



Identificación molecular de *Meloidogyne* spp. asociados al cultivo de banano (*Musa* spp.) en Tumbes, Perú

Molecular identification of *Meloidogyne* spp. associated with banana (*Musa* spp.) cultivation in Tumbes, Peru

Jesus Moreto-Aguirre¹; Alberto Ordinola-Zapata²; Tessa Peralta-Ortiz²; Gloria Ochoa Mogollón¹
Enedia Vieyra-Peña²; Pedro Masías²; Jalmer Campaña-Olaya¹; Héctor Sánchez-Suárez^{1*}

1 Universidad Nacional de Tumbes. Facultad de Ciencias Agrarias. Corrales, Tumbes, Perú.

2 Universidad Nacional de Tumbes. Facultad de Ingeniería Pesquera y Ciencias del Mar. Calle Los Ceibos S/N. Puerto. Pizarro, Tumbes, Perú.

* Autor corresponsal: hsanchezs@untumbes.edu.pe (H. Sánchez-Suárez).

ORCID de los autores:

J. Moreto-Aguirre: <https://orcid.org/0000-0003-4698-0078>

T. Peralta-Ortiz: <https://orcid.org/0000-0001-5907-7713>

E. Vieyra-Peña: <https://orcid.org/0000-0001-6541-7075>

J. Campaña-Olaya: <https://orcid.org/0000-0002-0804-1208>

A. Ordinola-Zapata: <https://orcid.org/0000-0002-9644-0531>

G. Ochoa Mogollón: <https://orcid.org/0000-0003-4698-0078>

P. Masías: <https://orcid.org/0000-0001-5173-8409>

H. Sánchez-Suárez: <https://orcid.org/0000-0003-2395-5056>

RESUMEN

La presencia de nematodos agalladores en las plantas aumenta su susceptibilidad a infecciones, ya que estos daños facilitan el ataque de otros agentes patógenos. El objetivo de este estudio fue determinar taxonómicamente la presencia del nematodo *Meloidogyne* y la especie predominante en los cultivos de banano en departamento de Tumbes. Se recorrieron las principales zonas bananeras, áreas paralelas al río, recolectando hembras grávidas extraídas de las raíces de banano para identificación molecular, se realizó el conteo de nematodos en el suelo y las raíces de algunas áreas, para la extracción de ADN se utilizó el kit Presto™ Soil DNA Extraction Kit (Geneaid) y la amplificación se realizó con primers específicos para el género *Meloidogyne* y cinco de sus especies: *M. incognita*, *M. javanica*, *M. enterolobii*, *M. arenaria*, y *M. hapla*. Las muestras recolectadas mostraron una alta prevalencia de *Meloidogyne* en todas las áreas. Ocho resultaron positivas para *M. incognita* y ninguna para otras especies, este estudio, es uno de los primeros informes de *Meloidogyne* asociado al banano (*Musa* spp.), en Tumbes, destaca la presencia *M. incognita*, conocida por su capacidad parasitaria y causar de daños económicos, permitiendo el diagnóstico prematuro para ejecutar planes de contingencia en zonas bananera.

Palabras clave: Nematodo agallador; *Meloidogyne*; Fitoparásito; identificación molecular; masa de huevos; hembras grávidas.

ABSTRACT

The presence of root-knot nematodes in plants increases their susceptibility to infections, since this damage facilitates the attack of other pathogens. The objective of this study was to taxonomically determine the presence of the nematode *Meloidogyne* and the predominant species in banana crops in the department of Tumbes. The main banana growing areas, areas parallel to the river, were visited, collecting pregnant females extracted from banana roots for molecular identification, the main banana growing areas, areas parallel to the river, were visited, collecting pregnant females extracted from banana roots for molecular identification. Nematodes were counted in the soil and roots of some areas. The Presto™ Soil DNA Extraction Kit (Geneaid) was used for DNA extraction and amplification was performed with specific primers for the genus *Meloidogyne* and five of its species: *M. incognita*, *M. javanica*, *M. enterolobii*, *M. arenaria*, and *M. hapla*. The samples collected showed a high prevalence of *Meloidogyne* in all areas. Eight were positive for *M. incognita* and none for other species. This study, one of the first reports of *Meloidogyne* associated with banana (*Musa* spp.) in Tumbes, highlights the presence of *M. incognita*, known for its parasitic capacity and cause of economic damage, allowing early diagnosis to execute contingency plans in banana areas.

Keywords: Root-knot nematode; *Meloidogyne*; Phytoparasite; molecular identification; egg mass; gravid females.

Recibido: 18-11-2024.

Aceptado: 02-03-2025.



Esta obra está publicada bajo la licencia [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

INTRODUCCIÓN

El cultivo de banano (*Musa* spp.) representa una de las actividades agrícolas más importantes y de mayor impacto económico en diversas regiones tropicales del mundo y en el Perú (Sousa et al., 2024; Van den houwe et al., 2020), especialmente en los departamentos de la costa Norte, el banano constituye una fuente crucial de ingresos para numerosos agricultores y comunidades, 90 000 ha en Tumbes, dedicada esencialmente a la agricultura, donde más de 6000 agricultores se dedican al cultivo, predominantemente de arroz junto con banano, maíz y otras frutas (Marshall et al., 2018). Sin embargo, el cultivo enfrenta diversos desafíos fitosanitarios que amenazan su productividad y sostenibilidad. Entre estos, los nematodos del género *Meloidogyne* (Sousa et al., 2024), conocidos comúnmente como nematodo agallador, se destacan por su capacidad de causar severos daños a las raíces de las plantas, resultando en pérdidas significativas en el rendimiento y calidad de los frutos de este y otros cultivos en el Perú (Lima-Medina et al., 2024).

Meloidogyne spp. comprende una amplia diversidad de especies y biotipos que poseen distintas adaptaciones y mecanismos de parasitismo, lo que complica su manejo y control efectivo en los cultivos (Lopes et al., 2019), como el nematodo nodulador de las raíces o nematodo de las agallas, *Meloidogyne* spp., que afecta la rentabilidad de dichos cultivos (Ramos, 2023), representan el grupo de mayor importancia económica entre los nematodos fitoparásitos (Lima-Medina et al., 2018), prevalecen en regiones templadas y tropicales, predominando en los sistemas agrícolas de subsistencia (Seenivasan & Senthilnathan, 2018), son devastadores para la calidad y el rendimiento de los cultivos (Olajide et

al., 2023). La caracterización molecular de estos nematodos es rápida y es fundamental para entender su distribución, diversidad genética y relación con el cultivo de banano (Van den houwe et al., 2020). A través de herramientas moleculares, es posible identificar con precisión las especies presentes, evaluar su variabilidad genética y desarrollar estrategias de manejo integradas y sostenibles. No se han identificado molecularmente estas especies en el departamento de Tumbes, pero si están reportadas las especies de dichos nematodos en otros cultivos de casi todos los departamentos del país (Flores-Choque et al., 2017).

