



RESEARCH ARTICLE



Characterization of *Meloidogyne* spp. and population density of phytoparasitic nematodes associated with alliaceae crops in the Arequipa region, Peru

Caracterización de *Meloidogyne* spp. y densidad poblacional de nematodos fitoparásitos asociados a cultivos de aliáceas en la región Arequipa, Perú

Victor Alexi Peralta-Ccayahuallpa¹ ; Victor Hugo Casa-Coila^{1*} ; Israel Lima-Medina² ; Luis Alberto Cuadros-Fernández¹ ; Dennis Geoffrey Macedo-Valdivia¹ 

¹ Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú.

² Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Perú.

* Corresponding author: vcasac@unsa.edu.pe (V. H. Casa-Coila).

Received: 15 December 2023. Accepted: 5 May 2024. Published: 13 May 2024.

Abstract

Alliaceae crops includes several species of agricultural importance for the Arequipa region, among them the onion is the most produced in the country, however, these crops are affected by phytoparasitic nematodes, including *Meloidogyne* spp. which causes significant losses in the yield. The aim of the present study was to characterise the root-knot nematode (*Meloidogyne* spp) and determine the population density of phytoparasitic nematodes in alliaceae crops in the main producing localities of the Arequipa region. Samples of roots and soil were collected in onion, chinese onion, leek and chives crops in the provinces of Arequipa, Castilla, Caylloma and Islay. The identification of nematode genus was found by morphological characteristics and the characterization of *Meloidogyne* were performed by perineal patterns and electrophoretic pattern of esterase (Est). In the 38 soil samples, different genus of plant-parasitic nematodes was found: *Aphelenchus*, *Dorylaimus*, *Helicotylenchus*, *Hemicycliophora*, *Meloidogyne*, *Mesocriconema*, *Mononchus*, *OGMA*, *Pratylenchus*, *Rotylenchus*, *Tylenchus*, *Xiphinema* and free-living nematodes, in root samples, eight populations of *Meloidogyne* spp. were found. distributed among three species: (1) *M. incognita* phenotype Est I1, Rm: 1.0 with 33.33% of frequency and Est I2, Rm: 1.03, 1.07 (50%); (2) *M. javanica* Est J3, Rm: 1.03, 1.24, 1.37 (16.67%) and an atypical species named *Meloidogyne* sp. Rm: 0.85 (33.33%). The identification of genus and species phytoparasitic nematodes in alliaceae will allow the adoption of more efficient integrated management measures, because have a distinct parasitism behavior.

Keywords: Root-knot nematodes; esterase (Est); perineal pattern, phytoparasitic nematodes.

Resumen

Cultivo de aliáceas comprenden diversas especies de importancia agrícola para la región Arequipa, entre ellas la cebolla es la de mayor producción en el país, sin embargo, estos cultivos son afectados por nematodos fitoparásitos entre ellas *Meloidogyne* spp. que ocasiona pérdidas significativas en la producción. El objetivo del presente estudio fue caracterizar al nematodo de las agallas (*Meloidogyne* spp) y determinar la densidad poblacional de nematodos fitoparásitos en cultivos de aliáceas en las principales localidades productoras de la región Arequipa, se colectaron muestras de raíces y suelo de cultivos de cebolla, cebolla china, poro y cebollín en las provincias de Arequipa, Castilla, Caylloma e Islay. La identificación de los géneros de nematodos se hizo mediante características morfológicas y la caracterización de *Meloidogyne* se hizo mediante patrones perineales y por padrón electroforético de esterasa (Est). En las 38 muestras de suelo se encontraron doce géneros de nematodos fitoparásitos: *Aphelenchus*, *Dorylaimus*, *Helicotylenchus*, *Hemicycliophora*, *Meloidogyne*, *Mesocriconema*, *Mononchus*, *OGMA*, *Pratylenchus*, *Rotylenchus*, *Tylenchus*, *Xiphinema* y nematodos de vida libre, en muestras de raíces, se encontraron ocho poblaciones de *Meloidogyne* spp. distribuidas en tres especies: (1) *M. incognita* fenotipo Est I1, Rm: 1.0 con 33,33% de frecuencia y Est I2, Rm: 1.03, 1.07 (50%); (2) *M. javanica* Est J3, Rm: 1.03, 1.24, 1.37 (16,67%) y una especie atípica denominada *Meloidogyne* sp. Rm: 0.85 (33,33%). La identificación de géneros y especies de nematodos fitoparásitos en aliáceas, permitirá adoptar medidas de manejo integrado más eficientes, debido a que poseen un comportamiento de parasitismo distinto.

Palabras clave: Nemátodo de las agallas; esterasa (Est); patrón perineal; nematodos parásitos.

DOI: <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2024.022>

Cite this article:

Peralta-Ccayahuallpa, V. A., Casa-Coila, V. H., Lima-Medina, I., Cuadros-Fernández, L. A., Macedo-Valdivia, D. G. (2024). Caracterización de *Meloidogyne* spp. y densidad poblacional de nematodos fitoparásitos asociados a cultivos de aliáceas en la región Arequipa, Perú. *Scientia Agropecuaria*, 15(2), 289-299.

1. Introducción

Dentro de la familia de las aliáceas destaca principalmente el género *Allium*, entre las más comunes se encuentran: *A. cepa* (cebolla), *A. sativum* (ajo), *A. ampeloprasum* (puerro), *A. schoenoprasum* (cebollino), *A. fistulosum* (cebolla galesa o cebolla china) y *A. ursinum* (ajo silvestre o ajo de oso) (Vuković et al., 2023). El centro de origen de la mayoría de estas especies se extiende desde la cuenca mediterránea hasta Asia central y son fuentes ricas en flavonoides, compuestos organosulfurados y saponinas con efectos beneficiosos para la salud humana (Soldatenko et al., 2021). Estas hortalizas son caracterizadas por bulbos y hojas que representan una parte significativa del mercado hortícola, tanto en términos de productos frescos como procesados (Pagano et al., 2023), destacando la cebolla que ocupa el tercer lugar en términos de superficie cosechada a nivel mundial, solo superada por la papa y el tomate (DAPRO, 2020) con una producción mundial para el año 2020 de 115,24 millones de toneladas según datos de la FAO (2023). En Perú la cebolla es la aliácea que se consume mayormente en la región de la costa (Apcho et al., 2017) teniendo una producción en el año 2022 de 503 161 toneladas (SIEA, 2023). Otras de las aliáceas de mayor consumo son la cebolla china y el poro con producciones durante el año 2021 de 26000 y 19000 toneladas respectivamente. La región Arequipa es la principal productora de cebolla a nivel nacional con un 59,4% de la producción total, así como también ocupa el segundo lugar a nivel nacional en producción de poro con un 17,5% y en menor escala la cebolla china con un 5,9% del total de la producción nacional (SIEA, 2023).

