

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA

FACULTAD DE AGRONOMÍA



TESIS FORMATO ARTICULO:

**REACTION OF CHENOPODIUM QUINOA TO DIFFERENT SPECIES OF
MELOIDOGYNE**

Presentado por la bachiller
MARIA YAQUELIN MENDOZA LIMA
Para optar Título Profesional de
Ingeniera Agrónoma

Asesora:
Mg.Sc. Teodocia Gloria Casa Ruiz

Arequipa – Perú

2021

Agradecimientos

A Dios por siempre guiar y bendecir mi camino.

A mis padres Engracia y Alfonso; por el apoyo, consejos, cariño y amor incondicional que me brindaron.

A mis hermanos Juan Carlos, Mónica, Rocio y Ana por la comprensión y su apoyo.

A mis asesores el Ph.D. Cristiano Belle, Mg.Sc. Teodocia Gloria Casa Ruiz y Mg.Sc. Juan Tamo Zegarra por la paciencia, comprensión, tiempo y sobre todo por la enseñanza en nuestra formación como investigadores.

A todos los docentes de la Facultad de Agronomía por los conocimientos brindados, la sabiduría, las experiencias contadas y sus consejos.

A mis amigos Andree, Nataly, Lesly, Jorge, Toribio, Jimena, Rosalina, Charly, Alex Saico, Luis Lázaro, Fernando, Hierald, Dyone, Alex Puma, Rony, Jose Rosas, Maryori, Maripaz, Clovis y Mariano por su apoyo y colaboración.

A la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú, por el financiamiento del proyecto, Contrato de Subvención N° TP- 17 – 2019 - UNSA, Trabajo de Investigación para Optar Título Profesional.

Al vicerrectorado de investigación de la Universidad Nacional de San Agustín en representación al Dr. Horacio Barreda Tamayo, a UNSA INVESTIGA en representación a la Dr. Julieta Cabrera Sotelo y a mis monitores por el acompañamiento y seguimiento en la elaboración de este Trabajo de Investigación.

Resumen

Actualmente el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa*) en el Perú no cuenta con estudios relacionados a la reacción de *Meloidogyne* spp. La investigación tuvo como objetivo evaluar la reacción de cultivares de quinua (Salcedo INIA, Choclito, Huariponcho, Negra Collana y Kcancolla) a *Meloidogyne incógnita*, *M. arenaria* y *M. hapla*. Las plantas de quinua se manejaron en casa malla y fueron colocadas en bolsas de polietileno con 3000 cm³ de suelo esterilizado, los cuales fueron inoculados con 5000 huevos + juveniles (J2). Después de los 90 días de la inoculación, se determinó el número de nematodos por gramo de raíz, número de agallas y factor de reproducción (población final/ población inicial). Todos los cultivares de quinua son clasificados como susceptibles a *M. incógnita*, resistentes a *M. arenaria* y *M. hapla* a excepción de Negra Collana siendo considerado susceptible a *M. arenaria*, asimismo, Salcedo y Huariponcho son considerados susceptibles a *M. hapla*.

Palabras claves: Quinua, genotipos, nematodo agallador, resistencia, susceptibilidad.

Abstract

Currently, there are no studies on the cultivation of quinoa (*Chenopodium quinoa*) in Peru related to the reaction of *Meloidogyne* spp. This study aimed to evaluate the reaction of five quinoa cultivars (Salcedo INIA, Choclito, Huariponcho, Negra Collana, and Kcancolla) to *Meloidogyne arenaria*, *M. incognita*, and *M. hapla*. The experiment was carried out using a completely randomized design, with five quinoa cultivars and three species of *Meloidogyne* spp. with six repetitions. Quinoa plants were kept in a mesh house and placed in polyethylene bags with 3,000 dm³ of sterile soil inoculated with 5000 eggs + juveniles (J2). After 90 days of inoculation, the number of nematodes per gram of root, number of galls, and the reproduction factor (final population/initial population) were determined. All quinoa cultivars were susceptible to *M. incognita* and resistant to *M. arenaria* and *M. hapla*, except for 'Negra Collana', which was susceptible to *M. arenaria*, and 'Salcedo INIA' and 'Huariponcho', susceptible to *M. hapla*.

Keywords: Quinoa, genotypes, root-knot nematode, resistance, susceptibility.