La caracterización molecular de *Meloidogyne* spp. asociados al cultivo de banano mediante reacción en cadena de la polimerasa (PCR) (Mullis et al., 1986), permite analizar su diversidad genética, siendo una herramienta imprescindible para: el manejo fitosanitario de éstos patógenos (Vera Obando, 2014), la comprensión de su impacto en la salud del cultivo, la identificación de especies de patógenos específicas y su distribución. Es además una herramienta útil en el diseño de programas para la implementación de estrategias de manejo efectivas (Coyne et al., 2007), permitiendo un uso racional del manejo agronómico y la utilización adecuada de sustancias controladoras evitando la contaminación ambiental y la eliminación de fauna y flora benéfica del suelo (Calle et al., 2017), contribuyendo de esa manera a la sostenibilidad y productividad del cultivo de banano.

El objetivo fue aplicar conocimientos y técnicas de biología molecular para caracterizar rápida de las especies de nematodos *Meloidogyne* asociadas al cultivo de banano, con el fin de generar contribuir al diagnóstico y manejo de estos fitopatógenos.

METODOLOGÍA

Zonas de muestreo

El estudio se llevó a cabo en campos agrícolas dedicados al cultivo de banano (*Musa* spp.), distribuidos en la costa del departamento de Tumbes, norte de Perú, los cuales cubren 2500 ha. Las muestras se recolectaron de la mayoría de localidades productoras de banano en Tumbes. Se recolectaron en total 76 muestras que abarcaron la margen izquierda (de Rica Playa a Cerro Blanco) y derecha (de Becerra a Cruz Blanca) del río Tumbes, así como la margen izquierda del río Zarumilla (de Tutumo a Uña de Gato). Las ubicaciones precisas de los puntos de muestreo se observan más adelante en la Figura 1 y Tabla 2. Las zonas donde se recogieron las muestras están influenciadas por diversos ecosistemas y factores climáticos (Marengo et al., 2014), como el bosque seco (Barboza et al., 2022), el bosque semi húmedo en su parte alta (Zarumilla) (Contrera López et al., 2012) y en la parte media y baja de ambos márgenes del río Tumbes. También es afectado periódicamente por ENSO (El Niño-Oscilación del Sur) niño global y niño costero (Pécastaing et al., 2024), afectando todos los ecosistemas y cultivos

(Marengo et al., 2014). Otro factor que afecta el cultivo de banano es la temporada de estiaje del río Tumbes ya que la mayoría de los cultivos se encuentran condicionados por el río, lo que cambia las condiciones del hábitat de los organismos asociados al banano.

Recolección de muestras de raíces de banano infestadas por nematodos

Se recolectaron 0,5 kg de raíces de banano (*Musa* spp.) que mostraron sintomatología compatible con infestación por nematodos. El muestreo fue manual y dirigido; se excavó un hoyo de 20 x 20 x 20 cm cerca de la base del pseudotallo del banano sin fruto, hasta encontrar raíces con síntomas sospechosos de nematodos (Calle et al., 2017). Las raíces fueron llevadas, manteniendo las condiciones adecuadas para su conservación, hasta el Laboratorio de Entomología de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Tumbes (UNTUMBES), para realizar el aislamiento de los nematodos, basado en la morfología única de las hembras grávidas *Meloidogyne* spp. y el lugar donde parasita (Jaramillo-Pineda et al., 2015).

Identificación molecular de las especies de nematodos

Se realizó en el Laboratorio de Biología Molecular de la Facultad de Ingeniería Pesquera y Ciencias del Mar de la UNTUMBES, siguiendo la metodología descrita por Carvalho et al. (2019) y Schloss et al. (2009), que de manera resumida se indica a continuación: Con una aguja de disección se aisló 5 nematodos hembras adultas las cuales fueron lavadas y desinfectadas con agua destilada (5% de hipoclorito de sodio) y almacenadas en un tubo de microcentrifuga de 1,5 ml (Karajeh et al., 2010) y suspendidas en etanol al 99% hasta su procesamiento. Las muestras de las hembras colectadas, se retiraron del etanol al 99% y se centrifugaron por 1 minuto a 10 000 rpm, luego se recuperó el sobrenadante, que fue macerado para poder realizar la extracción (Karajeh et al., 2010) de su ADN empleando Presto™ Soil DNA Extraction Kit (Geneaid) siguiendo las instrucciones del fabricante. Se realizó una amplificación del ADN mediante la técnica de reacción en cadena de la polimerasa (PCR) empleando los primers que se detallan en la Tabla 1. Las reacciones de PCR se realizaron en un volumen final de 25 µl en un termociclador con un procesamiento térmico consistente en un ciclo inicial de desnaturalización a 94 °C por 5 minutos, seguido de 35 ciclos de amplificación (desnaturalización: 94 °C por 1 minuto y 30 segundos, extensión: 68 °C por 2

minutos), y un ciclo final de extensión a 68 °C por 5 minutos. La confirmación de los productos de la PCR se hizo mediante electroforesis en gel de agarosa 1,5% (Skantar et al., 2008) a 90 voltios por 15 minutos. Las bandas resultantes se visualizaron bajo luz UV (Mutala'iah et al., 2019). Las ampliaciones se enviaron para su secuenciación al extranjero mediante una empresa de la localidad, que dio tal servicio. Las secuencias nucleótidas recibidas, se analizaron para determinar su calidad con el software FastQC 0.11.9, luego se recortaron las porciones de los extremos 5' y 3' de las secuencias, en las que hubo calidad demasiado baja, usando el software Chromas 2.6.6. Las secuencias se alinearon y se obtuvieron secuencias consenso utilizando el software MEGA-7. Se realizó la búsqueda, utilizando las secuencias consenso, en la base de datos de GenBank, perteneciente al Centro Nacional para la Información Biotecnológica (NCBI), para lo cual se empleó la aplicación en línea Basic local alignment and search tool (BLAST) disponible en la dirección: <https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>. Los resultados de la búsqueda, establecieron la identificación de los ejemplares a nivel de especie. Finalmente se calcularon los porcentajes de diversidad y abundancia de las especies identificadas con los softwares Mothur y Excel (Schloss et al., 2009).