Las aliáceas son afectadas por una serie de plagas que afectan su producción y calidad, entre ellas se tiene la presencia de nematodos fitoparásitos, que es uno de los mayores factores limitantes en la producción de estos cultivos. Respecto a la producción de los diferentes cultivos agrícolas afectados por nematodos fitoparásitos se estima pérdidas de entre 80 y 118 mil millones de dólares anuales a nivel mundial (Yadav et al., 2023). Siendo uno de los principales géneros de nematodos fitoparásitos de amplia distribución geográfica *Meloidogyne* (nematodo de las agallas) el cual tiene una amplia gama de hospedantes y afecta un gran número de cultivos (Maleita et al., 2022), ocasionando un crecimiento atrofiado, excoiación de las raíces, retraso del crecimiento, clorosis, marchitez prematura y una reducción general del crecimiento de la planta (Rawal, 2020).

El manejo de este nematodo es más difícil en comparación con otras plagas porque viven en el suelo y atacan las raíces de las aliáceas. Por ello, están directamente asociados a las raíces y el suelo (Faruk, 2019), posicionándose como una de las principales amenazas para la producción mundial de estos cultivos y causan pérdidas considerables (Nimgarri et al., 2023). Por ende, se le considera un género destructivo, con efectos devastadores y es más frecuente donde las temperaturas oscilan entre 18 y 27 °C, desde regiones templadas a tropicales del mundo (Rawal, 2020).

Dentro de este género, las especies relacionadas a cultivos hortícolas de acuerdo con su importancia y abundancia en Turquía son *M. incognita* con mayor incidencia seguido de *M. javanica*, quien se presentó en menor incidencia (Gürkan & Çetintaş, 2024), mientras que en Portugal *Meloidogyne incognita* y *M. javanica* resultaron ser las especies más prevalentes, seguidas por *M. arenaria* y *M. hapla* (Rusique et al., 2023). También se encontraron a especies de *Meloidogyne incognita* y *M. javanica* asociados a cultivos de cebolla en trabajos realizados en Puerto Rico (Nydia & Carbonell, 2012).

Otros géneros de nematodos fitoparásitos asociados a cultivos de aliáceas en cebolla son *Helicotylenchus*, *Boleodorus*, *Filenchus*, *Aphelenchus*, *Paratylenchus* y *Belonolaimus*, siendo *Aphelenchus* el género más abundante en el cultivo (Muhammad et al., 2024). A nivel nacional son pocos los trabajos de investigación sobre caracterización del género *Meloidogyne* en aliáceas, entre ellas está el de Lara-Ocola (1999), que reporto plantas de cebolla con agallas causadas por *Meloidogyne incognita*.

La correcta identificación de especies de *Meloidogyne*, en los diversos cultivos hortícolas, es fundamental para la implementación de estrategias de control, tales como el uso de cultivares resistentes, rotación de cultivos y el establecimiento de medidas cuarentenarias (Vera & Nora, 2014). En ese sentido, el objetivo del presente trabajo fue caracterizar al nematodo de las agallas (*Meloidogyne* spp) y determinar la densidad poblacional de nematodos fitoparásitos en cultivos de aliáceas en las principales localidades productoras de la región Arequipa.

2. Metodología

Se colectaron muestras de raíces y suelo de cultivos de *A. cepa* (cebolla), *A. ampeloprasum* (poro), *A. schoenoprasum* (cebollino o cebollín), y *A. fistulosum* (cebolla china) en seis distritos de la región Arequipa, Perú: Aplao, Dean Valdivia, La Joya, Majes, Sachaca y Santa Rita de Siguan durante el

año 2022 (Figura 1). Estas muestras se colectaron de un total de 38 campos, la mayoría de estos campos son de un sistema convencional, con una a tres aplicaciones de nematicidas hasta el momento de la colecta (Tabla 1). De cada campo se colectó 5 submuestras de suelo al azar, con estas se preparó una muestra compuesta, de estas se procesó 250 g de suelo por campo, que fueron utilizados para los estudios de densidad poblacional. También se colectaron plantas de cada campo, de estas se evaluó la presencia de agallas en las raíces, sintomatología típica causada por *Meloidogyne* (Figura 2), obteniéndose una muestra compuesta de 200 g de raíces por campo para los estudios de caracterización.

2.1. Determinación de la densidad poblacional de nematodos fitoparásitos en cultivos de aliáceas

Los estudios de densidad poblacional y caracterización de *Meloidogyne* fueron realizados en el laboratorio de Fitopatología de la filial Majes de la Universidad Nacional de San Agustín - UNSA, así como en el laboratorio de Nematología/Entomología de la Escuela Profesional de Agronomía de la Universidad Nacional de Altiplano - UNA. El estudio de la densidad poblacional de nematodos fitoparásitos se realizó a partir de las muestras

de suelo conforme al método propuesto por (Jenkins, 1964). Para ello se centrifugo y tamizo 100 cm³ de suelo por muestra, seguidamente se utilizó el microscopio óptico para determinar los géneros en base a las claves descritas por (Mai & Mullin, 1996).

2.2. Caracterización del género *Meloidogyne* spp.

La identificación de *Meloidogyne* spp. se realizó mediante caracterización bioquímica por estudio de electroforesis de la enzima esterase (Est) (Carneiro & Almeida, 2001) para ello se utilizó hembras adultas de coloración blanca lechosa las cuales fueron extraídos de las raíces afectadas, también se caracterizó mediante la configuración perineal de hembras de *Meloidogyne* spp. (Hartman & Sasser, 1985), donde se analizaron diez cortes perineales por lamina provenientes de hembras maduras por cada muestra de raíz que presento la sintomatología causada por *Meloidogyne* en campo, la identificación de las especies a través del patrón perineal fue hecha tomando en consideración las descripciones y claves pictóricas propuestas por Eisenback et al. (1985), Taylor & Sasser (1983) y Hunt & Handoo (2009).