Indice

1. Autor:	6
2. Asesores:	6
3. Planteamiento del Problema:	7
4. Objetivo General:	7
5. Justificación:	8
6. Antecedentes:	8
7. Descripción del Proyecto:	9
8. Referencias:	10
9. Link del artículo:	11

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA

FACULTAD DE AGRONOMIA

“Reaction of *Chenopodium quinoa* to different species of *Meloidogyne*”

1. Autor:

Maria Yaquelin Mendoza Lima

2. Asesores:

Asesor UNSA:	Teodocia Gloria Casa Ruiz
Grado academico:	Magister en Fitopatología – UNSA
Institución de afiliación:	Universidad Nacional de San Agustín – Arequipa
Reseña del asesor:	<p>-Scopus Autor ID 5721730407 https://orcid.org/0000-0001-9094-3800</p> <p>-Estudios de doctorado en Protección Vegetal en la UNSA, especializado en Fitopatología, Fitonematología y Manejo de Agroquímicos.</p> <p>-Docente de los cursos de Fitopatología General, Manejo de Agroquímicos y Principios de Manejo Integrado de Enfermedades en la UNAS desde el año 2002.</p>
Asesor externo:	Cristiano Belle
Grado Académico:	Doctor en Fitosanidad – UFPel
Instituciones de afiliación:	Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, Santa Maria, Brazil. Instituto Phytus, Estação experimental de Itaara, Itaara, Rio Grande do Sul, Brazil
Reseña del Asesor:	<p>-Investigador Calificado, ID ORCID https://orcid.org/0000-0003-2247-3207</p> <p>-Autor Scopus ID: 56117843500</p> <p>-Estudios de maestría en Agronomía en la Universidad Federal de Santa María, Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul, Brazil.</p> <p>-Postdoctorado en Ciencias del Suelo en Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brazil.</p>

3. Planteamiento del Problema:

El cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa*) en la región de Arequipa, es un cultivo que tiene gran demanda en mercados nacionales y extranjeros, asimismo, se tiene una superficie sembrada de 63,7 mil hectáreas a nivel nacional y en la región de Arequipa 0,9 mil hectáreas (MINAGRI,2017).

Siendo los principales problemas fitosanitarios el kona kona (*Eurysaca quinoa*), masticador de follaje (*Copitarsia spp*), chinche de la quinua (*Epicauta spp*), mildiu de la quinua (*Peronospora variabilis*) y nematodos. Estos últimos de gran importancia económica a nivel mundial debido a las pérdidas económicas que causan, provocando diversos daños en la producción agrícola y por ende provocan la disminución en el rendimiento de los cultivos. De igual manera en la irrigación de Majes algunos agricultores hacen mención que *Meloidogyne spp.* ataca al cultivo de quinua en diferentes grados, hasta el momento no se tiene información de lo indicado.

4. Objetivo General:

- Evaluar la reacción de cultivares de quinua (Salcedo INIA, Choclito, Huariponcho, Negra Collana y Kcancolla) a *Meloidogyne incógnita*, *M. arenaria* y *M. hapla*.

5. Justificación:

El cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa*) es un cultivo que tiene un valor económico prometedor (Mujica, 2004), alto valor proteico y rico en aminoácidos esenciales, con un rendimiento de 1,2 t.ha⁻¹ a nivel nacional durante el año 2017 (MINAGRI, 2017) y en la región de Arequipa se logra obtener hasta 5 t.ha⁻¹. El ataque de nematodos no está comprobado en cultivares de quinua, por ello se busca determinar la reacción de cultivares de quinua (Salcedo INIA, Choclito, Huariponcho, Negra Collana y Kcancolla) a *Meloidogyne incognita*, *M. arenaria* y *M. hapla*.

6. Antecedentes:

La quinua (*Chenopodium quinoa*) cultivo de importancia en América del Sur, por su alto valor nutricional y tolerancia al estrés abiótico externo (Jarvis *et al.*, 2008). Su composición ha atraído la atención de muchos científicos por su alto valor nutricional, proteínas, lípidos, fibras, vitamina y minerales, aminoácidos esenciales y no posee gluten (Maradini *et al.*, 2017), asimismo, posee tocofenoles y ácidos orgánicos (Pereira *et al.*, 2019), todos estos atributos ayudan a contribuir en la seguridad alimentaria (Nowak *et al.*, 2015).

Perú se convirtió en uno de los principales exportadores en el mercado mundial, la región Arequipa logro un rendimiento de 4 086 kg. ha⁻¹ (Mujica *et al.*, 2018), incrementando su producción en las dos últimas décadas (Vargas *et al.*, 2015).