Tabla 1
Secuencia de los primers utilizados para amplificación

Especie	Código de primers	Secuencia de los primers 5' A 3'	Tamaño del fragmento (pb)	Reference
<i>Meloidogyne</i> spp.	MF	GGGGATGTTTGAGGCAGATTTG	500	(Blaxter et al., 1998)
	MR	AACCGCTTCGGACTTCCACCAG		
<i>Meloidogyne incognita</i>	Mi-F	GTGAGGATTCAGTCCCCAG	900	(Xu et al., 2004)
	Mi-R	ACGAGGAACATACTTCTCCGCTCC		
<i>Meloidogyne javanica</i>	Fjav	GGTGCGCGATTGAACTGAGC	700	(Zijlstra et al., 2000)
	Rjav	CAGGCCCTTCAGTGGAACTATAC		
<i>Meloidogyne enterelobii</i>	Me-F	AACTTTTGTGAAAGTGCCGCTG	256	(Dong et al., 2001)
	Me-R	TCAGTTCAGGCAGGATCAACC		
<i>Meloidogyne hapla</i>	Me-F	TGACGGCGGTGAGTGCGCA	610	(Zijlstra et al., 2000)
	Me-R	TGACGGCGGTACCTCATAG		
<i>Meloidogyne arenaria</i>	Ma-F	TCGAGGGCATCTAATAAAGG	950	(Dong et al., 2001)
	Ma-R	GGGCTGAATATCAAAGGAA		

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Distribución de los nematodos en las zonas muestreadas

Estos nematodos prefieren climas cálidos y húmedos, típicos de las regiones donde se cultiva el banano (Sousa et al., 2024), aunque pueden sobrevivir en diferentes tipos de suelo, prefieren suelos bien drenados y ricos en materia orgánica (Romero et al., 2019), las zonas bananeras irrigadas son especialmente propensas a infestaciones de *Meloidogyne* debido a la mayor disponibilidad de agua, que favorece el desarrollo y dispersión de los nematodos (Guzmán-Piedrahita et al., 2023), el monocultivo y las prácticas agrícolas intensivas

pueden aumentar la densidad de la población de nematodos en el suelo, ya que estas condiciones proporcionan un suministro constante de raíces de banano (Olajide et al., 2023), El hábitat del *Meloidogyne* asociado al cultivo de banano es el suelo alrededor de las raíces de las plantas de banano en regiones tropicales y subtropicales, particularmente en suelos bien drenados, arenoso y áreas agrícolas irrigadas (Lima-Medina et al., 2024; Nithya Devi et al., 2023; Silva et al., 2024), condiciones que se presentan en nuestra región propicias para que esté presente este nematodo en todas las zonas de muestreo.

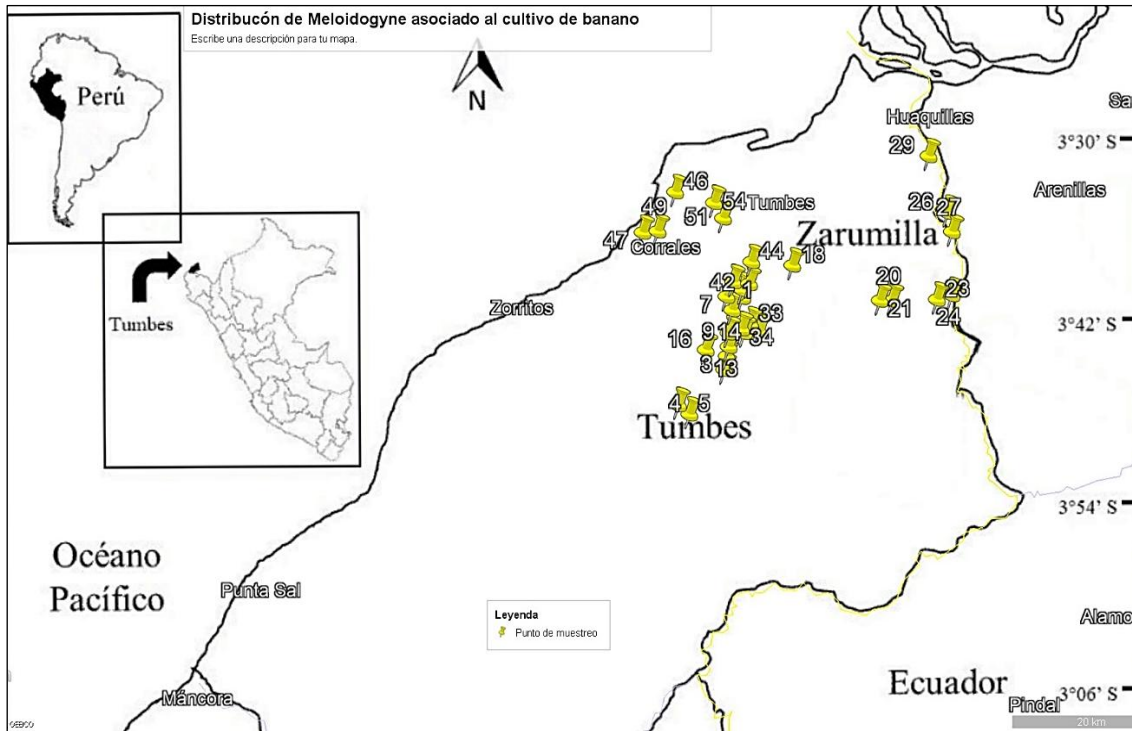


Figura 1. Puntos de muestreo de recolección de hembras de zonas bananeras de Tumbes (aplicación Google Earth. Puntos obtenidos UTM GEO MAP. <https://play.google.com/store/apps/details?id=info.yogantara.utmgeomap&hl=en>)

Tabla 2
Puntos de muestreo de recolección de hembras de zonas bananeras de Tumbes

