



Actividad antagonista de sustancias bioactivas para el control de nematodos fitoparásitos en el cultivo de plátano (Musa AAB)

Antagonistic activity of bioactive substances for the control of phytoparasitic nematodes in banana crops (Musa AAB)

Atividade antagônica de substâncias bioativas para o controle de nemátodes fitoparasitários em culturas de banana (Musa AAB)

Manuel Adrian Vallejo-Loja ^I

mvallejo1@utmachala.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0002-1519-6563>

Sayda Herrera-Reyes ^{II}

sherrera@utmachala.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-7226-5345>

Edison Jaramillo-Aguilar ^{III}

ejaramillo@utmachala

<https://orcid.org/0000-0002-8241-9598>

Diego Ricardo Villaseñor-Ortiz ^{IV}

dvillasenor@utmachala.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-5646-4451>

Correspondencia: mvallejo1@utmachala.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

* **Recibido:** 12 de julio de 2024 * **Aceptado:** 27 de agosto de 2024 * **Publicado:** 30 de septiembre de 2024

- I. Universidad Técnica de Machala (UTMACH), Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA), Semillero de Investigación en Fitotecnia (SINFIT), Ecuador.
- II. Universidad Técnica de Machala (UTMACH), Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA), Semillero de Investigación en Fitotecnia (SINFIT), Docente - Universidad Técnica de Machala (UTMACH), Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA), Carrera de Agronomía, Ecuador.
- III. Universidad Técnica de Machala (UTMACH), Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA), Semillero de Investigación en Fitotecnia (SINFIT), Docente - Universidad Técnica de Machala (UTMACH), Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA), Carrera de Agronomía, Ecuador.
- IV. Universidad Técnica de Machala (UTMACH), Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA), Semillero de Investigación en Fitotecnia (SINFIT), Docente - Universidad Técnica de Machala (UTMACH), Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA), Carrera de Agronomía, Ecuador.

Resumen

La producción de plátano *Musa* AAB en el Ecuador desempeña un papel fundamental en la economía y la seguridad alimentaria. La presencia de nematodos, causan grandes problemas significativos en el cultivo al conllevar a pérdidas económicas muy representativas. Donde se planteó como objetivo, evaluar la eficacia de sustancias bioactivas con propiedades antagonistas para el control sostenible de nematodos fitoparásitos. El ensayo se realizó en una parcela establecida de plátano y en el laboratorio de suelos de la FCA, se implementó un Diseño completamente al azar (DCA) con ocho tratamientos y tres repeticiones, donde las variables evaluadas fueron: altura de planta, fuste de pseudotallo, número de hojas, índice de clorofila en tercera y cuarta hoja, como también la cantidad poblacional de nematodos por planta. En la primera fase del ensayo se realizaron aplicaciones de los extractos etanólicos cinco veces en campo. Posteriormente para la segunda fase en laboratorio trabajamos con el método embudo de Baermann para las muestras respectivas de raíces del experimento e identificar la población de nematodos. Mientras que, al analizar las variables evaluadas, se encontró que el tratamiento orégano al 3 y 5% demostraron efectividad, tanto en los valores de raíces sanas, fuste y altura de plantas.

Palabras claves: Plátano; nematodos fitoparásitos; sustancias bioactivas.

Abstract

The production of *Musa* AAB banana in Ecuador plays a fundamental role in the economy and food security. The presence of nematodes causes significant problems in the crop, leading to significant economic losses. The objective was to evaluate the effectiveness of bioactive substances with antagonistic properties for the sustainable control of plant-parasitic nematodes. The test was carried out in an established banana plot and in the FCA soil laboratory, a Completely Randomized Design (CRD) was implemented with eight treatments and three repetitions, where the variables evaluated were: plant height, pseudostem trunk, number of leaves, chlorophyll index in the third and fourth leaf, as well as the population amount of nematodes per plant. In the first phase of the test, ethanolic extracts were applied five times in the field. Later, for the second phase in the laboratory, we worked with the Baermann funnel method for the respective root samples of the experiment and to identify the nematode population. While, when analyzing the variables

evaluated, it was found that the 3 and 5% oregano treatment demonstrated effectiveness, both in the values of healthy roots, stem and plant height.

Keywords: Banana; phytoparasitic nematodes; bioactive substances.

Resumo

A produção de banana-pão Musa AAB no Equador desempenha um papel fundamental na economia e na segurança alimentar. A presença de nemátodos provoca problemas significativos nas culturas, levando a perdas económicas muito significativas. Onde o objetivo foi avaliar a eficácia de substâncias bioativas com propriedades antagónicas para o controlo sustentável de nemátodos parasitas de plantas. O ensaio foi realizado numa bananeira estabelecida e no laboratório de solos da FCA, foi implementado um delineamento inteiramente casualizado (DIC) com oito tratamentos e três repetições, onde as variáveis avaliadas foram: altura da planta, tronco do pseudocaule, número de folhas, clorofila índice na terceira e quarta folhas, bem como a quantidade populacional de nemátodos por planta. Na primeira fase do ensaio, os extratos etanólicos foram aplicados cinco vezes no campo. Posteriormente, para a segunda fase em laboratório, trabalhámos com o método do funil de Baermann para as respetivas amostras de raízes da experiência e identificámos a população de nemátodos. Enquanto que, ao analisar as variáveis avaliadas, verificou-se que o tratamento com 3 e 5% de orégãos demonstrou eficácia, tanto nos valores de raízes saudáveis, como no colmo e na altura da planta.

Palavras-chave: Banana; nemátodos parasitas de plantas; substâncias bioativas.

Introducción

El cultivo de plátano desempeña un papel crucial en la economía y seguridad alimentaria; además, es una de las frutas más consumidas a nivel mundial, representando un rubro económico en fuentes de empleo y exportación del país, se puede cultivar desde los 1600 hasta los 2000 msnm (Elbehri et al., 2015). Sin embargo, una de las amenazas más relevante para la producción de plátano en Ecuador es la infestación de nematodos fitoparásitos (NF) (Navas et al., 2022). Estos microorganismos son responsables de daños considerables en las raíces de las plantas de Musa spp, lo que resulta en pérdidas significativas en rendimiento y calidad del producto (Jaramillo et al., 2019).