Los problemas fitosanitarios de la quinua son el Kona kona (*Eurisaca quinoa* Povolny), Masticador de follaje (*Copitarsia turbata* Herrich & Schäffe), Chinche de la quinua (*Epitrix subcrinita* Lec), Pulgón verde (*Macrosiphum euphorbiae* Thomas), Mildiú (*Peronospora farinosa* Fries) y los nematodos de importancia económica a nivel mundial (León *et al.*, 2018). Se han identificado géneros de nematodos asociados al cultivo de quinua: *Meloidogyne*, *Nacobbus*, *Pratylenchus*, *Helicotylenchus*, *Mesocriconema*, *Xiphinema*, *Dorylaimus*, *Hemiciclyophora* y *Globodera* (Lima *et al.*, 2019).

Meloidogyne es un género que ocasiona problemas en el cultivo de quinua, asimismo, viene afectando a otros cultivos como alcachofa, paprika, vid, espárragos y otros. Además, la frontera agrícola se amplía básicamente en suelos de irrigación, donde el suelo arenoso y la baja diversidad biológica de los mismos, permiten un creciente incremento poblacional de *Meloidogyne* spp. (Palomo, 2018). Actualmente no se tiene reportes de *Meloidogyne* en cultivares de quinua para la región Arequipa, por lo que el objetivo del presente trabajo de investigación es evaluar la reacción de los cultivares de quinua a *M. arenaria*, *M. incognita* y *M. hapla*.

7. Descripción del Proyecto:

El experimento fue conducido en la casa malla con temperaturas de 25°C + - 5°C; y en el laboratorio de Fitopatología de la Universidad Nacional de San Agustín - Arequipa, Perú; en el periodo de marzo del 2019 a marzo del 2020, donde se evaluó la reacción de cinco cultivares de quinua: Salcedo INIA, Choclito, Huariponcho, Negra Collana y Kcancolla a *Meloidogyne incognita*, *Meloidogyne arenaria* y *Meloidogyne hapla*.

Para la obtención de las especies puras de *Meloidogyne*; se procedió a la detección de zonas de la región de Arequipa, en la cual se identificó a *Meloidogyne hapla* en Mascapampa-Castilla; *Meloidogyne incognita* en Santa Rita – Arequipa y *Meloidogyne arenaria* en Majes - Arequipa, después se realizó la identificación mediante la configuración perineal de hembras de *Meloidogyne spp.* (Hartmann y Sasser 1985) y caracterización bioquímica de *Meloidogyne spp.* mediante electroforesis de isoenzimas (Carneiro y Almeida 2001).

Se realizó la siembra de tomate (*Solanum lycopersicum* var. Rio Grande) en bandejas de 200 unidades con sustrato esterilizado 1:1 (promix), una vez germinadas, fueron trasplantadas a macetas y luego de 15 días estas fueron inoculadas con especies puras de *Meloidogyne* durante 3 meses, se procedió a la siembra de los cultivares de quinua (*Chenopodium quinoa*) en bandejas de 200 unidades debidamente rotulados con sustrato esterilizado 1:1 (promix), una vez germinadas, fueron trasplantadas a bolsas de polietileno con 3000 cm³ en sustrato esterilizado 1:1 de arena fina en el invernadero de Fitopatología de la Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú.

Finalmente se realizó la inoculación de huevos + juveniles (J2); estos fueron extraídos de las raíces de tomate (*Solanum lycopersicum* var. Rio Grande), de acuerdo con el método descrito por Hussey y Barker (1973) y se inocularon en una suspensión de agua a una dosis de 5,000 huevos/J2 por bolsa con una pipeta a través de 3 agujeros excavados en el suelo alrededor de la planta. Los cultivares de quinua fueron mantenidas a una temperatura de (25°C + - 5°C) y humedades de (30%+ - 5) y fueron evaluadas a los 90 días después de ser inoculadas, los parámetros evaluados fueron; número de nematodos por gramo de raíz, numero de agallas y factor de reproducción. El número de agallas se evaluó mediante el conteo de nódulos por raíz, la extracción de huevos y juveniles (J2) se realizó empleando la técnica propuesta por Hussey y Barker (1973) modificada por Boneti e Ferraz (1981) y el factor de reproducción (FR= población final/ población inicial) se calculó con los valores obtenidos de huevos y juveniles (J2) según Oostenbrink (1996).