Punto	Localidad	Muestra genómica	Latitud	Longitud
1	PT_Rica_Playa_1	5	-3.813128322	-80.49788799
3	PT_Rica_Plata_3	4	-3.80289353	-80.51038105
4	PT_Higueton4	11	-3.764981528	-80.45872137
5	PT_Carretas_5	3	-3.740060688	-80.45370899
6	PT_Casa_Blanqueada_6	13	-3.740060688	-80.45370899
7	PT_Oidor_7	9	-3.725413104	-80.45374788
8	PT_Vaqueria_8	14	-3.700352961	-80.44964645
9	PT_Franco_9	7	-3.685637133	-80.45580111
11	PT_La_Peña_11	1	-3.669894878	-80.44825237
15	PT_15_Cerro_Blanco	16	-3.653092015	-80.4017318
16	PT_p16_Cerro_blanco	18	-3.652208684	-80.382035
18	PT_18_El_Tutumo	21	-3.690952297	-80.28446764
19	PT_19_Tutumo	20	-3.6912682	-80.27107478
21	PT_21_la_totora	23	-3.690021828	-80.22041783
22	PT_22_mata_palo	24	-3.685224592	-80.20380154
23	PT_26_Pueblo_nuevo	27	-3.616495959	-80.20316854
27	PT_27_La_coja	26	-3.595733267	-80.20791572
30	PT_30_el_limon	31	-3.725066157	-80.4363903
31	PT_31_cabuyal	33	-3.721123936	-80.43952011
31	PT_31_cabuyal	34	-3.723055068	-80.45323826
33	PT_33_Becerra	36	-3.723709818	-80.41975893
34	PT_34_Pampas_de_Hospital	38	-3.686924606	-80.43821186
35	PT_35_santa_Maria_PH	40	-3.67845997	-80.43814816
36	PT_36_Cruz_blanca	42	-3.671941219	-80.43048039
37	PT_37_las_brujas	44	-3.648147023	-80.42785451
40	PT_40_Estreros	46	-3.571984584	-80.51243998
41	PT_41_la_jota	47	-3.615694572	-80.54914098
42	PT_42_Los_Cedros	49	-3.614310294	-80.53234767
42	PT_42_Los_Cedros	50	-3.614310294	-80.53234767
43	PT_43_San_Jose	55	-3.561448528	-80.46435468
44	PT_44_Rio_Viejo	54	-3.583946004	-80.46918064
45	PT_45_corrales	51	-3.600672856	-80.45920786

Identificación de nematodos del género *Meloidogyne*

En los muestreos realizados inicialmente, se observó que en la mayoría de puntos de muestreo se hallaron nematodos *Meloidogyne* spp., como se evidencia en la Figura 2; de igual manera, en los muestreos finales también se observó con mucha frecuencia ese género; como se observa en las figuras 2 y 3, en las que se aprecia la presencia de bandas luminosas producidas por amplicones con un tamaño de alrededor de 500 pb compatibles con el tamaño de fragmento esperado para la amplificación usando los primers MF y MR, que son específicos para el género *Meloidogyne* (Tabla 1). El hallazgo de nematodos *Meloidogyne* spp. en las zonas estudiadas fue de esperar, puesto que, en cultivos de banano realizados en zonas geográficas cercanas al departamento de Tumbes, también se han detectado; como en el caso del departamento de Piura (Holguin, 2018) y en la provincia de El Oro (Ecuador) (Calle et al., 2017). La presencia de *Meloidogyne* en cultivos de banano que se reporta en esta investigación está en coherencia con estudios realizados en otras localidades, en las que también se ha hallado este género de nematodos habitando alrededor de las

raíces de plantas de banano en regiones tropicales y subtropicales, estando particularmente presentes en suelos bien drenados, arenoso y áreas agrícolas irrigadas (Lima-Medina et al., 2024; Nithya Devi et al., 2023; Silva et al., 2024); condiciones que se presentan en el departamento de Tumbes y que son propicias para que esté presente este nematodo en todas las zonas de muestreo.

Identificación de nematodos de ciertas especies de *Meloidogyne*

De las cinco especies de *Meloidogyne*: *M. incognita*, *M. javanica*, *M. enterlobii*, *M. hapla* y *M. arenaria*, que se intentaron detectar; solo la primera fue identificada en ocho de las muestras (20, 21, 24, 40, 42, 44, 46 y 54), como se observa en la figura 4, en la que se aprecia bandas luminosas correspondientes a amplicones de alrededor de 900 pb compatibles con el tamaño de fragmento esperado para *Meloidogyne incognita* (Tabla 1) identificado en la base de dato de National Center for Biotechnology Information (NCBI) con ID: gi|1808524156|MN728679.1. y ID: gi|815932471|KP253749.1, Cobertura (99%) Identidad (97% a 98,11%).

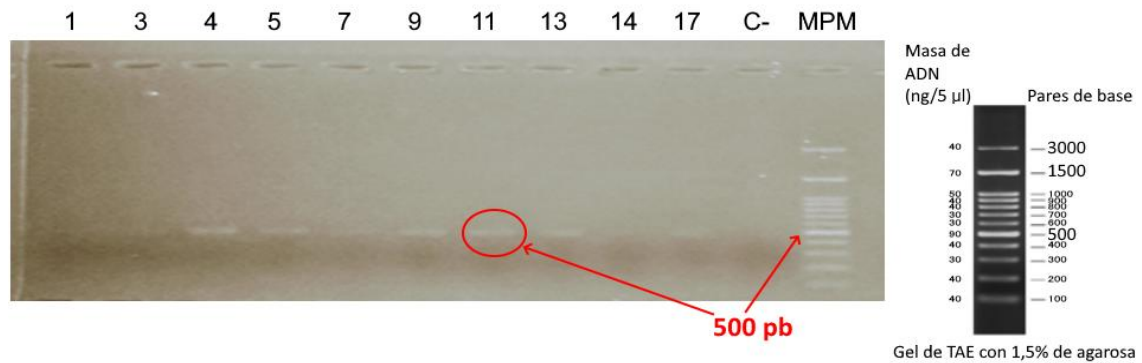


Figura 2. Amplificación de un fragmento de ADN que identificó a individuos del género *Meloidogyne* en puntos de muestreo iniciales.

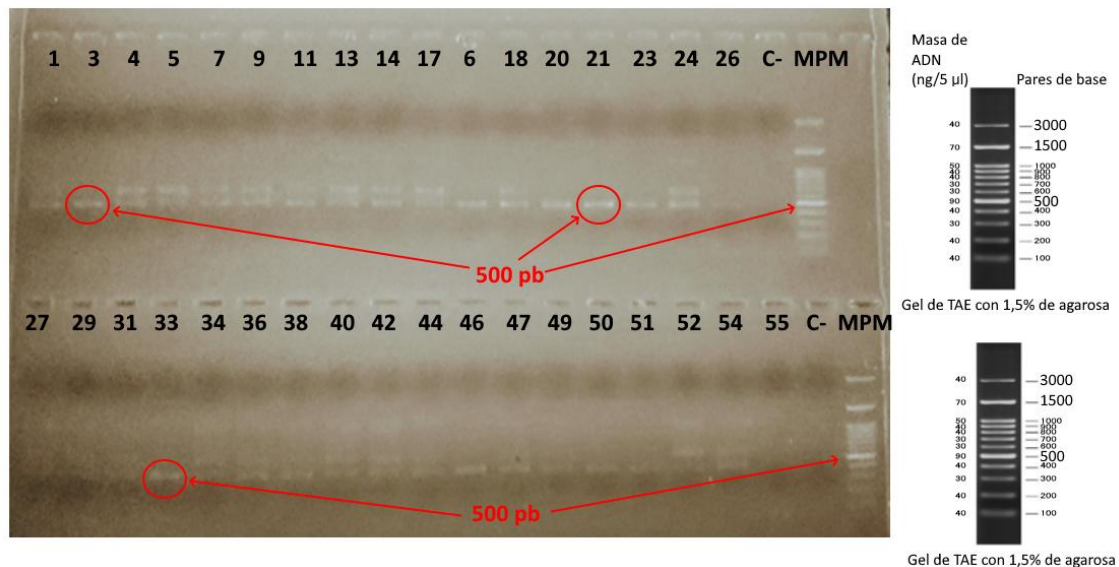


Figura 3. Amplificación de un fragmento de ADN que identificó a individuos del género *Meloidogyne* en muestreo finales.