Los métodos tradicionales de control de nematodos fitoparásitos en el cultivo de plátano han involucrado el uso de nematicidas químicos. Aunque estos productos son efectivos, su uso excesivo puede tener efectos adversos en el medio ambiente, ecosistemas y la salud humana, además de generar resistencia a estos parásitos. En este contexto, la búsqueda de alternativas sostenibles y respetuosas con el medio ambiente se ha convertido en una prioridad para la industria platanera ecuatoriana (Viera-Arroyo et al., 2020).

En el cultivo de plátano se han identificado diferentes géneros de nematodos que inciden negativamente en su desarrollo, varían dependiendo de las condiciones edafoclimáticas encontrando géneros como *Radopholus similis* (Cobb) Thorne, *Pratylenchus* spp, *Helicotylenchus* spp, *Meloidogyne* spp. entre otros géneros fitoparásitos como: *Rotylenchus* spp., *Tylenchus* spp., *Paratylenchus* spp., *Tylenchulus* spp., *Aphelenchus* spp., *Trichodorus* spp., *Diphtherophora* spp. Estos microorganismos provocan daños en las raíces y el cormo, los fitoparásitos generando en las plantas de plátano un lento crecimiento, tienen hojas más pequeñas y en menor número, y sufren volcamientos debido a la pudrición de las raíces y baja cantidad de las mismas (Abou et al., 2009). Es importante resaltar que, el manejo integrado de plagas (MIP) representa una estrategia fundamental para el control eficaz y sostenible de nematodos en los cultivos. Integrar sustancias bioactivas con prácticas culturales adecuadas, como la rotación de cultivos y la selección de variedades resistentes, puede maximizar los efectos positivos en la reducción de la población de nematodos y, al mismo tiempo, minimizar los impactos negativos en el medio ambiente agrícola (Huamani, 2022).

Estas sustancias tiene el potencial de actuar como agentes antagonistas, interfiriendo en el ciclo de vida y la capacidad reproducción de los nemátodos fitoparásitos (Valencia et al., 2014).

En este contexto, numerosos estudios han demostrado la eficacia de diversas sustancias bioactivas en el control de nematodos fitoparásitos de este cultivo.

Dichas investigaciones han arrojado resultados prometedores, indicando que las sustancias bioactivas pueden ser un recurso valioso en la gestión integrada de plagas en la producción de *Musa* spp. (Baazeem et al., 2022). Los cambios en el sistema radicular debido al daño celular causado por los nematodos repercuten adversamente en los procesos fisiológicos relacionados con la absorción de agua y nutrientes, así como en la emisión de fitohormonas por parte de las raíces. Este impacto se traduce en efectos significativos en la síntesis de clorofila, la fotosíntesis y la respiración en el tejido aéreo (Mwamula et al., 2022).

Los progresos recientes en el ámbito científico indican que aplicar sustancias bioactivas para el control de NF en el cultivo de plátano en Ecuador tiene el potencial no solo de incrementar la productividad de estos cultivos sino también de fomentar la sostenibilidad ambiental. Además, esta estrategia promete disminuir la dependencia de productos químicos perjudiciales, abogando por un enfoque más ecológico en la agricultura.

Este enfoque hacia la sostenibilidad y reducción de químicos dañinos encuentra una aplicación práctica en el uso de aceites esenciales como estrategia de control biológico. En particular, el aceite esencial de *Origanum vulgare*, destaca por su alto contenido de carvacrol (61%), que demuestra una potente acción nematicida con una concentración letal media (LC50) = 37.6 mg/L, seguido del timol (21.8%) con un LC50= 36 mg/L. Entre demás compuestos activos se tiene a la mentona, el 1,8-cineol, el linalol y el terpineol (73). Los estudios sobre los aceites esenciales de orégano, majorana y *O. compactum* evidencian una actividad nematicida, insecticida, acaricida contra huevos y adultos (Arcila-Lozano et al., 2004). Ante la necesidad adoptar métodos de control de plagas sostenible y respetuosa con el entorno ha llevado a la búsqueda de estrategias alternativas al uso intensivo de pesticidas químicos. Entre estas estrategias, la actividad antagonista de sustancias bioactivas ha emergido como una prometedora opción de control de nematodos fitoparásitos en todo el mundo. Estas sustancias, que pueden ser de origen natural o sintético, actúan como agentes de manejo que interfieren con el ciclo de vida y la actividad de los nematodos, sin causar daños colaterales al ambiente ni a la salud humana (Miranda, 2021).

Ante lo expuesto el objetivo de la presente investigación fue evaluar la eficacia de sustancias bioactivas con propiedades antagonistas para el control sostenible de nematodos fitoparásitos en el cultivo de plátano, con el fin de desarrollar estrategias de manejo integrado que promuevan la salud de las plantas y la producción sostenible de plátano a largo plazo.

Materiales y métodos

Área de estudio

La presente investigación se desarrolló en la Parroquia La Peaña, ubicada en el Cantón Pasaje de la Provincia de El Oro. Las coordenadas geográficas de esta área de estudio son Latitud 3° 18'55.8" Sur y Longitud 79° 50'19.4" Oeste, tal como se ilustra en la Figura 1. La altitud promedio de esta región es de 14 m.s.n.m.

Según Luna et al. (2018) la zona de investigación se caracteriza por presentar una temperatura media anual de 22.5°C, acompañada de una exposición solar que varía entre 3 y 4 horas diarias. Además, registra una precipitación anual promedio de 1,450 mm.