8. Referencias:

- Asmus G.L., P. J. M. Andrade. 2001. Reprodução do nematoide de galhas (*Meloidogyne javanica*) em plantas alternativas para uso em sucessão a cultura da soja. EMBRAPA, Dourados, MS, comunicado técnico. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/62572/1/COT-37-2001.pdf>
- Asmus G. L., M. M. Inomoto, C. S. Sazaki and M. A. Ferraz (2005). “Reaction of some cover crops used in the no-till system to *Meloidogyne incognita*”. (Master's dissertation), Luiz de Queiroz School of Agriculture. Brazilian Nematology 29:47-52. DOI: [10.11606/D.11.2009.tde-13102009-142533](https://doi.org/10.11606/D.11.2009.tde-13102009-142533)
- Bedoya-Perales N. S., G. Pumi, A. Mujica, E. Talamini y A. D. Padula. 2018. Quinoa expansion in Perú and its implications for land use management. Sustainability 10:532. <https://doi.org/10.3390/su10020532>
- Filho, A. M. M., M. R. Pirozi, J. T. D. S. Borges, H. M. Pinheiro Sant’Ana, J. B. P. Chaves y J. S. D. R. Coimbra. 2015. Quinoa: Nutritional, functional, and antinutritional aspects. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 57: 1618–1630. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.1001811>
- Franco, J. (2003). Parasitic nematodes of quinoa in the Andean region of Bolivia. Food Reviews International, 19(1-2), 77-85. <https://doi.org/10.1081/FRI-120018869>.
- Hussey R. S., K.B. Barker. 1973. A comparison of methods of collecting inocula for *Meloidogyne* spp., including a new technique. Plant Disease 57:1025-1028. [Links]
- Jarvis D. E., O.R. Kopp, E.N. Jellen, M.A. Mallory, J. Pattee, A. Bonifacio, C.E. Coleman, M.R., Stevens, D.J. Fairbanks y P.J. Maughan. 2008. Simple sequence repeat marker development and genetic mapping in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Journals of Genetics, 87, 39–51. <https://doi.org/10.1007/s12041-008-0006-6>
- León T.B., C.N. Ortiz, T.N. Condori y Y.E. Chura. 2018. Cepas de *Trichoderma* con capacidad endófitas sobre el control de mildiu (*Peronospora variabilis* Gaum.) y mejora del rendimiento de quinua. Revista de Investigaciones Altoandinas, 20: 19-30. <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2018.327>.
- Lima-Medina I., R.Y. Bravo-Portocarrero y Z.D. Mamani-Cano. 2019. Nematodos fitoparasitos asociados al cultivo de quinua en la región de Puno-Perú. Revista de Investigaciones Altoandinas, 21: 257-263. <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2019.502>
- Navruz-Varli, S., & Sanlier, N. (2016). Nutritional and health benefits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Cereal Science*, 69, 371-376. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.05.004>.

- Nowak V., J. Du, y U. R. Charrondière. 2016. Assessment of the Nutritional Composition of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Chemistry*,193:47-54. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.111>
- Oostenbrink, R. 1966. Major characteristics of the relationship between nematodes and plants. *Medeelingen der Landbouw-Hoogeschool*.
- Palomo, A. 2018. Reproducción *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White) Chitwood en siete variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en invernadero. Tesis de maestría. Universidad Agraria la Molina. Lima. Perú. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3602>
- Pereira E., L. Barros, C. E. Zelada, U. G. Barron, V. Cadavez and I. C. F. R. Ferreira (2019). “Chemical and nutritional characterization of *Chenopodium quinoa* Willd (quinoa) grains: a good alternative to nutritious food”. *Food Chemistry* 280:110-114. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.12.068>
- Vargas D.E., M. Boada, L. Araca, W. Vargas y R. Vargas. 2015. Agrobiodiversidad y economía de la quinua (*Chenopodium quinoa*) en comunidades Aymaras de la cuenca del Titicaca. *Idesia*. 33:81-87. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292015000400011>

9. Link del artículo:

DOI: <https://doi.org/10.18271/ria.2020.196>

Reaction of *Chenopodium quinoa* to different species of *Meloidogyne*

Reacción de *Chenopodium quinoa* a diferentes especies de *Meloidogyne*

Maria Yaquelin Mendoza-Lima¹, Teodocia Gloria Casa-Ruiz², and Cristiano Bellé^{1,3,*}