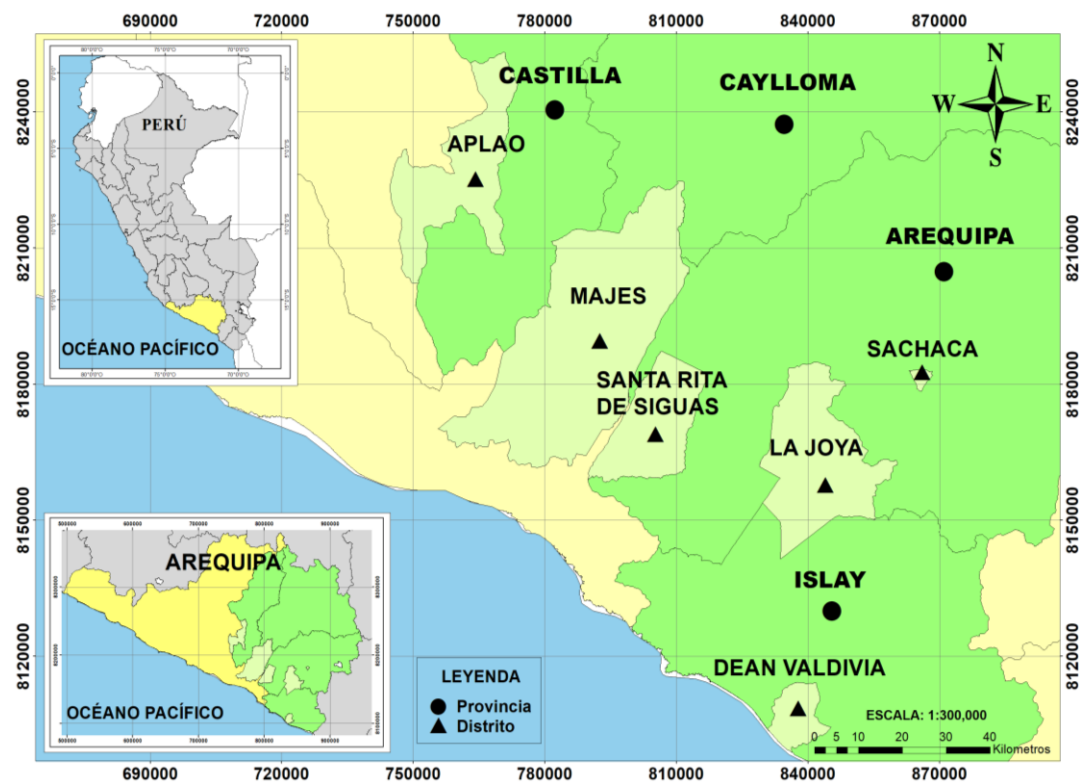


Figura 1. Mapa de ubicación de los seis distritos (Aplao, Majes, Santa Rita de Sigüas, La Joya, Dean Valdivia y Sachaca) donde se colectaron las muestras de suelo y raíces de campos de aliáceas en la región Arequipa, Perú.



Figura 2. Sintomatología característica ocasionada por *Meloidogyne* spp. A: Síntomas en parte aérea en cultivo de cebolla china (Distrito de Majes); B: Síntomas en parte aérea en cultivo de cebollín (Distrito de Santa Rita de Sigüas); C: Agallas en raíces en cebollín (Santa Rita de Sigüas); D: Agallas en raíces en cebolla china (Majes); E: Agallas en raíces en cebolla (Santa Rita de Sigüas); F: Síntomas en parte aérea en planta de poro (Majes); G: Agallas en raíces en poro (Majes).

Tabla 1

Localización y número de campos muestreados de cultivos de aliáceas en la región Arequipa durante el año 2022 y número de aplicaciones de nematocidas

Muestra	Código de muestra	Cultivo	Distrito	Provincia	Año de colecta	Latitud (S)	Longitud (W)	Altura (m.s.n.m.)	Tipo de producción ¹	Nº de aplicaciones de nematocidas ²
1	CR1	Cebolla	Aplao	Castilla	25/03/2022	15°59'10.64"	72°28'20.10"	837	C	1
2	CR2	Cebolla	Aplao	Castilla	25/03/2022	15°59'10.91"	72°28'21.15"	825	C	1
3	CR3	Cebolla	Aplao	Castilla	25/03/2022	16°3'45.84"	72°28'49.30"	627	C	1
4	CR12	Cebolla	Dean Valdivia	Islay	24/10/2022	17°08'10"	71°48'17"	31	C	1
5	CR13	Cebolla	Dean Valdivia	Islay	24/10/2022	17°08'33"	71°48'21"	20	C	0
6	CR14	Cebolla	Dean Valdivia	Islay	24/10/2022	17°08'28"	71°48'27"	27	C	1
7	CR15	Cebolla	Dean Valdivia	Islay	24/10/2022	17°07'04"	71°51'19"	14	C	1
8	CR16	Cebolla	Dean Valdivia	Islay	24/10/2022	17°06'52"	71°51'19"	51	C	0
9	CR17	Cebolla	Dean Valdivia	Islay	24/10/2022	17°08'38"	71°51'14"	11	C	0
10	CR18	Cebolla	Dean Valdivia	Islay	2/12/2022	17°08'25.8"	71°48'08.2"	20	C	1
11	CR19	Cebolla	La Joya	Arequipa	2/12/2022	16°27'35"	71°50'24"	1534	C	0
12	CR20	Cebolla	La Joya	Arequipa	2/12/2022	16°27'13"	71°50'24"	1540	C	0
13	CR21	Cebolla	La Joya	Arequipa	2/12/2022	16°27'13"	71°50'21"	1542	C	1
14	CR22	Cebolla	La Joya	Arequipa	2/12/2022	16°27'23"	71°50'00"	1558	C	1
15	CC6	Cebolla china	La Joya	Arequipa	2/12/2022	16°28'25"	71°49'12"	1572	C	1
16	CC1	Cebolla china	Majes	Caylloma	3/04/2022	16°22'51"	72°16'50"	1237	C	2
17	CC2	Cebolla china	Majes	Caylloma	3/04/2022	16°22'21"	72°16'45"	1249	C	2
18	CC3	Cebolla china	Majes	Caylloma	3/04/2022	16°21'27"	72°17'39"	1245	C	2
19	PO1	Poró	Majes	Caylloma	3/04/2022	16°21'11"	72°17'08"	1260	C	2
20	PO2	Poró	Majes	Caylloma	3/04/2022	16°19'33"	72°17'07"	1298	C	3
21	CR6	Cebolla	Majes	Caylloma	5/08/2022	16°19'18"	72°13'51"	1406	C	2
22	CR7	Cebolla	Majes	Caylloma	5/08/2022	16°19'29"	72°14'09"	1393	C	1
23	CR8	Cebolla	Majes	Caylloma	5/08/2022	16°19'28"	72°14'46"	1371	C	2
24	CR9	Cebolla	Majes	Caylloma	5/08/2022	16°21'31"	72°16'34"	1273	C	1
25	CC4	Cebolla china	Majes	Caylloma	5/08/2022	16°22'02"	72°15'52"	1302	C	2
26	CC5	Cebolla china	Majes	Caylloma	5/08/2022	16°22'02"	72°15'52"	1302	C	2
27	CR23	Cebolla	Sachaca	Arequipa	4/12/2022	16°25'38"	71°35'38"	2219	C	0
28	CR24	Cebolla	Sachaca	Arequipa	4/12/2022	16°25'38"	71°35'45"	2221	C	0
29	CR25	Cebolla	Sachaca	Arequipa	4/12/2022	16°25'30"	71°35'45"	2220	C	1
30	CR26	Cebolla	Sachaca	Arequipa	4/12/2022	16°25'34"	71°35'42"	2226	C	0
31	CC7	Cebolla china	Sachaca	Arequipa	4/12/2022	16°25'38"	71°35'09"	2220	E	0
32	CV1	Chives	Santa Rita de Sigüas	Arequipa	18/02/2022	16°30'07.4"	72°05'07.9"	1644	C	1
33	CV2	Chives	Santa Rita de Sigüas	Arequipa	23/03/2022	16°29'14"	72°05'56"	1283	C	0
34	CV3	Chives	Santa Rita de Sigüas	Arequipa	9/04/2022	16°31'35"	72°04'41"	1240	C	1
35	CR4	Cebolla	Santa Rita de Sigüas	Arequipa	10/04/2022	16°30'01"	72°05'42"	1265	C	2
36	CR5	Cebolla	Santa Rita de Sigüas	Arequipa	10/04/2022	16°30'07"	72°05'43"	1262	C	3
37	CR10	Cebolla	Santa Rita de Sigüas	Arequipa	5/08/2022	16°30'43"	72°04'43"	1256	C	1
38	CR11	Cebolla	Santa Rita de Sigüas	Arequipa	5/08/2022	16°30'09"	72°04'38"	1271	C	1

¹C = Convencional, E = Ecológico, ²Número de aplicaciones con nematocidas químicos realizadas hasta el momento de la colecta.