La presencia de *Meloidogyne incognita* en cultivos de banano, corresponde al primer reporte de tal especie en el departamento de Tumbes, puesto que luego de hacer la revisión de la literatura científica, no se ha encontrado ningún documento que acredite la presencia de tal especie. *M. incognita* es una de las cuatro especies más importantes de nematodos agalladores, debido a su amplia distribución a nivel mundial y por afectar a muchos tipos de cultivos, esta especie ha sido una de las primeras identificadas en Ecuador en 1974 (Calle et al., 2017). Dada la cercanía geográfica de Ecuador al departamento de Tumbes, era de esperar que en la zona también pudiera existir tal especie de nematodo, aunque hasta la fecha no había sido reportada.

Por otra parte, en el caso de las especies *M. hapla*, *M. enerelobii*, *M. arenaria* y *M. javanica* no se pudo identificar ejemplares de las mismas, pero dado que en la mayoría de muestras se detectó nematodos del género *Meloidogyne*, lo que podría sugerir la presencia de especies diferentes a las cinco que se intentaron determinar en esta investigación (Mullis et al., 1986; Romero et al., 2019; Skantar et al., 2008).

Distribución de nematodos *Meloidogyne* y efecto en las raíces del banano

Meloidogyne estuvo presente en todos los cultivos de banano muestreado en las diferentes zonas de Tumbes, solo *M. incognita*, se identificó en tres zonas de Tumbes: Zona alta (entre el Tutumo y Matapalo), zona media (entre Pampas de Hospital, Cruz Blanca, Las Brujas (zona media, margen derecho del río Tumbes) y zona baja de Tumbes sector Río Viejo y Pampa de la Gallina.

La identificación rápida y precisa de estos microorganismos es esencial para el manejo y mejoramiento óptimo de los cultivos (Artavia-Carmona & Peraza-Padilla, 2020). Esto solo es posible mediante estudios regulares y exhaustivos

de la detección de las poblaciones de especies de *Meloidogyne* en las áreas agrícolas de cada región. El estudio mostró un ligero daño a las raíces del banano por parte del nematodo agallador en cultivos de dicha planta en la margen izquierda del río Tumbes. En zonas más alejadas, como Rica Playa y Tutumo, se encontraron menores cantidades de nematodos. Posiblemente hay una relación entre el suelo arenoso y la presencia de nematodos agalladores, así como la presencia de hembras en raíces, pues se ha observado un menor daño con una mayor cantidad de hembras grávidas (Jaramillo-Pineda et al., 2015).

Entre las especies encontradas, *Meloidogyne incognita* es la que ha reportado mayores daños y pérdidas económicas (Gorny et al., 2019; Nithya Devi et al., 2023), posiblemente debido a la presión y respuesta que han dado lugar a la aparición de biotipos virulentos de esta especie, capaces de reproducirse en los cultivos comerciales establecidos en campo (Lopes et al., 2019). Esta especie tiene una amplia distribución geográfica, adaptándose a diferentes ambientes (Seenivasan & Senthilnathan, 2018). Se estima que es un patógeno emergente que se ha distribuido rápidamente en todo el mundo, causando pérdidas en la producción de hortalizas, como el tomate, de hasta un 70% (Pérez et al., 2017).

La presencia de *Meloidogyne* en Tumbes puede estar relacionada con las características del tipo de suelo y las condiciones climáticas de cada área muestreada (Guzmán-Piedrahita et al., 2023). La mayoría de los cultivos de banano se encuentran en zonas cercanas al río, donde los sistemas agrícolas mantienen una humedad constante, facilitando el movimiento rápido de los nematodos hacia sus plantas hospedadoras, esto les permite penetrar y reproducirse rápidamente dentro de las raíces, lo que conduce al incremento de sus poblaciones en el campo (Sousa et al., 2024).

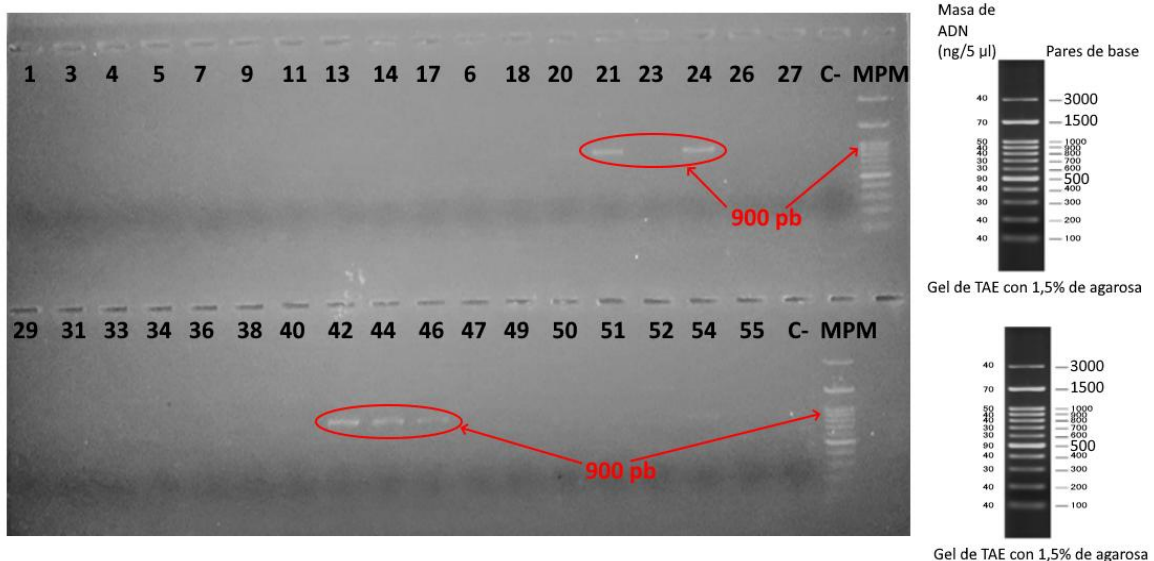


Figura 4. Amplificación de ADN de los puntos de muestreo finales para *Meloidogyne incognita*.