Abstract

Currently, there are no studies on the cultivation of quinoa (*Chenopodium quinoa*) in Peru related to the reaction of *Meloidogyne* spp. This study aimed to evaluate the reaction of five quinoa cultivars ('Salcedo INIA', 'Choclitó', 'Huariponcho', 'Negra Collana', and 'Kcancolla') to *Meloidogyne arenaria*, *Meloidogyne incognita*, and *Meloidogyne hapla*. The experiment was carried out using a completely randomized design, with five quinoa cultivars and three species of *Meloidogyne* spp. with six repetitions. Quinoa plants were kept in a mesh house and placed in polyethylene bags with 3,000 dm³ of sterile soil inoculated with 5,000 eggs + juveniles (J2). After 90 days of inoculation, the number of nematodes per gram of root, number of galls, and the reproduction factor (final population/initial population) were determined. All quinoa cultivars were susceptible to *M. incognita* and resistant to *M. arenaria* and *M. hapla*, except for 'Negra Collana', which was susceptible to *M. arenaria*, and 'Salcedo INIA' and 'Huariponcho', susceptible to *M. hapla*.

Keywords: Quinoa, genotypes, root-knot nematode, resistance, susceptibility.

Resumen

Actualmente el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa*) en el Perú no cuenta con estudios relacionados a la reacción de *Meloidogyne* spp. La investigación tuvo como objetivo evaluar la reacción de cultivares de quinua ('Salcedo INIA', 'Choclitó', 'Huariponcho', 'Negra Collana' y 'Kcancolla') a *Meloidogyne incognita*, *Meloidogyne arenaria* y *Meloidogyne hapla*. Las plantas de quinua se manejaron en casa malla y fueron colocadas en bolsas de polietileno con 3.000 dm³ de suelo estéril, los cuales fueron inoculados con 5.000 huevos + juveniles (J2). Después de los 90 días de la inoculación, se determinó el número de nematodos por gramo de raíz, número de agallas y factor de reproducción (población final/población inicial). Todos los cultivares de quinua son clasificados como susceptibles a *M. incognita*, resistentes a *M. arenaria* y *M. hapla* a excepción de Negra Collana siendo considerado susceptible a *M. arenaria*, asimismo, 'Salcedo INIA' y 'Huariponcho' son considerados susceptibles a *M. hapla*.

Palabras clave: Quinoa, genotipos, nematodo agallador, resistencia, susceptibilidad.

Received: 18/07/2020

Accepted: 20/08/2020

Online: 01/10/2020

Section: Short article

*Corresponding author: crbelle@gmail.com

Introduction

Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) is an important crop in South America because of its high nutritional value and tolerance to external abiotic stress (Jarvis *et al.*, 2008; Novak *et al.*, 2016). Its composition has attracted the attention of many scientists owing to its high nutritional value and presence of proteins, lipids, fibers, vitamins, minerals, and essential amino acids; gluten-free nature (Navruz-Varli and Sanlier, 2016; Filho *et al.*, 2017); tocopherols; and organic acids (Pereira *et al.*, 2019). All these components contribute to food security (Nowak *et al.*, 2016). Peru is one of the main exporters of quinoa worldwide. The Arequipa region achieved a yield of 4.086 kg ha⁻¹ (Bedoya *et al.*, 2018), increasing its production in the last two decades (Vargas *et al.*, 2015).

The phytosanitary problems that affect quinoa are the kona-kona (*Eurysacca quinoa* Povolny), cutworms (*Copitarsia turbata* Herrich & Schäffer), chinch bugs (*Epitrix subcrinita* Lec.), the green aphid (*Macrosiphum euphorbiae* Thomas), mildew (*Peronospora farinosa*

Fries), and worldwide economically important nematodes (León *et al.*, 2018). The identified genera of nematodes associated with quinoa crops are *Meloidogyne*, *Nacobbus*, *Pratylenchus*, *Helicotylenchus*, *Mesocriconema*, *Xiphinema*, *Dorylaimus*, *Hemiciclyophora*, and *Globodera* (Franco, 2003; Lima-Medina *et al.*, 2019).

Meloidogyne Göldi, 1887 is a genus that causes problems in the quinoa crop; it also affects other crops such as artichoke, paprika, grapevines, and asparagus. In addition, the agricultural frontier is basically expanded in irrigated soils, where sandy soils and low biological diversity allow a growing population of *Meloidogyne* spp. (Palomo, 2018). Currently, there are no reports of

¹Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Peru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1306-9029>.

²Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Peru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9094-3800>.

³Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brazil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2247-3207>.

How to cite: Mendoza-Lima, M. Y., Casa-Ruiz, T. G., and Bellé, C. (2020). Reaction of *Chenopodium quinoa* to different species of *Meloidogyne*. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 22(4), 343–346. DOI: <https://doi.org/10.18271/ria.2020.196>.



Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) Share - Adapt

Table 1. Number of nematodes per gram of root (Nematodes g⁻¹ root), number of galls (NG), reproduction factor (RF), and reaction of different quinoa (*Chenopodium quinoa*) cultivars to *Meloidogyne arenaria*, *Meloidogyne hapla*, and *Meloidogyne incognita*.

<i>Meloidogyne arenaria</i>				
Cultivar	Nematodes g ⁻¹ root ^a	NG ^b	RF ^c	Reaction ^d
Salcedo INIA	436 a ^e	9 a	0.3 a	R
Choclito	609 a	36 a	0.4 a	R
Huariponcho	1,609 a	27 a	0.7 a	R
Negra Collana	2,301 a	29 a	1.1 a	S
Kcancolla	629 a	34 a	0.5 a	R
Tomato ^f	1,575	540	2.7	S
CV (%) ^g	31.13	19.75	21.13	-
<i>Meloidogyne hapla</i>				
Salcedo INIA	1,997 a	101 a	1.3 a	S
Choclito	536 a	96 a	0.4 a	R
Huariponcho	1,132 a	63 a	1.1 a	S
Negra Collana	1,018 a	132 a	0.5 a	R
Kcancolla	742 a	66 a	0.5 a	R
Tomato	1,909	636	2.9	S
CV (%)	30.03	21.5	20.16	
<i>Meloidogyne incognita</i>				
Salcedo INIA	11,595 ab	117 a	10.2 b	S
Choclito	6,330 bc	195 a	6.5 c	S
Huariponcho	1,6508 a	212 a	14.3 a	S
Negra Collana	5,257 c	120 a	2.5 d	S
Kcancolla	4,081 c	252 a	4.8 c	S
Tomato	6,932	414	8.3	S
CV (%)	29.45	21.90	20.10	

^a Nematodes g⁻¹ root = Number of nematodes per gram of root (final population/weight of roots).

^b NG = Number of galls.

^c RF = Reproduction factor (RF = final population/initial population).

^d Reaction: S = Susceptible (RF ≥ 1) and R = Resistant (RF ≤ 1) (Oostenbrink, 1966).

^e Means followed by the same letter in each column do not differ significantly by the Duncan's test at 5 % probability;

^f Susceptible control: *Solanum lycopersicum* 'Rio Grande'.

^g Coefficient of variation.

Meloidogyne in quinoa cultivars for the Arequipa region; therefore, this study aimed to evaluate the response of quinoa cultivars to *Meloidogyne arenaria* (Neal, 1889) Chitwood, 1949, *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White, 1919) Chitwood, 1949, and *Meloidogyne hapla* Chitwood, 1949.

Material and methods

The experiment was conducted in a mesh house with a temperature of 25 °C ± 5 °C at the Phytopathology Laboratory of the Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Peru (16° 24' 32" S, 71° 31' 18" W), from November 2019 to February 2020. The response of five quinoa cultivars ('Salcedo INIA', 'Choclito', 'Huariponcho', 'Negra Collana', and 'Kcancolla') to *M. incognita*, *M. arenaria*, and *M. hapla* was evaluated.

Quinoa seeds were sown in trays of 200 units with a sterile substrate (Promix®). Twenty days after emergence, each seedling was transplanted to a bag with 3,000 dm³ of sterilized fine sand. Seven days

after transplantation, seedlings were inoculated with pure species of *Meloidogyne* propagated in tomato (*Solanum lycopersicum* 'Rio Grande').

The quinoa cultivars were inoculated following the method described by Hussey and Barker (1973) using a dose of 5,000 eggs + juveniles that were distributed in three holes around the plant. The viability of the inoculum was evaluated in tomato plants ('Rio Grande') inoculated at the same dose as the quinoa cultivars. Quinoa and tomato cultivars were kept at a temperature of 25 °C ± 5 °C and a humidity of 40 ± 5.