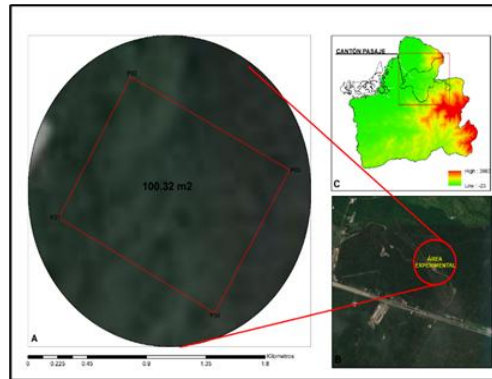
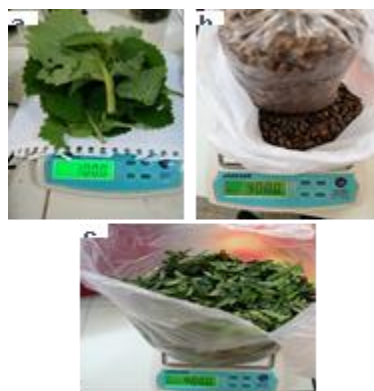


Figura 1. Mapa de ubicación de la investigación, A) vista satelital del área experimental, B) Vista satelital de la parroquia la Peaña, C) Cantón Pasaje.

Elaboración de Extractos Etanólicos

Se empleó como material vegetativo (Mv) higuierilla, ruda y orégano. Mismos que se trabajaron en una relación 1:2, material vegetal en etanol al 55%. El material vegetal seleccionado se caracteriza por tener hojas frescas, de buena calidad y estar libre de pesticidas.

Los extractos etanólicos procesados se trabajaron tanto como en orégano con su órgano fotosintético la hoja, mientras en ruda de igual manera y por último con la semilla de Higuierilla tal como se muestra en la Figura 2.



*Figura 2. Peso del material vegetativo
a.) orégano b.) higuierilla c.) ruda*

Análisis estadístico

En este estudio, se realizó un análisis estadístico para evaluar la relación entre los diferentes tratamientos y los parámetros. Para ello, se aplicó el análisis de varianza de un solo factor (ANOVA), acompañado de dos etapas cruciales de preprocesamiento de datos: la verificación de la normalidad de los datos y la homogeneidad de las varianzas. Estos pasos garantizaron que se cumplieran los supuestos necesarios para el ANOVA.

Se puede emplear el método de Tukey con un nivel de significancia del 0,05% para realizar pruebas post hoc y detectar grupos de medias homogéneas entre los tratamientos cuando estos son paramétricos. Esto permitió identificar diferencias significativas en los patrones de crecimiento entre grupos específicos de tratamientos. La combinación de ANOVA y el método de Tukey enriqueció la metodología de investigación y proporcionó percepciones detalladas de los datos.

Todas las evaluaciones se llevaron a cabo utilizando el software InfoStat/L lo que garantizó la precisión de los resultados. Este enfoque analítico minucioso garantizó una sólida validez estadística y mejoró la confiabilidad de los resultados, lo que respalda la robustez de este estudio en la exploración y comprensión de la relación entre los tratamientos y los parámetros de crecimiento.

Manejo del ensayo

La siembra se realizó el 16 de Julio del 2023, previamente se sumergió los colinos en una solución de un producto orgánico Agrostemin durante 24 horas.

Para la preparación del suelo se procedió a delimitar las Unidades experimentales (UE) con sus respectivas medidas, tomando en cuenta los pasillos y espacios entre UE. En cada UE se ubicaron cinco sacos con 25 kg de suelo cada uno respetivamente, donde se sembró los colinos de plátano con peso estimado de 2,5 a 3 kg cada uno. Las aplicaciones de los diferentes extractos se realizaron mensualmente, en un total de 5 aplicaciones. Cada una de las aplicaciones fueron con dosificaciones diferentes.



Figura 3. a.) Preparación del suelo previo a establecer el ensayo en campo.

b.) limpieza y pesa de cormos antes de la siembra. c.) Experimento ya establecido con su respectiva siembra de colinos de plátano

Método de extracción de nematodos

Se han desarrollado diversos métodos para la extracción de nematodos presentes en suelos y raíces. En este ensayo se optó por el método de embudo de Baermann 1917, donde utilizamos soportes universales, material vegetal (raíces), agua destilada, ligas, manguera de goma, papel filtro. Este procedimiento aprovecha la gravedad, pues, al estar en contacto con el agua destilada, los nematodos, debido a su densidad, descienden a través de los poros del papel filtro y se acumulan en la base de la manguera conectada al embudo. Para llevar a cabo esta técnica, de una muestra de 100 gramos de raíces infectadas, se seleccionaron 20 g; a estos se les añadió 200 ml de agua destilada, siguiendo una proporción específica (Lopez-Nicora et al., 2022).



Figura 4. Desarrollo de la técnica embudo de Baermann para la extracción de nematodos.

Según Lopez-Nicora et al. (2022) tras colectar la muestra de raíces de plátano, estas se dejan reposar durante 72 horas antes de proceder con la recolección de nematodos. Posteriormente, las

muestras recolectadas se examinan bajo el microscopio, permitiendo la identificación de los distintos géneros de nematodos basándose en su estructura morfológica.

Variables de estudio

Masa Total de Raíces: Se eligieron las 5 plantas de cada UE, donde se retiró el suelo de cada saco respectivamente separando las raíces del mismo y etiquetando cada muestra. Posteriormente, se cortó las raíces cerca de la base del cormo, donde n fueron llevadas al laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y separamos la cantidad total de raíces presentes de cada planta de plátano, finalmente se pesaron por separado en Raíces sanas, afectadas y muertas

Raíces Sanas (%): El porcentaje de raíces en buen estado en relación con el total de raíces.

Raíces Afectadas (%): El porcentaje de raíces afectadas en relación con el total de raíces.

Raíces Muertas (%): El porcentaje de raíces que han perdido su funcionalidad en relación con el total de raíces

Altura de planta: La altura de la planta en cm se comprobó con la ayuda de un flexómetro, desde la base del suelo hasta donde se emita la última hoja, denominada hoja cigarro.

Fuste del pseudotallo: el diámetro del pseudotallo se midió con una cinta métrica, la cual se colocó alrededor del pseudotallo casi en la parte basal donde la forma del pseudotallo a simple vista, esta en forma de cono se va cerrando.

Número de hojas: El conteo de número de hojas se verificó al final del experimento.

Nivel o Índice de clorofila en 3 era y 4ta hoja: La medición del índice SPAD (Soil Plant Analysis Development), se realizó en el momento final del ensayo, tomando lectura de la tercera y cuarta hoja desde el centro de la misma, en las horas de la mañana para evitar alteraciones en la toma de datos sea esta por luminosidad o precipitaciones.

