyes, M. E., & Vázquez-Ovando, A. (2021). Recubrimientos con cera de abeja, extractos de ajo y sauge para aumentar la vida postcosecha del banano Gran Enano. *Informador Técnico*, 85(2), 172–183. <https://doi.org/10.23850/22565035.3685>

- Giambastiani, G., Cordes, G., & Laurella, E. (2023). Impacto de doenças foliares no rendimento e seus componentes em sorgão grão (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 6(1), 577–586. <https://doi.org/10.34188/bjaerv6n1-052>
- Gil-Mora, J. E., & Casas-Toribio, S. M. (2023). Extracto acuoso de *Eucalyptus globulus* Labill. en la germinación y desarrollo de cultivos andinos: un estudio de alelopatía en Cusco, Perú. *Revista Forestal Del Perú*, 38(1), 60-80. <https://doi.org/10.21704/rfp.v38i1.1596>
- Hernández Ramos, L., & Sandoval Islas, J. S. (2015). Escala diagramática de severidad para el complejo mancha de asfalto del maíz. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 33(1), 95–103. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10566383>
- Hernández-Fuentes, L. M., Nolasco Gonzalez, Y., Santos, M. O., & Montalvo Gonzalez, E. (2021). Toxicidad de insecticidas contra (*Optatus palmaris* Pascoe) en guanábana. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(1), 49-60. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i1.2417>
- Imade, E. E., & Babalola, O. O. (2021). Biotechnological utilization: the role of *Zea mays* rhizospheric bacteria in ecosystem sustainability. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 105(11), 4487–4500. <https://doi.org/10.1007/s00253-021-11351-6>
- Khalil, H. B., & Salama, N. M. (2025). Comparative Genomic Analysis of Effector Repertoires in Rust Fungi: Insights into Pathogenesis and Host Interactions in Wheat. *Current Research in Environmental and Applied Mycology*, 15(1), 35–55. <https://doi.org/10.5943/cream/15/1/4>
- Kim, S. K., & Brewbaker, J. L. (2022). Inheritance of Resistance of Sweet Corn Inbred IL677a to *Puccinia sorghi* Schw. *HortScience*, 22(6), 1319-1320. <https://doi.org/10.21273/hortsci.22.6.1319>
- Kim, S., Van den Broeck, L., Karre, S., Choi, H., Christensen, S. A., Wang, G., Jo, Y., Cho, W. K., & Balint-Kurti, P. (2021). Analysis of the transcriptomic, metabolomic, and gene regulatory responses to *Puccinia sorghi* in maize. *Molecular Plant Pathology*, 22(4), 465–479. <https://doi.org/10.1111/mpp.13040>
- Loeblein-Verdério, J. S., Alves, L. F. A., Rode, P. de A., Bordin, C., Fetter, I., & Guimarães, A. T. B. (2024). Atividade de um produto à base de azadiractina contra *Gyropsylla spegazziniana* (Lizer e Trelles, 1919) e sua interação com o fungo entomopatogênico *Beauveria bassiana*. *Ciência Florestal*, 33(4), e71211. <https://doi.org/10.5902/1980509871211>
- Merghni, A., Belmamoun, A. R., Urcan, A. C., Bobiş, O., & Lassoued, M. A. (2023). 1,8-Cineol (Eucalyptol) Disrupts Membrane Integrity and Induces Oxidative Stress in Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus*. *Antioxidants*, 12(7), 1388. <https://doi.org/10.3390/antiox12071388>
- Murialdo, R., Daga, I. C., Pesci, H., Palmero, F., & Hang, S. (2022). Evaluación del uso de cianobacterias nativas como biofertilizantes en cultivos de *Zea mays* L. *Revista de La Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 9(1), 51–57. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/FCEFYN/article/view/36668>