La alta prevalencia e incidencia de estos nematodos supone un riesgo potencial en la producción de cultivos de interés económico, en las zonas bananeras de Tumbes, en la Tabla 3 se muestra la cantidad de nematodos *Meloidogyne* presentes en la raíz (Figura 5 d, e y f) y suelo del cultivo del banano (Sousa et al., 2024), considerándose que en la mayoría de puntos de muestreo se aprecia una baja cantidad de estos (Salazar-Antón & Guzmán-Hernández, 2013a),

también se debe considerar que no necesariamente el daño de la raíz (Figura 5 a, b y c) (Guzmán-Piedrahita et al., 2023), está asociado directamente a otras condiciones bióticas y abióticas, ya que este daño (Figura 5 e y f), está ligado a la presencia de otros patógenos como son bacterias, virus y hongos que ingresan por el daño inicial que causa el *Meloidogyne*, el cual predispone a daños posteriores (Guzmán-Piedrahita et al., 2023).

Tabla 3

Estado de raíces y presencia de nematodos *Meloidogyne* en raíz y suelo de puntos aleatorios del muestreo

Punto	Área (ha)	Escala Nódulos	Cantidad de nematodos <i>Meloidogyne</i> spp	
			100 g de raíz	100 g de suelo
PT_30_el_limon	1,0	2	100	733
PT_33_Becerra	0,5	2	100	533
PT_31_cabuyal b	1,0	1	150	367
PT_31_cabuyal	1,0	3	500	3 367
PT_33_Becerra b	1,0	1	133	367
PT_34_Pampas_de_Hospital	1,0	1	100	133
PT_Vaqueria_8 a	1,0	2	200	3 167
PT_Vaqueria_8	1,0	3	433	8 300
PT_Oidor_7	1,0	1	433	900
PT_37_las_brujas	1,0	2	500	1 700
PT_36_Cruz_blanca	1,0	3	567	800
PT_35_santa_Maria_PH	1,0	3	700	1 333

Estado de daño de raíz de menor a mayor de 1 a 5. Índice de Nódulos Radicales (INR) (escala 1=0, 2=1 a 25, 3=26 a 50, 4=51 a 75 y 5=76 a 100% del sistema radical agallado estos (Salazar-Antón & Guzmán-Hernández, 2013).

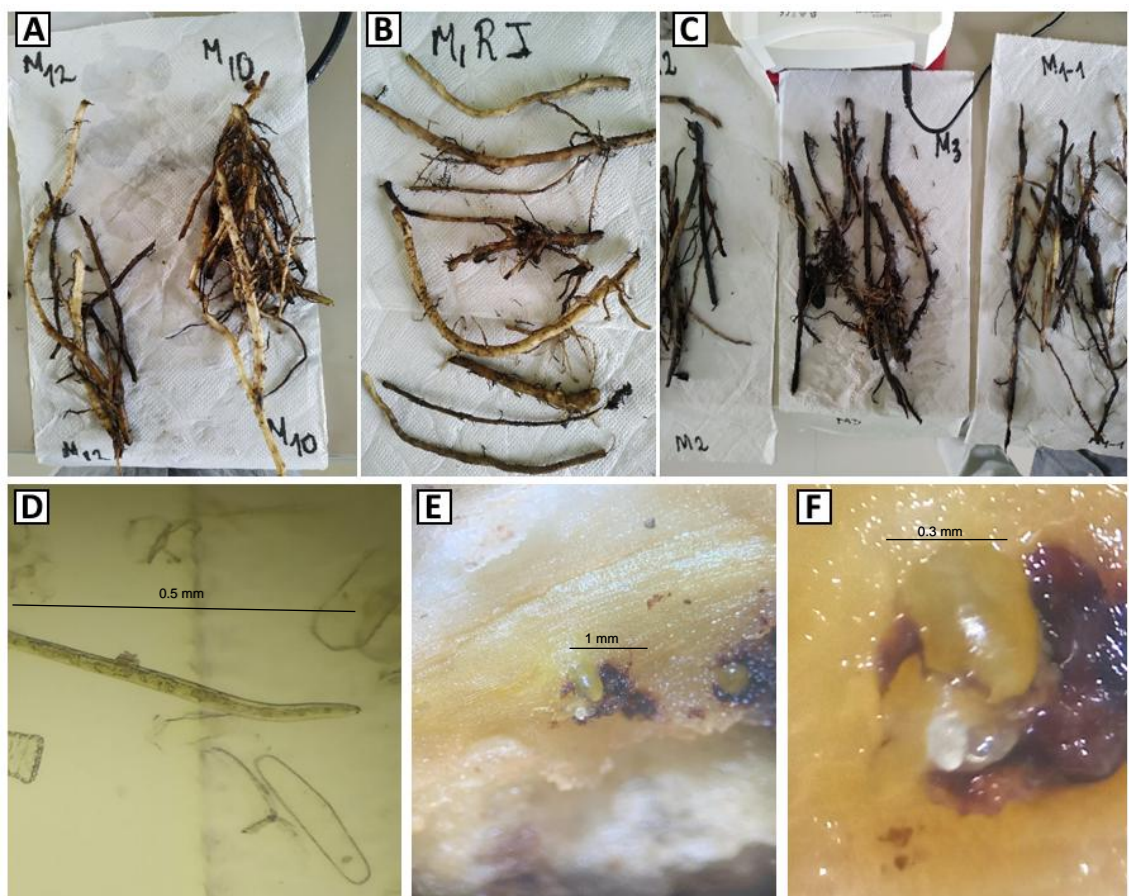


Figura 5. Raíces de plantas de banano con diferentes índices de nódulos radicales (A, B y C), Imágenes de nematodo juvenil (D) y hembra grávidas y masa de huevos de *Meloidogyne* (E y F).