3. Resultados y discusión

3.1. Determinación de la densidad poblacional de nematodos fitoparásitos en cultivos de aliáceas

De acuerdo con los análisis realizados de las muestras de suelo colectadas de los distritos de Aplao, Dean Valdivia, La Joya, Majes, Sachaca y Santa Rita de Siguan fue registrada la ocurrencia de varios géneros de nematodos fitoparásitos asociados a los cultivos de: Cebolla, cebolla china, cebollín y poro. Los géneros encontrados fueron *Helicotylenchus* con 97,37% de frecuencia en los campos colectados, *Aphelenchus* (73,68%), *Meloidogyne* (65,79%), *Rotylenchus* (55,26%), *Mesocriconema* (31,58%), *Tylenchus* (31,58%), *Pratylenchus* (26,32%), *Xiphinema* (13,16%), *Dorylaimus* (5,26%), *Hemicyclophora* (5,26%), *Mononchus* (5,26%), OGMA (2,63%) y nematodos de vida libre (100%) (Tabla 2), los géneros con una frecuencia mayor al 50% fueron: *Helicotylenchus*, *Aphelenchus*, *Meloidogyne* y *Rotylenchus*, de acuerdo a **Konate & Kone (2019)** los géneros *Helicotylenchus*, *Tylenchus* y *Tylenchorhynchus* fueron reportados parasitando a plantas de cebolla con una alta frecuencia, por otro lado **Pokharel et al. (2008)** encontro a *Pratylenchus* asociado a cultivos de cebolla en altas frecuencias.

La densidad poblacional del género *Meloidogyne* en los distritos de Santa Rita de Siguan y Majes presentan los niveles más altos, con 56 y 54 especímenes / 100 cm³ de suelo respectivamente, otro de los géneros que destaca por su elevado nivel poblacional es *Helicotylenchus* con 93 especímenes / 100 cm³ de suelo esta información coincide con (**Konate et al., 2019**), pues este género es considerado como uno de los más importantes causadores de daños en cebolla. Otro género con alto nivel poblacional es *Mesocriconema* (69 especímenes / 100 cm³ de suelo) estos datos concuerdan con el trabajo de **Caballero-Luque et al., (2021)** quienes también encontraron altas poblaciones de *Mesocriconema* en Alcachofa, para los demás géneros observados las densidades poblacionales fueron de entre 1 y 12 especímenes / 100 cm³ de suelo (Tabla 2).

Los nematodos de vida libre fueron encontrados en todos los campos colectados presentando una mayor densidad poblacional en el distrito de Sachaca con 140 especímenes / 100 cm³ de suelo, según **Yadav et al., (2018)** estos nematodos especialmente los que se alimentan de bacterias y hongos juegan un papel importante en el ciclo de nutrientes del suelo, a través de la descomposición de restos de animales y vegetales y la mineralización del nitrógeno indirectamente en sistemas de producción.

En la región Arequipa existen muy pocos reportes sobre la ocurrencia del género *Meloidogyne* en aliáceas. De acuerdo con **Lara-Ocola (1999)** este

género fue encontrado afectando plantas de cebolla. Sin embargo, este género parasita y ocasiona daños al sistema radicular de varios cultivos, tales como alcachofa (**Caballero-Luque et al., 2021**), paprika (**Machaca, 2017**), cucurbitáceas (**Miranda-Barrios et al., 2020**) entre otros. También se reportó este género parasitando aliáceas y otras hortalizas en la India, donde se encontró altas densidades poblacionales, considerándolos como uno de los fitoparásitos más importantes, causantes de la reducción del sistema radicular, plantas con follaje amarillento, crecimiento deficiente y disminución de rendimiento del cultivo (**Simon et al., 2011**). Además, del daño directo, los nematodos agalladores actúan como un agente predisponente a otros patógenos fúngicos y bacterias presentes en el suelo, agravando así el problema (**Khan et al., 2023**).

Reportes de nivel poblacional de nematodos asociados a las aliáceas en otros países muestran a *Pratylenchus penetrans*, *Aphelenchoides*, *Ditylenchus dipsaci* como las que presentaron densidad poblacionales más altas, seguido de *Aphelenchus*, *Helicotylenchus*, *Hemicriconemoides*, *Hemicicliophora*, *Hoplolaimus*, *Meloidogyne*, *Longidorus*, *Trichodorus* y *Xiphinema* (**Pokharel et al., 2008**), En Burkina Faso en cebolla se reportó a *Helicotylenchus*, *Tylenchus*, *Rotylenchulus* y *Tylenchorhynchus* en mayor número poblacional, por ende causando daños a las raíces, seguido de *Pratylenchus*, *Xiphinema*, *Telotylenchus*, *Ditylenchus*, *Escutolónema*, *Trichodorus*, *Criconemoides* y *Meloidogyne* que presentaron niveles más bajos de especímenes (**Konate et al., 2019**).

Los nematodos fitoparásitos encontrados repercuten en el rendimientos y calidad de las aliáceas, un aspecto a considerar es el uso de la tierra, como los monocultivos, que pueden alterar la salud del suelo y provocar la acumulación de estos nematodos fitoparásitos en los suelos a lo largo del tiempo (**Enyiukwu et al., 2021**), todo ello ocasionara la pérdida de calidad del suelo y por ende una baja productividad.

3.2. Caracterización del género *Meloidogyne* spp.

De los 38 campos evaluados, se encontró raíces de aliáceas con sintomatología típica de *Meloidogyne* en seis campos muestreados correspondientes a los cultivos de cebolla, cebolla china, poro y cebollín (Figura 2). De estas, tres especies de *Meloidogyne* fueron encontrados, con 1 fenotipo esterasa para *Meloidogyne javanica* (Est J3, Rm: 1,03, 1,24, 1,37), 2 fenotipos para *Meloidogyne incognita* (Est I2, Rm: 1,03, 1,07; Est I1, Rm: 1,00), y 1 fenotipo esterasa atípico desconocido de una sola banda al que se denominó *Meloidogyne* sp. (Rm: 0,85) (Figura 3).