The number of galls (NG), number of nematodes per gram of root (nematodes g⁻¹ root), and the reproduction factor (RF) were evaluated 90 days after inoculation. The number of galls was determined by direct root counting; the extraction of eggs + juveniles was performed using the technique proposed by Hussey and Barker (1973) and the RF was determined according to the methodology described by Oostenbrink (1996), they were considered immune (RF = 0), resistant (RF <1) and susceptible (RF > 1) species. The number of nematodes per gram of

root was estimated by the ratio between the total number of nematodes and the total root mass, in grams, for each repetition.

The experimental design was completely randomized with five quinoa cultivars and three species of *Meloidogyne* spp., and six replicates were used. Data were subjected to an analysis of variance (ANOVA, $p < 0.05$) and comparisons were made using the Duncan's test ($p < 0.05$) using SAS, version 9.0.

Results and discussion

The ANOVA detected a significant effect between nematodes per gram of root (nematodes g^{-1} root), number of galls (NG) and reproduction factor (RF) for cultivars of quinoa and the nematode species *M. arenaria*, *M. hapla* and *M. incognita*, with a significant difference for the Duncan test ($p < 0.05$).

The RF of *M. arenaria* and *M. hapla* was low in most quinoa cultivars; therefore, these were classified as resistant, except for 'Negra Collana', which was considered susceptible to *M. arenaria* with an RF = 1.1 (Table 1). However, for *M. hapla*, 'Salcedo INIA' and 'Huariponcho' with an RF = 1.3 and 1.1, respectively, were considered susceptible (Table 1). Furthermore, the reproduction factor of *M. incognita* was high in all quinoa cultivars; therefore, all cultivars were classified as susceptible (Table 1) according to Oostenbrink (1966).

'Salcedo INIA', 'Choclito', 'Kcancolla', and 'Huariponcho' were classified as resistant to *M. arenaria* with an RF = 0.3, 0.4, 0.5, and 0.7, respectively. 'Salcedo INIA' showed a lower reproduction rate, which indicates a higher level of resistance, a lower nematodes g^{-1} root with 436, and the lowest number of galls with 9. Furthermore, 'Negra Collana' had the highest reproduction rate, which indicates it is susceptible, with a nematodes g^{-1} root of 2,301 and a number of galls of 29.5, which although high, was not the highest. 'Choclito' had the highest number of galls with 35.8; however, with an RF of 0.4 and a nematodes g^{-1} root of 609, it was considered resistant (Table 1).

In the case of *M. hapla*, 'Salcedo INIA' showed the highest reproduction rate, RF = 1.26, and thus, it was classified as susceptible to this nematode. It also had the highest nematodes g^{-1} root of 1,997 and a number of galls of 102. 'Choclito', with an RF = 0.4, had the lowest reproduction rate and was therefore considered the most resistant; with a nematodes g^{-1} root of 536 and a higher number of galls (96.17) than that of the 'Huariponcho' cultivar (63); considered susceptible, with an RF = 1.1 and a nematodes g^{-1} root of 1132 (Table 1).

All quinoa cultivars were susceptible to *M. incognita*. These data coincide and exceed those reported by Asmus *et al.* (2005), who indicate that *C. quinoa* is susceptible to *M. incognita* race 3 with an RF = 2.6, 'Huariponcho' had the highest reproduction rate with an RF = 14.2, being considered as the most susceptible and with the highest nematodes g^{-1} root of 16,508. These data are similar to those reported by Asmus *et al.* (2001), where they indicate that the quinoa crop had the highest multiplication of nematodes and its use in infested areas can increase, or at least maintain, the population of *Meloidogyne javanica* (Treub, 1885) Chitwood 1949. However, 'Negra Collana' presented the lowest RF = 2.5

and a nematodes g^{-1} root of 5,257; therefore, it was considered the least susceptible (Table 1).

In Peru, quinoa species are commonly used in crop rotations for pest management; therefore, knowing the response of different quinoa cultivars to *M. incognita*, *M. arenaria*, and *M. hapla* is essential for researchers and farmers during crop rotation. This study is one of the first to evaluate the response of quinoa cultivars to *Meloidogyne* spp. Further research regarding the susceptibility and resistance to *Meloidogyne* spp. is required, as quinoa is of great importance to food security.