CONCLUSIONES

En el departamento de Tumbes, se observa una alta prevalencia de nematodos del género *Meloidogyne* en todas las áreas bananeras. La presencia de *Meloidogyne* incognita es motivo de preocupación, debido a las características altamente parasitarias de esta especie. Este estudio representa uno de los primeros informes de *Meloidogyne* asociado al cultivo de banano en Tumbes y el primero respecto a la presencia de *M. incognita* en el mismo

departamento. La identificación de estas especies puede realizarse de manera fiable mediante la técnica molecular de la PCR utilizando primers específicos para el género y para ciertas especies en. La información obtenida en esta investigación puede servir como base para formular y diseñar estrategias de control contra estos patógenos en el departamento.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de Tumbes por el apoyo realizado a la presente investigación a través del Proyecto financiado con fondos de Canon y Sobrecanon titulado: "Caracterización molecular de especies del " Nematodo de las agallas" *Meloidogyne* y prospección de hongos y bacterias

con capacidad nematocida en los principales cultivos de Tumbes 2019" Aprobado mediante Resolución Resolución N° 097-2022/UNTUMBES-CU

A la Ing. Ruth Gutiérrez Rivas por su valioso aporte en la extracción de nematodos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Artavia-Carmona, R., & Peraza-Padilla, W. (2020). identificación morfológica, morfométrica y molecular de *Meloidogyne exigua* (Göeldi 1887) en café (*Coffea arabica*). *Agronomía Mesoamericana*, 31(3), 531-545. <https://doi.org/10.15517/AMV31I3.38733>
- Barboza, E., Salazar, W., Gálvez-Paucar, D., Valqui-Valqui, L., Saravia, D., Gonzales, J., Aldana, W., Vásquez, H. V., & Arbizu, C. I. (2022). Cover and Land Use Changes in the Dry Forest of Tumbes (Peru) Using Sentinel-2 and Google Earth Engine Data. *Environ. Sci. Proc.*, 22(1), 2.
- Blaxter, M. L., De Ley, P., Garey, J. R., Llu, L. X., Scheldeman, P., Vierstraete, A., Vanfleteren, J. R., Mackey, L. Y., Dorris, M., Frisse, L. M., Vida, J. T., & Thomas, W. K. (1998). A molecular evolutionary framework for the phylum Nematoda. *Nature*, 392, 6671. <https://doi.org/10.1038/32160>
- Calle, P. C., Gonza, J. G., Gordova, S. C., Moretti, E. M., & Núñez, K. N. (2017). Manejo integrado de nematodos del cultivo de banano orgánico en Tumbes. *Revista Peruana de Entomología*, 52(1 & 2), 27-38.
- Carvalho, V. R. de, Wilcken, S. R. S., Wilcken, C. F., Castro, B. M. de C. e., Soares, M. A., & Zanuncio, J. C. (2019). Technical and economic efficiency of methods for extracting genomic DNA from *Meloidogyne javanica*. *Journal of Microbiological Methods*, 157, 108-112. <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2018.12.022>
- Contrera López, M., Erazo Cedeño, T., Bello Pinargote, E., Cevallos Zambrano, J., & Solís Rodríguez, C. (2012). Potencialidades como indicador de cambio climático para Manabí. *La Técnica*, 8, 30-38.
- Coyne, D. L., Nicol, J. M., & Claudius-Cole, B. (2007). Nematología práctica: Una guía de campo y laboratorio.
- Dong, † K, Dean, R. A., Fortnum, B. A., & Lewis, S. A. (2001). Development of pcr primers to identify species of root-knot nematodes: *Meloidogyne arenaria*, m. hapla, m. incognita and m. javanica. *Nematropica*, 31(2), 271-280.
- Flores-Choque, Y., Bravo Portocarrero, R., Lima Medina, I., & Machaca Calsin, C. (2017). Prospección de Nematodos Fitoparasitos en cultivo de Papa (*Solanum Tuberosum* L.) de la Región Puno. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 19(1), 11-20. <https://doi.org/10.18271/RIA.2017.251>
- Gorny, A. M., Wang, X., Hay, F. S., & Pethybridge, S. J. (2019). Development of a species-specific PCR for detection and quantification of *meloidogyne* hapla in soil using the 16D10 root-knot nematode effector gene. *Plant Disease*, 103(8), 1902-1909. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-18-1539-RE>
- Guzmán-Piedrahita, O. A., Zamorano-Montañez, C., Leguizamón-Caycedo, J., Castro-Cañedo, B. L., & Lopez-Nicora, H. D. (2023). Effect of *Radopholus similis*, *Pratylenchus araucensis*, *Meloidogyne* spp. And their interaction on *Musa* AAB 'Dominico Hartón' seedlings. *Journal of Nematology*, 55(1). <https://doi.org/10.2478/JOFNEM-2023-0054>
- Jaramillo-Pineda, J., Guerrero-Olazarán, M., Antonio Fuentes-Garibay, J., María Viader-Salvado, J., Lorenzo Meza-García, J., Hortencia Morales-Ramos, L., & Morales-Ramos, M.-G. J. (2015). Identification of *Meloidogyne* species by sequencing of internal transcribed spacer regions of ribosomal DNA of juvenile stages. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 33(1), 1-11.
- Karajeh, M., Abu-Gharbieh, W., & Masoud, S. (2010). DNA Extraction and PCR-Based Diagnosis of the Root-Knot Nematodes (*Meloidogyne* Species and Races) of Jordan. *Jordan Journal of Agricultural Sciences*, 6(3), Article 3.
- Lima-Medina, I., Araujo-Lima, E., Bravo-Portocarrero, R. Y., Cornejo-Condori, G. B., Franco-Mariaca, D. V., & Casa-Coila, V. H. (2024). *Bioagro*, 36(2), 193-202. <https://doi.org/10.51372/BIOAGRO362.7>
- Lima-Medina, I., Bravo, R. Y., & Aguilar-Gomez, M. I. (2018). Nematodos fitoparasitos asociados al cultivo de Maiz (*Zea mays* L.) en las regiones de Puno y Cusco. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 20(1), 31-38. <https://doi.org/10.18271/RIA.2018.328>
- Lopes, C. M. L., Cares, J. E., Perina, F. J., Nascimento, G. F., Mendonça, J. S. F., Moita, A. W., Castagnone-Sereno, P., & Carneiro, R. M. D. G. (2019). Diversity of *Meloidogyne incognita* populations from cotton and aggressiveness to *Gossypium* spp. Accessions. *Plant Pathology*, 68, 816-824. <https://doi.org/10.1111/ppa.12991>
- Marengo, J. A., Sc, C., Torres, R. R., Giarella, A., Alves, L. M., & Lyra, A. (2014). Climate change in Central and South America: Recent trends, future projections, and impacts on regional agriculture. <https://cgspage.cgiar.org/items/ea71a811-e3f7-4335-83a3-471e8a94604f>
- Marshall, B. G., Veiga, M. M., Kaplan, R. J., Adler Miserendino, R., Schudel, G., Bergquist, B. A., Guimarães, J. R. D., Sobral, L. G. S., & Gonzalez-Mueller, C. (2018). Evidence of transboundary mercury and other pollutants in the Puyango-Tumbes River basin, Ecuador-Peru. *Environmental Science: Processes and Impacts*, 20(4), 632-641. Scopus. <https://doi.org/10.1039/c7em00504k>
- Mullis, K., Faloona, F., Scharf, S., Saiki, R., Horn, G., & Erlich, H. (1986). Specific enzymatic amplification of DNA in vitro: The polymerase chain reaction. *Cold Spring Harbor symposia on quantitative biology*, 51, 263-273. <https://doi.org/10.1101/SQB.1986.051.01.032>
- Mutalaliyah, Indarti, S., & Wibowo, A. (2019). Short Communication: The prevalence and species of root-knot nematode which infect on potato seed in Central Java, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 20(1), 11-16. <https://doi.org/10.13057/BIODIV/D200102>
- Nithya Devi, A., Ponnuswami, V., & Sundararaju, P. (2023). Host Response of Indian *Musa* Genotypes to Root-knot Nematode, *Meloidogyne incognita*. *Indian Journal of Nematology*, 53(2), 186-190. <https://doi.org/10.5958/0974-4444.2023.00021.5>
- Olajide, E., Kolombia, Y. A., Amah, D., Couvreur, M., Swennen, R., Coyne, D., Cortada, L., & Bert, W. (2023). First Report of the Root-Knot Nematode *Meloidogyne enterolobii* Parasitizing Plantain (*Musa* spp. AAB) in Nigeria. *Plant Disease*, 107(3), 970. <https://doi.org/10.1094/PDIS-06-22-1350-SC>
- Pécastaing, N., Cortez, J., & Salavarriga, J. (2024). The effects of El Niño events on mangrove-dependent populations' income in Peru. *Ocean & Coastal Management*, 257, 107322. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2024.107322>
- Pérez, F., Cruz, D., Poma, E., & Cadena, F. (2017). Densidad poblacional de nematodos en el cultivo del café (*Coffea arabica* L.). Alto Lima-Caranavi. *Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 4(1), 53-59.
- Romero B. M., Macías C. G., Fasío C. A., Rojas, C. M., Hernández Rubio, J. S., & Duarte, O. J. D. D. (2019). Identificación y distribución de