Tabla 2
Densidad poblacional y frecuencia de nematodos asociados a cultivos de: *A. cepa* (cebolla), *A. ampeloprasum* (poro), *A. schoenoprasum* (cebollín), y *A. fistulosum* (cebolla china) en cuatro provincias de la región Arequipa: Arequipa, Castilla, Caylloma e Islay

Provincia/Distrito	Código de muestra	Cultivo	Generos ¹												
			<i>Aphe</i>	<i>Dor</i>	<i>Helico</i>	<i>Hem</i>	<i>Mel</i>	<i>Meso</i>	<i>Mon</i>	<i>OGMA</i>	<i>Prat</i>	<i>Roty</i>	<i>Tychus</i>	<i>Vida Libre</i>	<i>Xiphi</i>
Arequipa La Joya	CR19	Cebolla china			17			7						26	4
	CR20	Cebolla	2		13						2		33		
	CR21	Cebolla	3		7	2			1			16			
	CR22	Cebolla										4			
	CC6	Cebolla			17			9				48			
Arequipa Sachaca	CC7	Cebolla china	1		1		12	69		2	2		5	52	
	CR23	Cebolla	1		17							5	22		
	CR24	Cebolla	5		4							140			
	CR25	Cebolla			1							22			
	CR26	Cebolla			1			6			3	36			
Arequipa Santa Rita de Sigwas	CV2	Cebollín			4								16		
	CR11	Cebolla	3		46		4				3	2	52		
	CR4	Cebolla	7		13		56					6	44		
	CR5	Cebolla	5		11		46					4	38		
	CV3	Cebollín	8		32		3						68		
	CV1	Cebollín	5		37		17					9	1	57	
	CR10	Cebolla	3		6		12				5	5	65		
Castilla Aplao	CR1	Cebolla	4		26		9	2	2			5	1	34	
	CR2	Cebolla	8		17		8	2			2	2	1	6	
	CR3	Cebolla	5	2	13			3				5	3	27	
Caylloma Majes	CR6	Cebolla			9							3		49	
	CR7	Cebolla	3		93		3	3			6	6	4	44	
	CR8	Cebolla			6		3							27	
	CC4	Cebolla china	4		8		12					2	1	31	
	CC5	Cebolla china	2		12		36	3					4	46	
	CC3	Cebolla china	1		16		1					4		48	
	PO2	Poro	5		32	3	3				3	8	3	46	
	CR9	Cebolla			5									18	
	PO1	Poro	12		56		54				3	7		45	
	CC1	Cebolla china	4		18		34					6		44	
CC2	Cebolla china	5		26		9				1	5		39		
Islay Dean Valdivia	CR15	Cebolla			12		4					6		62	
	CR16	Cebolla	1	2	2		8					1		6	
	CR17	Cebolla	2		5		2	4				3	2	38	
	CR13	Cebolla	7		8		12	1				4		55	
	CR14	Cebolla	3		6		2	3				5	1	47	
	CR18	Cebolla	2		3		5							4	
	CR12	Cebolla	2		2		3							54	
Frecuencia (%)			73.68	5.26	97.37	5.26	65.79	31.58	5.26	2.63	26.32	55.26	31.58	100	13.16

¹Géneros de nematodos fitoparásitos y de vida libre en 100 cm³ de suelo, *Aphe* = *Aphelenchus*; *Dor*: *Dorylaimus*; *Helico*: *Helicotylenchus*; *Hem*: *Hemicycliophora*; *Mel*: *Meloidogyne*; *Meso*: *Mesocriconema*; *Mon*: *Mononchus*; *Prat*: *Pratylenchus*; *Roty*: *Rotylenchulus*; *Tychus*: *Tylenchus*; *Xiphi*: *Xiphinema*.

En los campos con plantas de aliáceas con sintomatología características de *Meloidogyne* fueron encontrados un total de ocho poblaciones de *Meloidogyne*, una población de *M. javanica* Est J3, dos poblaciones de *M. Incognita* Est I1, tres poblaciones de *M. incognita* Est I2 y dos poblaciones de *Meloidogyne* sp.; la especie con más frecuencia fue *M. incognita* I2 con un 50%, seguida de *M. incognita* I1 y *M. sp.*, con 33,33% cada uno y por último *M. javanica* J3 con 16,67% quien tuvo la más baja frecuencia (Tabla 3).

Cabe destacar que las agallas producidas por *Meloidogyne* en las raíces de aliáceas fueron observados mayormente en zona apical produciendo ramificaciones secundarias, esta característica de parasitismo coincide con lo relatado por Rusinque et al. (2021) quien menciona la presencia de agallas causada por *Meloidogyne* en forma de gancho en cultivo de arroz, y se ubican principalmente en las puntas de las raíces, afectando el desarrollo y la fisiología de las raíces, además provoca una profusa proliferación de raíces muy delgadas y esponjosas que conducen a pérdidas sustanciales de rendimiento.

De las especies encontradas, *M. incognita* (I1 y I2) ha sido reportado en las diferentes provincias de la región Arequipa causando daños a plantas de alcañofa (Caballero-Luque et al., 2021), cucurbitáceas (Miranda-Barrios et al., 2020) y paprika (Machaca, 2017) con las frecuencias más altas, así como también en el norte del Perú causando daños a plantas de poro (Amaya, 1982). Por otro lado, la especie *M. javanica* ha sido reportado en cultivos como frejol para los valles de Chicama y Moche en bajas frecuencias (Amaya, 1982) y en Sacha Inchi en China se encontró a *M. javanica* (Est J3, Rm:1,0, 1,25 y 1,4)

(Wang et al., 2013). Con respecto a la especie atípica de *Meloidogyne*, existen diversos reportes sobre esta especie en diferentes cultivos en la región Arequipa tales como cucurbitáceas y alcañofa (Miranda-Barrios et al., 2020; Caballero-Luque et al., 2021) pero se presentaron en baja frecuencias. *M. incognita* es la especie más predominante en aliáceas y en los diferentes cultivos citados siendo la principal causante de agallas en las raíces, enanismo, marchitez y amarillamiento llegando a reducir los rendimientos y la ganancia económica (Nydia & Carbonell, 2012), por otro lado, se observó la presencia de dos especies de *Meloidogyne* en un mismo campo agrícola, teniéndose a *M. incognita* y *M. sp.* en los campos PO2 y CC1 la mezcla de más de una especie en un campo agrícola ya fue relatado por (Machaca, 2017; Caballero-Luque et al., 2021; Miranda-Barrios et al., 2020), las mezclas de estas especies ya reportadas amplían las condiciones de parasitismo de este género, de esta forma, existe mayor posibilidad de éxito de este género en parasitar cultivos de aliáceas en la región Arequipa. *Meloidogyne javanica* Est J3 es la primera especie reportada en la región Arequipa en el cultivo de cebollín ubicado en el distrito de Santa Rita de Siguan y a pesar de encontrarse en baja frecuencia en los campos evaluados y los reportes descritos podría convertirse en una amenaza para la producción de este cultivo, en concordancia con Wang et al. (2013) quien indica que esta especie podría ser una amenaza importante para la producción de Sacha inchi. Los daños provocados por *M. javanica* en altas poblaciones iniciales en cultivo de soya provocaron una reducción significativa en el área foliar, en la masa radicular y en el peso seco total de la parte aérea y los granos (Asmus & Ferraz, 2001).