- Patel, S., Garg, V. K., & Balpande, S. (2023). Evaluation the efficacy of bio pesticides against gram pod borer *Helicoverpa armigera* (Hubner) on chickpea (*Cicer arietinum* L.). *International Journal Of Plant Sciences*, 18(1), 40-44. <https://doi.org/10.15740/has/ijps/18.1/40-44>
- Qin, Y. L., Zhang, S. B., Lv, Y. Y., Zhai, H. C., Hu, Y. Sen, & Cai, J. P. (2022). The antifungal mechanisms of plant volatile compound 1-octanol against *Aspergillus flavus* growth. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 106, 4487–4500. <https://doi.org/10.1007/s00253-022-12049-z>
- Quade, A., Ash, G. J., Park, R. F., & Stodart, B. (2021). Resistance in maize (*Zea mays*) to isolates of *Puccinia sorghi* from Eastern Australia. *Phytopathology*®, 111(10), 1751–1757. <https://apsjournals.apsnet.org/doi/10.1094/PHYTO-11-20-0524-R#>
- Quade, A., Park, R. F., Stodart, B. J., & Ash, G. J. (2022). Urediniospores of *Puccinia sorghi*: pre-and post-cold storage requirements. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 44(5), 737–743. <https://doi.org/10.1080/07060661.2022.2039962>
- Racines-Oliva, M., Tamayo-Gutiérrez, E. A., Jarrín, M., Báez, F., & Tello, C. (2019). Alternativas de control orgánico in vitro para *Dactylonectria torresensis* en la mora de castilla (*Rubus glaucus*) en Ecuador. *Enfoque UTE*, 10(4), 67-77. <https://doi.org/10.29019/enfoque.v10n4.525>
- Randle, W. M., Davis, D. W., & Groth, J. V. (2022a). Improvement and Genetic Control of Partial Resistance in Sweet Corn to Corn Leaf Rust. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 109(6), 777-781. <https://doi.org/10.21273/jashs.109.6.777>
- Randle, W. M., Davis, D. W., & Groth, J. V. (2022b). The Effects of Corn Leaf Rust on Maturity and Quality of Fresh Market Ears of Sweet Corn. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 109(5), 645-648. <https://doi.org/10.21273/jashs.109.5.645>
- Ricci, A. P., Martins Júnior, J. C. R., Pradebon, V. P. O., Maia, L. R., Loosli, A. W. M., Roel, A. R., & Almeida, T. T. de. (2022). Bioativos Derivados de Fungos Endofíticos Isolados da *Azadirachta Indica* (Neem) e suas aplicações. *Research, Society and Development*, 11(9), e13911932454. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i9.32454>
- Rodríguez Vega, J. L., Mejia Pinedo, D. A., Lora Loza, M. G., & Pérez Martinto, P. C. (2020). Actividad extracto etanólico de hoja de *Allium Sativum* (Ajo) sobre *Staphylococcus Aureus*. *Revista Científica Epistemia*, 4(2). <https://doi.org/10.26495/re.v4i2.1341>
- Vélez Ruiz, M. C., Tapia-Gualpa, K. L., Herrera-Eguez, F. E., & Reyes-Pérez, J. J. (2023). Evaluación de extractos acuosos de neem (*Azadirachta indica*) y tabaco (*Nicotiana tabacum*) para el control del pulgón negro del cacao (*Toxoptera aurantii*). *Bionatura*, 8(4), 1-12. <https://doi.org/10.21931/rb/2023.08.04.24>
- Villa Sánchez, F. E., Moncayo Molina, W. E., Alvarado Aguilar, M. C., Leal Chantong, A. A., & Daza Barcia, D. D. (2021). Síntesis verde de nanopartículas de Plata (AgNPs) utilizando ajo (*Allium Sativum* L) explorando su actividad antimicrobial

y catalíticas. *FACSALUD-UNEMI*, 5(8), 39-50.
<https://doi.org/10.29076/issn.2602-8360vol5iss8.2021pp39-50p>

Villarreal-Rivas, S., Rojas-Fermin, L., Lárez, R., Torres, M., Díaz, C., de Ustáriz, M. L., & Carmona, J. (2023). Caracterización química y actividad antimicrobiana de los componentes volátiles de *Eucalyptus* de dos especies de Venezuela. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 52(1), 91-106.
<https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v52n1.109361>

Wenqiang, Z., Jingran, W., Qi, W., Na, W., Jianwei, G., Zilin, Y., Yun, S., Lin, L., & Chengyun, L. (2022). Investigation on types of corn rust in eastern Yunnan ecology and analysis of population genetic structure of its rusts. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil and Plant Science*, 72(1), 485-495.
<https://doi.org/10.1080/09064710.2021.2012250>