Diseño experimental

El diseño experimental empleado siguió un enfoque de muestreo completamente al azar (DCA) y comprendió 8 tratamientos con 3 repeticiones cada uno, como se observa en la Figura 5. La parcela experimental en su totalidad abarcó un área de 100.32 m², con dimensiones de 17.60 m de ancho y 5.70 m de largo. Esta área se subdividió en 24 (UE), siendo cada una de ellas de 2.25 m²(1.50 m de ancho x 1.50 m de largo). Entre las filas de las UE, se mantuvo una distancia de 80 cm, mientras que entre las calles se conservó una separación de 60 cm

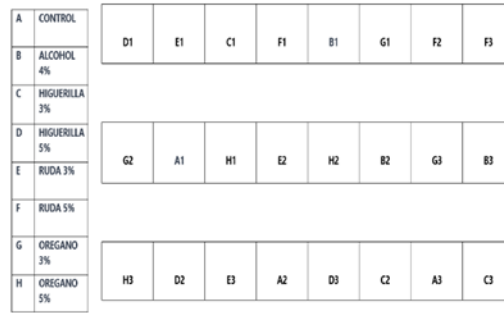


Figura 5. Diseño experimental y su esquema distribución de los diferentes tratamientos de estudio

Dentro de cada unidad experimental (UE), se seleccionaron 5 unidades muestrales (UM) específicas, que se identificaron para su posterior medición, lo que resultó en un total de 120 plantas en toda la parcela experimental. A continuación, se detallan los tratamientos empleados en el estudio:

Tabla 1. Tratamientos empleados para las diferentes sustancias bioactivas.

Letra	Símbolo	Sustancias (%)	Replicas
A	T1	Control	3
B	T2	Etanol 4%	3
C	T3	Higuerilla 3%	3
D	T4	Higuerilla 5%	3
E	T5	Ruda 3%	3
F	T6	Ruda 5%	3
G	T7	Orégano 3%	3
H	T8	Orégano 5%	3

Resultados y discusión

Los resultados se analizaron mediante un ANOVA de un factor Inter grupos utilizando el software InfoStat/L con el objetivo de determinar si existían diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tratamientos (T) del factor de estudio en comparación con el tratamiento control (Tc), mediante la prueba de homogeneidad de varianzas. Para realizar las comparaciones múltiples, se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis ($p < 0,05$) en el programa InfoStat/L.

En la Tabla 2 se observa los resultados derivados del análisis estadístico en cuanto a la variable altura de planta.

Donde T(Tratamientos), Me(Media), M(medias).

Tabla 2. Prueba de Kruskal Wallis (Variable altura cm) fue afectada por la aplicación de dicho tratamiento.

T	N	Me	D.E	M	H	p
Control	15	74.98	8.41	78	55.81	< 0.0001
Etanol 4%	15	74.88	14.72	73.4		
Higuerilla 3%	15	71.66	6.51	71.2		
Higuerilla 5%	15	32.8	22.01	22		
Orégano 3%	15	85.87	16.47	80		
Orégano 5%	15	90.63	22.77	86.8		
Ruda 3%	15	65.91	6.06	63.3		
Ruda 5%	15	82.41	13.6	79		

Trat.	Ranks
Higuerilla 5%	14.67 A
Ruda 3%	36.57 A B
Higuerilla 3%	53.73 B C
Etanol 4%	61.00 B C D
Control	64.97 C D
Ruda 5%	80.87 D E
Orégano 3%	81.80 D E
Orégano 5%	90.40 E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

De acuerdo a la tabla 2, variable altura de planta, se puede observar en el análisis de varianza no paramétrica (Kruskal Wallis) que existe diferencias significativas en al menos un tratamiento ($p < 0.05$). El cual, la prueba de rangos múltiples nos confirma las diferencias significativas entre los Tratamientos y nos indica los diferentes grupos de significancia de acuerdo a las letras y/o combinaciones de letra. Se puede observar que el mejor tratamiento es el extracto de orégano al 3 y 5%, que es estadísticamente diferente a los demás (T). Además, se puede evidenciar que los tratamientos de higuerilla 5% y ruda 3% afectaron notablemente la altura de la planta, siendo estos estadísticamente iguales, pero algo muy particular donde el tratamiento higuerilla 5% es estadísticamente diferente a los demás T., donde se evidencia que la variable altura fue afectada por la aplicación de dicho tratamiento.

Previo a una investigación realizada por Steling et al. (2018) en altura de planta inoculadas con material vegetativo de ruda alcanzaron una altura significativamente mayor, donde la ruda ejerció el control de nematodos como también estimulo la altura de plantas, no obstante, en la presente investigación se demuestra todo lo contrario dando como resultado negativo en cuanto a la variable altura de planta con un bajo valor estadístico.

Fuste de pseudotallo

En la Tabla 3 se presentan los resultados obtenidos de los datos que procesamos mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para la variable fuste de pseudotallo.

Tabla 3. Prueba de Kruskal Wallis (Variable fuste cm).

T	N	Me	D.E	M	H	p
Control	15	15.93	1.39	15.23	33.77	<0.0001
Etanol 4%	15	16.27	3	15.8		
Higuerilla 3%	15	15.54	1.47	15.6		
Higuerilla 5%	15	15.33	0.99	15.3		
Orégano 3%	15	19.01	3.7	18		
Orégano 5%	15	19.56	3.19	19.3		
Ruda 3%	15	16.07	1.48	16.2		
Ruda 5%	15	18.06	2.84	17.7		

Trat.	Ranks
Higuerilla 5%	38.87 A
Higuerilla 3%	42.80 A
Control	48.83 A
Etanol 4%	50.73 A
Ruda 3%	53.30 A B
Ruda 5%	78.03 B C
Orégano 3%	79.37 C
Orégano 5%	92.07 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Los resultados obtenidos como se observan, presentaron diferencias significativas entre los tratamientos con respecto al fuste del pseudotallo, exhibiendo el tratamiento de orégano 5% un valor más alto en cuanto a la variable medida. Se puede evidenciar que los tratamientos higuerilla 3 y 5%, control y etanol 4% son estadísticamente iguales entre sí pero diferente a los demás tratamientos, siendo notorio el valor de fuste del pseudotallo.