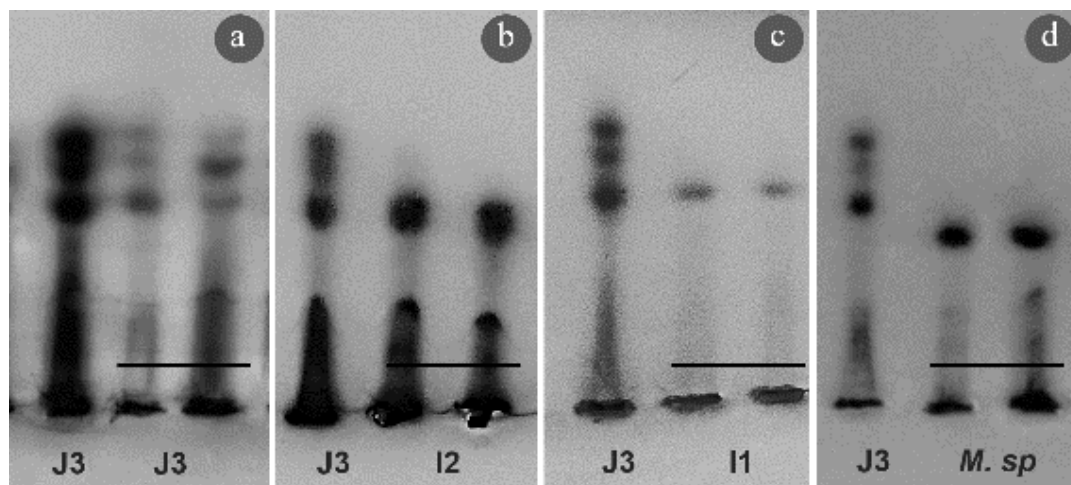


Figura 3. Fenotipo esterasa (Est) de *Meloidogyne* spp. de poblaciones colectadas en cultivos de aliáceas en la región Arequipa. a: *M. javanica* (J3); b: *M. incognita* (I2); c: *M. incognita* (I1) y d: *Meloidogyne* sp. Se utilizó a *M. javanica* (J3) como fenotipo de esterasa estándar.

Tabla 3

Ocurrencia de fenotipos de esterasa (Est) de poblaciones de *Meloidogyne* spp. de muestras de plantas colectadas en campos de aliáceas en la región Arequipa, Perú

Provincia Distrito	Localización	Código de muestra	Cultivo	Especie	Ocurrencia (%)	Fenotipo esterasa (Est)
Arequipa, Santa Rita de Sigüas	Lateral 9, Fundo Santa Gabriela	CV1	Cebollín	<i>M. javanica</i>	100	J3
	Lateral 8, Fundo Agropel	CR4	Cebolla	<i>M. incognita</i>	100	I1
	Lateral 10, Fundo Renacer	CR5	Cebolla	<i>M. incognita</i>	100	I2
Caylloma, Majes	B-4, Irrigación Majes	PO1	Poro	<i>M. incognita</i>	100	I2
	B-3, Irrigación Majes	PO2	Poro	<i>M. incognita</i>	77,36	I2
	C-2, Irrigación Majes	CC1	Cebolla china	<i>M. incognita</i> <i>M. sp</i>	92,59 7,41	I1 <i>M. sp</i>

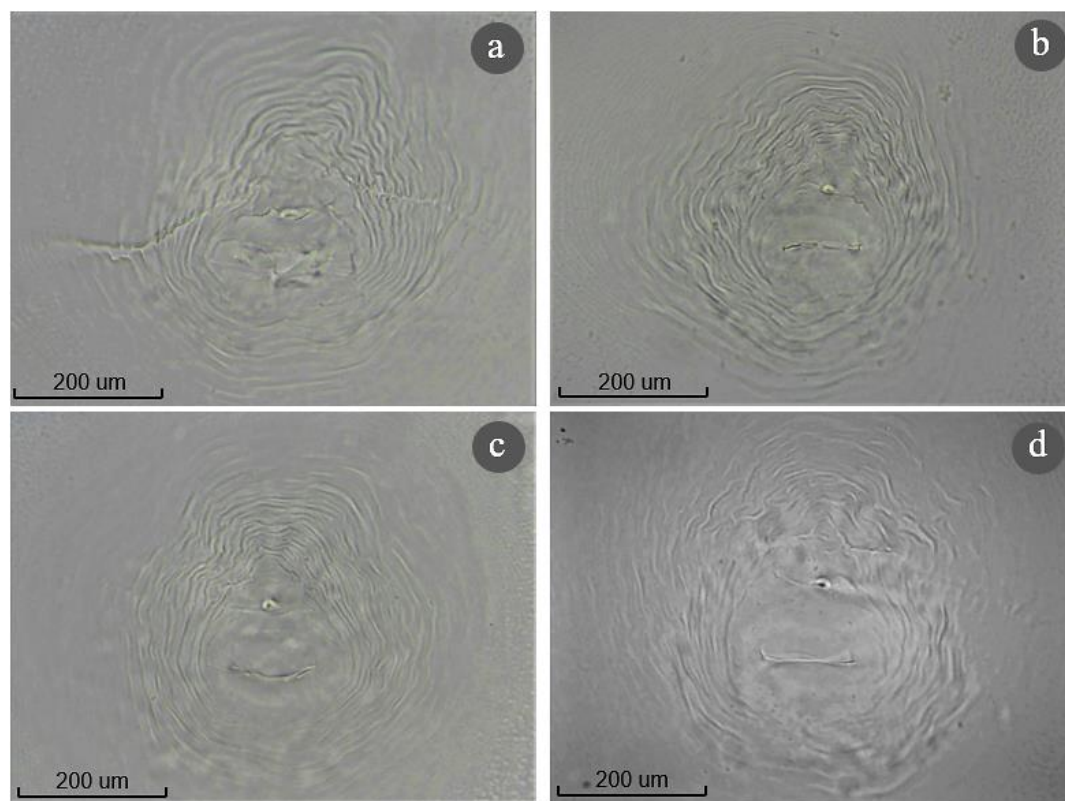


Figura 4. Cortes perineales de *Meloidogyne* spp. de poblaciones colectadas en cultivos de aliáceas de la región Arequipa. **A)** *M. javanica* (J3); **b)** *M. incognita* (I2); **c)** *M. incognita* (I1) y **d)** *Meloidogyne* sp.

Para complementar la caracterización del género *Meloidogyne* se realizaron cortes perineales de las hembras del nematodo, encontrándose tres especies de *Meloidogyne*, el primero *M. incognita* presentó dos configuraciones perineales: La primera *M. incognita* est I1 presentó un arco dorsal alto y cuadrado, con presencia de estrías lisas y onduladas, sin líneas laterales distintivas coincidiendo con (Eisenback et al., 1985; Machaca, 2017); la segunda configuración perineal *M. incognita* I2 presentó un arco dorsal alto y cuadrado, con presencia de estrías lisas y onduladas, campo lateral izquierdo prominente en comparación al campo lateral derecho coincidiendo con (Hunt & Handoo, 2009); la segunda especie encontrada fue *M. javanica* que

presento un arco dorsal alto y cuadrado e incisiones laterales (estrías transversales) marcadas que separan las regiones dorsal y ventral que son únicas para la especie (Peraza-Padilla, 2021; Taylor & Sasser, 1983), por último se encontró una configuración perineal que no coincide con ninguna de las especies descritas por (Eisenback et al., 1985) al que se le denominó *Meloidogyne* sp. (Figura 4). Estos resultados coinciden con los encontrados en los análisis bioquímicos del género *Meloidogyne*.