Conclusions

All quinoa cultivars were susceptible to *M. incognita*, 'Salcedo INIA' and 'Huariponcho' are also susceptible to *M. hapla*, and 'Negra Collana' to *M. arenaria*. However, 'Salcedo INIA', 'Choclito', 'Huariponcho', and 'Kcancolla' are resistant to *M. arenaria* and 'Choclito', 'Negra Collana', and 'Kcancolla' are resistant to *M. hapla*.

Acknowledgments

This research was financed by the Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Peru, Grant Contract No. TP-17-2019 - UNSA, Research Work to Opt for a Professional Degree.

References

- Asmus, G. L. & Andrade, P. J. M. (2001). Reprodução do nematóide das galhas (*Meloidogyne javanica*) em algumas plantas alternativas para uso em sucessão à cultura da soja. *Comunicado Técnico* 37. Accessed August 21, 2020. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/62572/1/COT-37-2001.pdf>.
- Asmus, G. L., Inomoto, M. M., Sazaki, C. S. & Ferraz, M. A. (2005). Reação de algumas culturas de cobertura utilizadas no sistema plantio direto a *Meloidogyne incognita*. *Nematologia Brasileira*, 29(1), 47–52.
- Bedoya-Perales N. S., Pumi, G., Mujica, A., Talamini, E. & Padula, A. D. (2018). Quinoa expansion in Perú and its implications for land use management. *Sustainability*, 10(2), 532. <https://doi.org/10.3390/su10020532>.
- Filho, A. M. M., Pirozi, M. R., Borges, J. T. D. S., Pinheiro Sant'Ana, H. M., Chaves, J. B. P. & Coimbra, J. S. D. R. (2017). Quinoa: nutritional, functional, and antinutritional aspects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(8), 1618–1630. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.1001811>.
- Franco, J. (2003). Parasitic nematodes of quinoa in the Andean region of Bolivia. *Food Reviews International*, 19(1-2), 77–85. <https://doi.org/10.1081/FRI-120018869>.
- Hussey, R. S. & Barker, K. B. 1973. A comparison of methods of collecting inocula for *Meloidogyne* spp., including a new technique. *Plant Disease* 57, 1025–1028.
- Jarvis D. E., Kopp, O. R., Jellen, E. N., Mallory, M. A., Pattee, J., Bonifacio, A., Coleman, C. E., Stevens, M. R., Fairbanks, D. J. & Maughan, P. J. (2008). Simple sequence repeat marker development and genetic mapping in quinoa (*Chenopodium*

- quinoa* Willd.). *Journal of Genetics*, 87(1), 39–51. <https://doi.org/10.1007/s12041-008-0006-6>.
- León T. B., Ortiz, C. N., Condori, T. N. & Chura, Y. E. (2018). Cepas de *Trichoderma* con capacidad endofítica sobre el control del mildiu (*Peronospora variabilis* Gäum.) y mejora del rendimiento de quinua. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 20(1), 19–30. <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2018.327>.
- Lima-Medina I., Bravo-Portocarrero, R. Y. & Mamani-Cano, Z. D. (2019). Nematodos fitoparásitos asociados al cultivo de quinua en la región de Puno, Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 21(4): 257–263. <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2019.502>.
- Navruz-Varli, S., & Sanlier, N. (2016). Nutritional and health benefits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Cereal Science*, 69, 371–376. <http://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.05.004>.
- Novak, V., Du, J., & Charrondière, R. (2016). Assessment of the nutritional composition of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Chemistry*, 193, 47–54. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.111>.
- Oostenbrink, R. (1966). Major characteristics of the relationship between nematodes and plants. Mededeelingen der Landbouwhoogeschool.
- Palomo-Herreda, A. (2018). Reproduction of *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White) Chitwood in seven varieties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in a greenhouse [Master's dissertation, Universidad Agraria La Molina de Lima, Peru]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3602>.
- Pereira E., Barros, L., Zelada, C. E., Barron, U. G., Cadavez, V. and Ferreira, I. C. F. R. (2019). Chemical and nutritional characterization of *Chenopodium quinoa* Willd (quinoa) grains: a good alternative to nutritious food. *Food Chemistry* 280, 110–114. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.12.068>.
- Vargas D. E., Boada, M., Araca, L., Vargas, W. & Vargas, R. (2015). Agrobiodiversidad y economía de la quinua (*Chenopodium quinoa*) en comunidades aymaras de la cuenca del Titicaca. *Idesia*, 33(4), 81–87. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292015000400011>.