Estos resultados concuerdan con investigaciones realizadas por Silva Marrufo & Marín Tinoco, (2022), donde se usa aceite esencial de orégano con niveles de 1,5 ml disuelto en 1L de agua para el control de *Fusarium oxysporum* sp. Dando, así como resultado un excelente fuste en plantas de chile ancho (variedad cardenal y sargento).

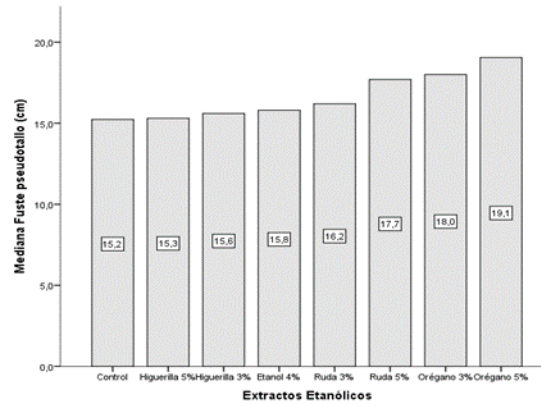


Figura 6. Efecto de los diferentes extractos etanólicos sobre la variable fuste del pseudotallo.
Número de hojas

En la Tabla 4 se muestran diferencias significativas en cuanto a la variable número de hojas, donde se observó que, a lo largo de todo el desarrollo del ensayo, los tratamientos que presentaron un mayor número de hojas son orégano 3% y 5%, como también higuierilla 5%, siendo estos estadísticamente iguales, pero diferentes a demás tratamientos. En este análisis se revela que los tratamientos etanol 4%, control, ruda 3% e higuierilla 3% influyeron significativamente en dicha variable, al observar que el número de hojas fue menor, como también son estadísticamente iguales entre sí. El tratamiento ruda 5% no presenta diferencias significativas frente a los demás T.

Tabla 4. Prueba de Kruskal Wallis (Variable número de hojas)

T	N	Me	D.E	M	H	p
Control	15	4.67	0.49	5	23.52	<0.0007
Etanol 4%	15	4.47	0.92	4		
Higuierilla 3%	15	4.73	0.59	5		
Higuierilla 5%	15	5.73	0.96	6		
Orégano 3%	15	6.07	1.75	6		
Orégano 5%	15	5.87	1.55	6		
Ruda 3%	15	4.73	0.80	5		
Ruda 5%	15	5.27	1.22	5		

Trat.	Ranks
Etanol 4%	39.57 A
Control	47.33 A
Ruda 3%	48.47 A
Higuierilla 3%	49.40 A
Ruda 5%	62.60 A B
Higuierilla 5%	78.53 B
Orégano 5%	79.00 B
Orégano 3%	79.10 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Raíces sanas

Dentro de la prueba de comparación de rangos de Kruskal Wallis, se obtuvieron los siguientes resultados de esta investigación que presenta la Tabla 5.

Tabla 5. Prueba de Kruskal Wallis (Variable raíces sanas, g.)

T	N	Me	D.E	M	H	p
Control	15	70.28	27.20	72.47	74.81	<0.0001
Etanol 4%	15	87.67	9.98	87.50		
Higuerilla 3%	15	83.50	17.87	88.20		
Higuerilla 5%	15	88.81	41.17	88.30		
Orégano 3%	15	179.44	12.89	182.6		
Orégano 5%	15	190.49	31.86	184.9		
Ruda 3%	15	133.78	44.63	123.5		
Ruda 5%	15	133.18	37.61	138.94		

Trat	.Ranks
Control	26.87 A
Higuerilla 3%	35.27 A
Etanol 4%	37.70 A
Higuerilla 5%	40.93 A
Ruda 5%	70.97 B
Ruda 3%	72.47 B
Orégano 3%	98.10 C
Orégano 5%	101.70 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Los resultados en los distintos tratamientos manejados en el ensayo son estadísticamente diferentes donde muestran que el T. con un mayor peso de raíces sanas es orégano 3 y 5% que es significativamente diferente a los demás tratamientos. Si bien los T. de orégano 3%, ruda 3% y 5% también presentan valores notorios en cuanto a la variable medida, con diferencias significativas en comparación a demás tratamientos, pero estadísticamente los T oréganos son iguales entre sí. Por otro lado en el T.c se puede evidenciar un valor estadísticamente bajo, lo que sugiere un efecto negativo en cantidad de masa total de raíces sanas.

En un estudio señalado por Mena Palacios et al., (2020) concluye que la importancia de la actividad biológica del orégano no se limita a su capacidad antioxidante, lo que permite que los metabolitos secundarios fomenten la protección celular debido a la presencia de fenoles (timol y carvacrol), sino también a su habilidad para inhibir el crecimiento de microorganismos patógenos que, a su vez, provocan la muerte celular. Donde se concuerda con los datos de la variable raíces sanas que estadísticamente es mayor con el T. orégano aplicado, a diferencia de los demás tratamientos.

Raíces afectadas

Los resultados presentados en la Tabla 6, se observa con detalle la comparación de rangos de cada tratamiento en relación a la variable estudiada.

T	N	Me	D.E	M	H	p
Control	15	124.57	42.29	128.32	54.62	0.0001
Etanol 4%	15	49.11	6.44	48.70		
Higuerilla 3%	15	113.22	10.00	112.85		
Higuerilla 5%	15	122.41	32.99	118.88		
Orégano 3%	15	78.22	32.79	89.90		
Orégano 5%	15	95.84	26.90	102.25		
Ruda 3%	15	70.91	42.94	64.12		
Ruda 5%	15	107.79	31.44	92.80		

Tabla 6. Prueba de Kruskal Wallis (Variable raíces afectadas, g.)