- especies de *Meloidogyne* en Baja California Sur, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(2), 337-349. <https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V10I2.1603>
- Salazar-Antón, W., & Guzmán-Hernández, T. de J. (2013). Efecto de poblaciones de *Meloidogyne* sp. En el desarrollo y rendimiento del tomate. *Agronomía Mesoamericana*, 24(2), 419-426.
- Schloss, P. D., Westcott, S. L., Ryabin, T., Hall, J. R., Hartmann, M., Hollister, E. B., Lesniewski, R. A., Oakley, B. B., Parks, D. H., Robinson, C. J., Sahl, J. W., Stres, B., Thallinger, G. G., Van Horn, D. J., & Weber, C. F. (2009). Introducing mothur: Open-source, platform-independent, community-supported software for describing and comparing microbial communities. *Applied and environmental microbiology*, 75(23), 7537-7541. <https://doi.org/10.1128/AEM.01541-09>
- Seenivasan, N., & Senthilnathan, S. (2018). Effect of humic acid on *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White) Chitwood infecting banana (*Musa* spp.). *International Journal of Pest Management*, 64(2), 110-118. <https://doi.org/10.1080/09670874.2017.1344743>
- Silva, E. M. da, Koroiva, R., Ferreira, R. J., do Nascimento, D. D., Peixoto Fernandes, J. P., Damasceno Neves, B. C., Filho, A. C. de A., Gomes, R. F., de Almeida, N. T. B., Paiva Negreiros, A. M., Vargas, P. F., Bezerra, L. R. F. C., Silveira, L. M. da, de Sousa Nunes, G. H., & Martins Soares, P. L. (2024). First report of *Meloidogyne javanica* infecting *Thymus vulgaris* in the state of São Paulo, Brazil. *Crop Protection*, 185, 106876. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2024.106876>
- Skantar, A. M., Carta, L. K., & Handoo, Z. A. (2008). Molecular and Morphological Characterization of an Unusual *Meloidogyne arenaria* Population from Traveler's Tree, *Ravenala madagascariensis*. *Journal of Nematology*, 40(3), 179.
- Sousa, A. B. P., Rocha, A. de J., Oliveira, W. D. dos S., Rocha, L. de S., & Amorim, E. P. (2024). Phytoparasitic Nematodes of *Musa* spp. With Emphasis on Sources of Genetic Resistance: A Systematic Review. *Plants*, 13(10), 1299. <https://doi.org/10.3390/PLANTS13101299>
- Van den houwe, I., Chase, R., Sardos, J., Ruas, M., Kempnaers, E., Guignon, V., Massart, S., Carpentier, S., Panis, B., Rouard, M., & Roux, N. (2020). Safeguarding and using global banana diversity: A holistic approach. *CABI Agriculture and Bioscience*, 1(1), 1-22. <https://doi.org/10.1186/S43170-020-00015-6>
- Ramos, S. L. (2023). Efecto de un inoculante biológico y microorganismos eficientes en mezcla con un antagonista y un hongo entomopatógeno para el control de *Meloidogyne* spp., y *Pratylenchus* sp., en banano orgánico en Tumbes. Tesis título profesional de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Tumbes.
- Vera Obando, N. Y. (2014). Técnica molecular de PCR para identificar las principales especies de *Meloidogyne* spp. En poblaciones provenientes de Perú. Tesis Magister Scientiae en Fitopatología. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Xu, M., Yang, X., Yang, X. A., Zhou, L., Liu, T. Z., Fan, Z., & Jiang, T. (2004). PCR Assays for Rapid and Sensitive Identification of Three Major Root-Knot Nematodes, *Meloidogyne incognita*, *M. javanica* and *M. arenaria*. *Acta Phytopathologica Sinica*, 34(3), 204-210. <https://doi.org/10.1007/S13238-016-0264-7>
- Zijlstra, C., Donkers-Venne, D. T. H. M., & Fargette, M. (2000). Identification of *Meloidogyne incognita*, *M. javanica* and *M. arenaria* using sequence characterised amplified region (SCAR) based PCR assays. *Nematology*, 2(8), 847-853.
- Rong, L., Zhang, S., Wu, Z., & Sun, W. (2020). Effects of different fertilization modes on rice yield and quality under a rice-crab culture system. *PLoS ONE*, 15(3). <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0230600>
- Zhu, W., Zeng, K., Tian, Y., & Yin, B. (2023). Achieving the Simultaneous Improvement of Rice Yield and Quality Using an Improved Fertilization Method in Southern China. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23(2), 2053-2065. <https://doi.org/10.1007/S42729-023-01161-2>