La identificación de las especies de *Meloidogyne* nos permitirá proponer nuevas estrategias de control en base a estudios ya realizados sobre las mismas especies identificadas en otros lugares como: La rotación de cultivos, el uso de variedades resistentes,

control biológico como la utilización de *Paecilomyces lilacinus* (Thom) para el control de *M. javanica* (Tiganomilani et al., 1995), control químico, entre otros con el fin de reducir o mantener las poblaciones de *Meloidogyne* por debajo de los umbrales de daño para así tener una producción sostenible (Enyiukwu et al., 2021).

4. Conclusiones

Se identificaron un total de 12 géneros de nematodos fitoparásitos además de nematodos de vida libre en cultivos de aliáceas en la región Arequipa, siendo *Helicotylenchus*, *Aphelenchus*, *Meloidogyne* y *Rotylenchus* los géneros más frecuentes.

Por análisis bioquímico se identificaron dos especies de *Meloidogyne* asociado a cultivos de aliáceas, y una especie atípica. De estas poblaciones, *M. incognita* presenta la más alta frecuencia y está distribuida en los distritos de Santa Rita de Siguan y Majes, seguido de *Meloidogyne* sp en el distrito de Majes y *M. javanica* en Santa Rita de Siguan.

La correcta identificación de nematodos fitoparásitos causando daños en aliáceas permite entender su distribución, frecuencia y nivel poblacional y así poder implementar medidas de manejo eficientes.

Se sugiere realizar un estudio sobre el comportamiento y los daños que produce el género *Helicotylenchus*, así como también realizar pruebas de agresividad de las especies de *Meloidogyne* encontradas en los diferentes cultivos de aliáceas de la región, pruebas de reacción de genotipos de aliáceas a las especies de este género.

Agradecimientos

A UNSA INVESTIGA por el apoyo financiero de este trabajo de investigación enmarcado dentro del Proyecto "Etiología y caracterización de hongos y nematodos (*Meloidogyne* spp) causantes de las principales enfermedades de las aliáceas en la región núcleo productora de Arequipa" con contrato de financiamiento número IBA-IB-03-2020-UNSA; al laboratorio de Fitopatología filial Majes el Pedregal de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, así como también al laboratorio de Entomología/Nematología de la Escuela Profesional de Agronomía de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de los autores

Conceptualización: Víctor Casa-Coila, Víctor Peralta-Ccayahuallpa. **Investigación:** Víctor Casa-Coila, Víctor Peralta-Ccayahuallpa, Israel Lima-Medina, Luis Cuadros-Fernández, Dennis Macedo-Valdivia. **Metodología:** Víctor Casa-Coila, Víctor Peralta-Ccayahuallpa, Israel Lima-Medina, Luis Cuadros-Fernández, Dennis Macedo-Valdivia. **Administración del proyecto:** Víctor Casa-Coila, Víctor Peralta-Ccayahuallpa. **Software:** Víctor Peralta-Ccayahuallpa. **Validación:** Víctor Casa-Coila, Israel Lima-Medina. **Visualización:** Víctor Casa-Coila. **Redacción – borrador original:** Víctor Peralta-Ccayahuallpa. **Escritura – revisión y edición:** Víctor Casa-Coila, Víctor Peralta-Ccayahuallpa, Israel Lima-Medina, Luis Cuadros-Fernández, Dennis Macedo-Valdivia.

ORCID

V. A. Peralta-Ccayahuallpa  <https://orcid.org/0009-0006-2156-9409>
 V. H. Casa-Coila  <https://orcid.org/0000-0001-5081-6401>
 I. Lima-Medina  <https://orcid.org/0000-0002-4740-0402>
 L. A. Cuadros-Fernández  <https://orcid.org/0000-0001-9547-1101>
 D. G. Macedo-Valdivia  <https://orcid.org/0000-0002-0442-9395>

Referencias bibliográficas

- Amaya, J. (1982). El "Nematodo del nudo de la raíz" en la costa norte del Perú. In Proceedings of the Third Research & Planning Conference on Root-Knot Nematodes, *Meloidogyne* spp. Department of Plant Pathology, North Carolina State University, 40-45 pp.
- Apcho, E., Caballero, M., & Miranda, R. (2017). Planeamiento Estratégico de la Cebolla en el Perú al 2027. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Asmus, G. L., & Ferraz, L. C. (2001). Relações entre a densidade populacional de *Meloidogyne javanica* e a área foliar, a fotossíntese e os danos causados a variedades de soja. *Nematologia Brasileira*, 25(1), 1-13.
- Caballero-Luque, T. M., Casa-Coila, V. H., & Lima-Medina, I. (2021). Characterization of root-knot nematode (*Meloidogyne* spp.) and frequency of nematodes associated with artichoke crops in the "Irrigación Majes", Arequipa, Peru. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 128(2), 627-632. <https://doi.org/10.1007/s41348-020-00398-8>
- Carneiro, R. G., & Almeida, M. R. (2001). Técnica de eletroforese usada no estudo de enzimas dos nematoides de galhas para identificação de espécies. *Nematologia Brasileira*, 25(1), 35-34.
- DAPRO, D. G. (2020). Informe Estadístico de la Cebolla. Bolivia. Ministerio de Desarrollo productivo y Economía Rural.
- Eisenback, J. D., Sasser, J., & Carter, C. (1985). Diagnostic characters useful in the identification of the four most common species of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.). *An advanced treatise on Meloidogyne*, 1, 95-99.
- Enyiukwu, D. N., Ononuju, C. C., Okeke, C., & Chukwu, L. A. (2021). Plant Parasitic Nematodes, Serious but Most Trivialized Biotic Challenge against Food Security: A spotlight on their Management for Sustainable Agriculture and Public Health. *Direct Research Journal of Public Health and Environmental Technology*, 6, 104-112. <https://doi.org/10.26765/DRJPHET947520168>
- FAO, (07 de 11 de 2023). Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT Website. Obtenido de <http://www.fao.org/faostat/en/#data>
- Faruk, I. (2019). Efficacy of Organic Soil Amendments and a Nematicide for Management of Root-Knot Nematode *Meloidogyne* Spp. of Onion. *American Journal of Bioscience and Bioengineering*, 7(4), 57-64. <https://doi.org/10.11648/j.bio.20190704.11>
- Gürkan, T., & Çetintaş, R. (2024). Detection of Root-Knot Nematode Species and Races in Kahramanmaraş Province, Türkiye. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 27(1), 174-182. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdogu.vi.1296708>
- Hartman, K., & Sasser, J. (1985). Identification of *Meloidogyne* species on the basis of differential host test and perineal-pattern morphology. An advanced treatise on *Meloidogyne*. *North Carolina State University Graphics*, 2, 69-77.
- Hunt, D. J., & Handoo, Z. A. (2009). Taxonomy, identification and principal species. In Root-knot nematodes. Wallingford UK: CABI, 55-97 pp.
- Jenkins, W. (1964). A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant Disease Reporter*, 48(9).
- Khan, A., Ansari, S. A., Haris, M., Hussain, T., & Khan, A. A. (2023). *Meloidogyne* Species: Threat to Vegetable Produce. En In Root-Galling Disease of Vegetable Plants (págs. 61-83). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Konate, A. Y., Ouuedraogo, S. L., & Kone, D. (2019). Etude faunistique des nématodes phytoparasites de l'oignon (*Allium*