Trat.	Ranks
Etanol 4%	15.80 A
Ruda 3%	36.53 A B
Orégano 3%	47.93 B C
Orégano 5%	63.27 C
Ruda 5%	70.73 C D
Control	80.47 D
Higuerilla 3%	84.50 D
Higuerilla 5%	84.77 D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

La evaluación realizada en el ensayo, resaltó que el tratamiento higuerilla 3% y 5%, con uno de los valores más altos en cuanto a la variable raíces afectadas, respectivamente, resaltaron los tratamientos siendo estadísticamente iguales; como los T. mas relevantes con un menor índice de raíces afectadas fueron etanol 4%, frente a los demás tratamientos son estadísticamente diferentes. Donde los T. higuerilla 3% y 5% y control no son significativamente diferentes entre si.

Raíces muertas

Los resultados derivados a partir del análisis de datos bajo la prueba de Kruskal Wallis se presentan en la Tabla 7. Misma que muestra información de la variable estudiada.

Tabla 7. Prueba de Kruskal Wallis (Variable raíces muertas)

T	N	Me	D.E	M	H	p
Control	15	49.91	21.28	42.20	43.24	>0.0001
Etanol 4%	15	26.99	7.94	25.30		
Higuerilla 3%	15	52.70	18.64	52.80		
Higuerilla 5%	15	44.28	32.81	45.21		
Orégano 3%	15	29.33	11.70	25.60		
Orégano 5%	15	44.85	27.85	42.65		
Ruda 3%	15	31.68	15.29	25.28		
Ruda 5%	15	62.87	11.39	58.40		

Trat.	Ranks
Etanol 4%	35.37 A
Orégano 3%	36.97 A B
Ruda 3%	41.47 A B
Higuerilla 5%	58.17 A B C
Orégano 5%	60.83 B C
Control	73.47 C D
Higuerilla 3%	80.00 C D
Ruda 5%	97.73 D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Se puede observar que existe diferencia significativa en al menos un tratamiento, donde nos indica los diferentes grupos de significancia de acuerdo a letra y/o combinaciones de letras. Donde el tratamiento con mayor valor de raíces muertas es el extracto etanólico de ruda 5%, que es estadísticamente diferente a los demás tratamientos. Tenemos al tratamiento alcohol 4% donde presenta valores bajos en cuanto a la variable estudiada y es estadísticamente diferente a los demás T.

Índice de clorofila 3 hoja

Los resultados obtenidos en el Tabla 8 muestran que el índice de clorofila más alto se presenta en los tratamientos orégano 3% e higuerilla 5% donde estos (T) muestran un follaje de color verde muy intenso en las plantas de plátano.

Tabla 8. Prueba de Kruskal Wallis (Variable índice de clorofila en tercera hoja)

T	N	Me	D.E	M	H	p
Control	15	38.33	3.55	38.90	33.8	>0.0001
Etanol 4%	15	34.68	4.88	36.00		
Higuerilla 3%	15	37.87	2.11	38		
Higuerilla 5%	15	41	4.60	40.40		
Orégano 3%	15	44.98	6	48.50		
Orégano 5%	15	40.79	4.28	39.80		
Ruda 3%	15	38.21	2.34	39		
Ruda 5%	15	39.71	2.87	40.10		

Trat.	Ranks
Etanol 4%	29.90 A
Higuerilla 3%	45.47 A B
Ruda 3%	50.27 A B
Control	52.23 A B
Ruda 5%	67.47 B C
Orégano 5%	67.70 B C
Higuerilla 5%	80.87 C
Orégano 3%	90.10 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Según Rodolfo Cervantes Alava et al. (2019) afirma que la clorofila está influenciada por fuentes externas y al cultivar de plátanos (Musa AAB) esto disminuye cuando ocurre un ataque o infección en las hojas. Sin embargo, en el ensayo existió diferencias significativas entre los distintos tratamientos que obtuvieron valores distintos de clorofila. Por otro lado, el T. control presentó un valor bajo del nivel de clorofila, considerando este contexto la salud de las plantas se ve reflejado con su proceso de fotosíntesis.

Índice de clorofila 4 hoja

La medición del índice SPAD se realizó al final del ensayo con la ayuda del equipo SPAD (Soil Plant Analysis Development), donde los niveles de clorofila, se logró observar una significancia estadística a un nivel de confiabilidad del 5%. Esta verificación propone con una confianza superior al 95% que los tratamientos repercutieron de manera diferente en los niveles de clorofila de las plantas de plátano. Donde podemos observar la Tabla 9.

Tabla 9. Prueba de Kruskal Wallis (Variable índice de clorofila en cuarta hoja)

T	N	Me	D.E	M	H	p
Control	15	39.28	3.52	40.10	40.06	0.0001
Etanol 4%	15	35.63	3.65	35.50		
Higuerilla 3%	15	39.53	1.19	39.9		
Higuerilla 5%	15	41.96	5.38	41.50		
Orégano 3%	15	42.80	3.65	41		
Orégano 5%	15	45.81	6.46	49.20		
Ruda 3%	15	39.05	2.13	39.5		
Ruda 5%	15	40.87	2.66	41.7		

Trat.	Ranks
Etanol 4%	24.20 A
Ruda 3%	45.47 A B
Higuerilla 3%	49.37 B
Control	51.67 B C
Ruda 5%	69.27 B C D
Higuerilla 5%	74.60 C D
Orégano 3%	80.40 D
Orégano 5%	89.03 D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Acevedo et al., (2013) se refiere a los componentes de carvacrol y timol del orégano pueden ayudar a las plantas a producir más clorofila. Se ha descubierto que estos elementos afectan positivamente el crecimiento y el desarrollo de las plantas, incluida la síntesis de clorofila, que es esencial para la fotosíntesis y, por lo tanto, para la salud de las plantas. Donde el mejor tratamiento fue el orégano. Es importante tener en cuenta que estos estudios se enfocan principalmente en el impacto de estos compuestos en la actividad biológica en general, no específicamente en su relación con el proceso de clorofila. Para comprender completamente los mecanismos exactos por los cuales el timol y el carvacrol pueden afectar la síntesis y el funcionamiento de la clorofila en las plantas, se necesitan más investigaciones.

En la presente investigación lo que sugiere un efecto negativo en el desarrollo y proceso de fotosíntesis de las plantas de plátano, es el efecto de fitotoxicidad en hojas de las plantas de dichos tratamientos tal como se muestra en la Figura 8. Cabe mencionar que en el tratamiento de ruda 5% se observó una fitotoxicidad leve, a diferencia de los tratamientos de higuerilla en los cuales se presentó más severa.