- cepa L., Alliaceae) au Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13(3), 1388-1395. Doi: 10.4314/ijbcs.v13i3.14
- Lara-Ocola, J. (1999). Determinación, distribución y evaluación del grado de ataque del "Nematodo Nodulador" *Meloidogyne incognita* en *Allium cepa* L., realizado en nueve distritos de la provincia de Arequipa. Universidad Nacional de San Agustín, 67 pp.
- Machaca, C. P. (2017). Identificación de *Meloidogyne* spp. por morfología e isoenzimas en pimiento pàprika (*Capsicum annum* L.) en tres irrigaciones de la región Arequipa. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Mai, W. F., & Mullin, P. G. (1996). Plant-parasitic nematodes: A pictorial key to genera. Ithaca, NY: Cornell University Press.
- Maleita, C., Correia, A., Abrantes, I., & Esteves, I. (2022). Susceptibility of crop plants to the rootknot nematode *Meloidogyne luci*, a threat to agricultural productivity. *Phytopathologia Mediterranea*, 61(1), 169-179. <https://doi.org/10.36253/phyto-13369>
- Miranda-Barrios, E., Quispe-Castro, R., Lima-Medina, I., Bravo-Portocarrero, R., & Anculle-Arenas. (2020). Identificación de especies del género *Meloidogyne* en cucurbitáceas: Distribución y ocurrencia en Arequipa, Perú. *Scientia Agropecuaria*, 11(2), 195-202. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.02.06>
- Muhammad, B., Bibi, K., Khan, M. S., & Kiran, A. (2024). Association of Plant Parasitic Nematodes with some Vegetables Crops of Khyber Pakhtun Khwa, Pakistan. *Alexandria Science Exchange Journal*, 45(1), 21-26. <https://doi.org/10.21608/AEJAIQJSAE.2024.336797>
- Nimgarri, H., Khan, M. R., Rahimi, M. H., Yahyazai, M., & Mondal, S. (2023). Root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) in cucumber under protected cultivation: incidence, management and avoidable yield loss in Afghanistan. *Indian Phytopathology*, 13-22. <https://doi.org/10.1007/s42360-023-00622-z>
- Nydia, & Carbonell, V. (2012). Conjunto Tecnológico para la Producción de Cebolla. Universidad de Puerto Rico, Estación Experimental Agrícola, 156 pp.
- Pagano, A., Macovei, A., Xia, X., Padula, G., Holubowicz, R., & Balestrazzi, A. (2023). Seed Priming Applied to Onion-Like Crops: State of the Art and Open Questions. *Agronomy*, 13(2), 278-288. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020288>
- Peraza-Padilla, W. (2021). Identificación morfológica y molecular de *Meloidogyne javanica* en una plantación de papaya (*Carica papaya* L.) en Pococí, Limón, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 45(2), 41-55. <http://dx.doi.org/10.15517/rac.v45i2.47766>
- Pokharel, R. R., Larsen, H., Hammon, B., Gourd, T., & Bartolo, M. (2008). Plant parasitic nematodes, soil and root health of Colorado onion fields. Western Colorado Research Center, Colorado State University. Annual report. Ft. Collins: Colorado State University.
- Rawal, S. (2020). A review on root-knot nematode infestation and its management practices through different approaches in tomato. *Tropical Agroecosystems (TAEC)*, 1(2), 92-96. <http://doi.org/10.26480/taec.02.2020.92.96>
- Rusique, L., Camacho, M. J., Serra, C., Nóbrega, F., & Inacio, M. L. (2023). Root-knot nematode assessment: species identification, distribution, and new host records in Portugal. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1230968. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1230968>
- Rusique, L., Maleita, C., Abrantes, I., Palomares-Rius, J. E., & Inácio, M. L. (2021). *Meloidogyne graminicola*: A threat to rice production: Review update on distribution, biology, identification, and management. *Biology*, 10(11), 1163. <https://doi.org/10.3390/biology10111163>
- SIEA, Sistema Integrado de Estadísticas Agrarias (2023). Perfil productivo de los principales cultivos del sector. Lima: Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. Obtenido de https://siea.midagri.gob.pe/portal/siea_bi/index.html
- Simon, S., Singh, K., & Ghosh, G. (2011). Distribution of root-knot nematode on major field crops in Uttar Pradesh (India). *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 44(2), 191-197. <https://doi.org/10.1080/03235408.2010.505365>
- Soldatenko, A. V., Ivanova, M. I., Bukharov, A. F., Kashleva, A. I., & Seredin, T. M. (2021). Prospects for introducing into the culture wild species of the genus *Allium* L. food direction. *Vegetable crops of Russia*, 1, 20-32. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-1-20-32>
- Taylor, A. L., & Sasser, J. N. (1983). Biología, identificación y control de los nematodos de nódulo de la raíz. Universidad de Carolina del Norte, 111 pp.
- Tiganomilani, M., Carneiro, R., Defaria, M., Frazao, H., & Mccoy, C. (1995). Isozyme Characterization and Pathogenicity of *Paecilomyces fumosoroseus* and *P. lilacinus* to *Diabrotica speciosa* (Coleoptera: Chrysomelidae) and *Meloidogyne javanica* (Nematoda: Tylenchidae). *Biological control*, 5(3), 378-382. <https://doi.org/10.1006/bcon.1995.1044>
- Vera, O., & Nora, J. (2014). Técnica molecular de PCR para identificar las principales especies de *Meloidogyne* spp. en poblaciones provenientes de Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Vuković, S., Popović-Djordjević, J. B., Kostić, A. Ž., Pantelić, N. D., Srećković, N., Akram, M., . . . Stanković, J. S. (2023). *Allium* Species in the Balkan Region Major Metabolites, Antioxidant and Antimicrobial Properties. *Horticulturae*, 9(3), 408. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9030408>
- Wang, Y., Xie, Y., Cui, H. D., & Dong, Y. (2013). First Report of *Meloidogyne javanica* on Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis*) in China. *Plant Disease*, 98(1), 165-165. <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-13-0241-PDN>
- Yadav, K., Bharti, L., & Chaubey, A. K. (2023). Effect of Phytoparasitic Nematodes on Agricultural Yield: Current Progress and Challenges. En *Nematode-Plant Interactions and Controlling Infection*, 62-84 pp. doi: 10.4018/978-1-6684-8083-0.ch004
- Yadav, S., Patil, J., & Kanwar, R. S. (2018). The role of free living nematode population in the organic matter recycling. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(6), 1-9. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.706.321>