Figura 8. *Plantas afectadas por fitotoxicidad.*

Nematodos Fitoparásitos

En cantidad poblacional de nematodos, a un nivel de probabilidad del 5% indico significancia estadística con un p-valor ($p < 0,05$). Por lo tanto, al observar en el laboratorio de la FCA las muestras de raíces, el tratamiento higuierilla 5% exhibió un valor menor de población de nematodos de los distintos géneros, donde indica la eficacia del mismo, a comparación de los distintos tratamientos que es significativamente diferente de los demás. Como también los T. higuierilla 5 - 3% y orégano al 5% son estadísticamente diferentes de los demás tratamientos, pero iguales entre sí, como podemos observar en la Tabla 10.

Tabla 10. Prueba de Kruskal Wallis (Cantidad poblacional de nematodos en 100 g. de raíz).

Variable	Tratamientos	N	Media	D.E	Medianas	H	p
Nematodos totales	Etanol 4%	15	18773.33	3975.54	18400.00	93.01	<0.0001
Nematodos totales	Control	15	29120.00	3035.79	29600.00		
Nematodos totales	Higuierilla 3%	15	10560.00	2887.61	10400.00		
Nematodos totales	Higuierilla 5%	15	9386.67	3045.81	8800.00		
Nematodos totales	Orégano 3%	15	17026.67	4370.59	18400.00		
Nematodos totales	Orégano 5%	15	11786.67	2483.62	11200.00		
Nematodos totales	Ruda 3%	15	22986.67	3696.69	22400.00		
Nematodos totales	Ruda 5%	15	20000.00	2804.08	19200.00		

Trat.	Ranks	
Higuierilla 5%	19.13	A
Higuierilla 3%	25.53	A
Orégano 5%	32.17	A
Orégano 3%	60.40	B
Etanol 4%	69.50	B C
Ruda 5%	76.03	B C
Ruda 3%	90.00	C D
Control	111.23	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

También podemos observar que los T. orégano 3% y T. control son significativamente diferentes a los demás, donde el T. c. presento un número elevado de cantidad poblacional de nematodos, siendo evidente que en el mismo no hubo aplicación de ningún extracto. Por otro lado, no obstante, los valores presentes en la tabla contradicen lo opuesto por Quevedo et al. (2015), donde los extractos de ruda reducen la población de nematodos a mayor cantidad aplicada de dosis del mismo en el suelo. Sin embargo, es importante considerar que los extractos a base de ruda pueden ejercer un efecto fitotóxico en las plantas tratadas, por lo que se debe tener precaución en las dosis.

Arboleda et al. (2012) en su investigación indica sobre el uso de aceites de *Ricinus cummunis* Linneo, en el control del nematodo barrenador fue muy efectiva al trabajar al 100% de la concentración con la aplicación de 2ml, misma que concuerdan con la presente investigación donde se trabajó con el extracto de los frutos al 3 y 5%, donde demostraron una mayor mortalidad de nematodos estadísticamente.

Conclusiones

Los resultados derivados de los distintos tratamientos en la presente investigación, indican un enfoque detallado y diferenciado de como los tratamientos evaluados demostraron la existencia y no existencia de diferencias significativas estadísticamente en las distintas variables evaluadas. Donde el tratamiento orégano 5% generó los mejores resultados en la variable altura de planta, fuste del pseudotallo e índice de clorofila. En cuanto a la variable número de hojas, raíces sanas, índice de clorofila en la tercera y cuarta hoja, el tratamiento orégano 3 y 5% demostraron ser más efectivos en dichas variables evaluadas en plantas de plátano.

El tratamiento higuierilla 5% demostró ser el más efectivo en el control de nematodos, tomando en cuenta que el T. control, mismo que presentó un valor estadísticamente alto de cantidad poblacional de nematodos, donde del T.c se observó mayor cantidad de raíces afectadas. También en raíces muertas el T. etanol 4% presentó un valor estadístico bajo, no obstante en el tratamiento ruda 5% presentó el mayor número de raíces muertas.

Referencias

1. Álvarez, E., Pantoja, A., Gañán, L., & Ceballos, G. (2013). Estado del arte y opciones de manejo de moko y sigatoka negra en América latina y el caribe. In Ciat - Fao (p. 41). [https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/54408/Estado del arte.pdf?sequence=1](https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/54408/Estado%20del%20arte.pdf?sequence=1)
2. Baazeem, A., Alorabi, M., Darwesh, H., Alotaibi, S. S., El-Deen, A. N., Iqbal, S., & Naqvi, S. A. H. (2022). Biological control of Root-knot nematode (*Meloidogyne javanica*) by potential antagonism of endophytic fungi isolated from Taify roses. *Journal of King Saud University - Science*, 34(8), 102329. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.102329>
3. Elbehri, A., Calberto, G., Staver, C., Hospido, A., Roibas, L., Skully, D., Siles, P., Arguello, J., Sotomayor, I., & Bustamante, A. (2015). Cambio climático y sostenibilidad del banano

- en el Ecuador: Evaluación de impacto y directrices de política. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/3/i5116s/i5116s.pdf>
4. Huamani, E. (2022). "Extractos vegetales para el control del nematodo nodulador de la raíz *Meloidogyne incognita*, Kofoid y White 1919, Chitwood 1949". <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/5461/huamanti-cllahuanaco-edgar.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
 5. Jaramillo, J., Vintimilla, M., Rubio, D., Soto, G., Tobar, M., Salas, E., & Araya, M. (2019). Effect of nematicide rotation on banana (*Musa AAA cv. Williams*) root nematode control and crop yield. *Agronomía Colombiana*, 37(2), 169–181. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v37n2.79099>
 6. Luna-Romero, A., Ramírez, I., Sánchez, C., Conde, J., Agurto, L., & Villaseñor, D. (2018). Spatio-temporal distribution of precipitation in the Jubones river basin, Ecuador: 1975–2013. *Scientia Agropecuaria*, 9(1), 63–70. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.07>
 7. Miranda, P. (2021). Interacciones multitróficas reguladas por hongos entomopatógenos para la protección sostenible de cultivos. <https://helvia.uco.es/bitstream/handle/10396/21274/2021000002217.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
 8. Mwamula, A. O., Kabir, M. F., & Lee, D. (2022). A Review of the Potency of Plant Extracts and Compounds from Key Families as an Alternative to Synthetic Nematicides: History, Efficacy, and Current Developments. *Plant Pathology Journal*, 38(2), 53–77. <https://doi.org/10.5423/PPJ.RW.12.2021.0179>
 9. Navas, J. de D., Jarma, A. de Jesús, Caballero, E., & Rodríguez, L. (2022). Nematodos fitopatógenos asociados al cultivo de plátano (*Musa AAB Simmonds*) clon Hartón en el Alto Sinú, Córdoba (Issue February). https://www.researchgate.net/profile/Luis-Rodriguez-Paez/publication/358676075_Nematodos_fitopatogenos_asociados_al_cultivo_de_platan_o_Musa_AAB_Simmonds_clon_Harton_en_el_Alto_Sinu_Cordoba/links/620eac976c472329dcef2ece/Nematodos-fitopatogenos-asociados-a

10. Pacheco Hernández, M. de L., Reséndiz Martínez, J. F., & Arriola Padilla, V. J. (2019). Organismos entomopatógenos como control biológico en los sectores agropecuario y forestal de México : una revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10(56), 1–32. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i56.496>
11. Valencia, R., Guzmán, O., Villegas, B., & Castaño, J. (2014). Manejo integrado de nematodos fitoparásitos en almácigos de plátano dominico hartón (Musa AAB SIMMONDS). *Luna Azul*, 39, 165–185. http://200.21.104.25/lunazul/downloads/Lunazul39_11.pdf
12. Viera-Arroyo, W. F., Tello-Torres, C. M., Martínez-Salinas, A. A., Navia-Santillán, D. F., Medina-Rivera, L. A., Delgado-Párraga, A. G., Perdomo-Quispe, C. E., Pincay-Verdezoto, A. K., Báez-Cevallos, F. J., Vásquez-Castillo, W. A., & Jackson, T. (2020). Control Biológico: Una herramienta para una agricultura sustentable, un punto de vista de sus beneficios en Ecuador. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 8(2), 128–149. <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2020.080200128>
13. Abou, K., Assi, A. B., Guillén, J., Labarca, J., Casassa Padrón, A. M., Paredes, C., Casanova, M., & Sandoval, L. (2009). Nematodos fitoparasíticos asociados al cultivo del plátano (Musa AAB) cv. Hartón) en bosque seco tropical Plant-parasitic nematodes present in the crop of plantain (Musa AAB cv. Hartón) in tropical dry forest. *Revista UDO Agrícola*, 9(1), 199–207.
14. Acevedo, D., Navarro, M., & Monroy, L. (2013). Composición química del aceite esencial de hojas de orégano (*Origanum vulgare*). *Información Tecnológica*, 24(4), 43–48. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000400005>
15. Arboleda, F. de J., Guzman, Ó. A., & Mejía, L. F. (2012). Efecto de extractos cetónicos de higuera (*Ricinus communis* Linneo.) sobre el nematodo barrenador [*Radopholus similis* (Cobb.) Thorne] en condiciones in vitro. *Revista Luna Azul*, 35, 28–47. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-24742012000200003
16. Cervantes Alava, A. R., Beatriz Sánchez-Urdaneta, A., & Beatriz Colmenares de Ortega, C. (2019). Efecto de las aplicaciones de fungicidas comerciales sobre el contenido de clorofila en el cultivo de banano (Musa AAA). *Revista Científica Agroecosistemas*, 7(3), 45–49. https://www.researchgate.net/publication/341462945_ARTICULO_EFECTO_DE_LAS_

APLICACIONES_DE_FUNGICIDAS_COMERCIALES_EN_LA_CLOROFILA#fullTextFileContent

17. Lopez Nicora, H., Soilán Duarte, L. C., Caballero Mairesse, G. G., Grabowski Ocampos, C. J., & Enciso Maldonado, G. A. (2022). Manual de nematología agrícola, bases y procedimientos. In Manual de nematología agrícola, bases y procedimientos. Universidad San Carlos. <https://doi.org/10.53997/dfxa5914>
18. Mena Palacios, C., Silva López, B., & Medina, A. (2020). Composición química y actividad biológica de los aceites esenciales de lamiaceas, asteraceas, vervenaceas: una revisión. *InfoANALÍTICA*, 48–69. <https://doi.org/10.26807/ia.vi.177>
19. Quevedo, O., Crozzoli, R., & Perichi, G. (2015). Uso de extractos acuosos y etanólicos de plantas para el control de *Meloidogyne enterolobii* (nematoda: Tylenchida). https://www.researchgate.net/publication/267408350_USO_DE_EXTRACTOS_ACUOSOS_Y_ETANOLICOS_DE_PLANTAS_PARA_EL_CONTROL_DE_MELOIDOGYNE_ENTEROLOBII_NEMATODA_TYLENCHIDA?enrichId=rgreq-b5fb433706f5498c350f31deab08262d-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI2NzQwODM1MDtBUzoyMjgyMjE4MzI2NTg5NDRAMTQzMTQyMzczMzEzOA%3D%3D&el=1_x_3&_esc=publicationCoverPdf
20. Silva Marrufo, O., & Marín Tinoco, R. I. (2022). Sustituto de fungicidas químicos sintéticos con aceite esencial de orégano para el control del *Fusarium oxysporum*. *Gestión y Ambiente*, 24(Supl3), 73–80. <https://doi.org/10.15446/ga.v24nsupl3.95526>
21. Steling, J., Crozzoli, R., Grceo, N., & Perichi, G. (2018). Uso de la Ruda (*Ruta graveolens*) para el control del nematodo agallador, *Meloidogyne incognita*, en pepino. https://www.researchgate.net/publication/328368995_Uso_de_la_Ruda_Ruta_graveolens_para_el_control_del_nematodo_agallador_Meloidogyne_incognita_en_pepino