

**Identificación de nematodos fitoparásitos asociados a las principales malezas
en fincas productoras de papa (*Solanum tuberosum* L.) en la provincia de
Cartago**

Lester Núñez Rodríguez

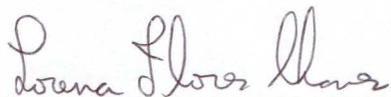
Tesis para optar al grado de profesional de Ingeniero Agrónomo con el grado de
licenciado en Agronomía

**ESCUELA DE AGRONOMÍA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROALIMENTARIAS
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
2017**

Identificación de nematodos fitoparásitos asociados a las principales malezas en fincas productoras de papa (*Solanum tuberosum* L.) en la provincia de Cartago.

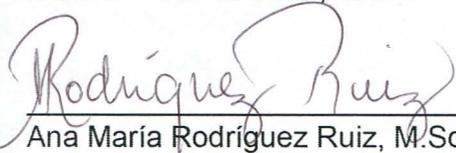
Lester Núñez Rodríguez

Tesis para optar al grado de profesional de Ingeniero Agrónomo con el grado de Licenciado en Agronomía



Lorena Flores Chaves, M.Sc.

Directora de tesis



Ana María Rodríguez Ruiz, M.Sc.

Miembro del tribunal



Danny Humphreys Pereira, Ph.D.

Miembro del tribunal



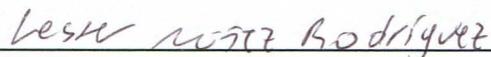
Robin Gómez Gómez, Ph.D.

Miembro del tribunal



Eric Guevara Berger, Ph.D.

Director de Escuela



Lester Núñez Rodríguez

Sustentante

Dedicatoria

A Dios, Padre Omnipotente, Rey de reyes y Señor de señores, a Él toda la Honra y toda la Gloria. Gracias por permitirme alcanzar esta meta.

A mi madre y a mi tío, Mirna y Manuel, por enseñarme que, con la guía de Dios, trabajo, sacrificio y amor, todo es posible

A mi hermano Jonathan y a mi sobrino Eithan

Los amo

Lester Núñez

Agradecimientos

Mis más sinceros agradecimientos a las siguientes personas:

A la M.Sc. Lorena Flores Chaves, M.Sc. Ana María Rodríguez Ruiz y al Dr. Danny Humphreys Pereira, por permitirme desarrollar esta tesis bajo su orientación, por sus consejos, apoyo, enseñanzas y atención.

Al Dr. Paul Esker por toda la ayuda brindada en el análisis de datos y por sus valiosas recomendaciones.

A la Ing. Beatriz Molina, directora del MAG-Pacayas, por ayudarme a contactar y conocer a productores de papa, gracias por cada uno de los consejos brindados.

A los productores de papa que pusieron a disposición sus fincas para desarrollar la investigación, gracias por toda la amabilidad, hospitalidad y su amistad.

Al personal de Laboratorio de Nematología, compañeros y amigos que de una u otra forma colaboraron en el desarrollo de esta investigación.

Índice de contenido

I. Introducción y antecedentes.....	1
I.A. Objetivo general.....	5
I.B. Objetivos específicos.....	5
II. Revisión de literatura.....	6
II.A. Generalidades del cultivo de papa (<i>Solanum tuberosum</i>)	6
Origen	6
Botánica.....	6
Importancia económica.....	7
II.B. Aspectos fitosanitarios de importancia económica asociadas al cultivo	7
Nematodos fitoparásitos	9
II.C. Malezas	14
Malezas como hospedantes alternativos de nematodos	15
III. Materiales y métodos	17
III.A. Ubicación.....	17
III.B. Recolección de muestras	19
Determinación del área mínima para muestrear malezas.....	19
Selección y recolección de malezas.	19
Identificación de malezas.....	21
III.C. Revisión de raíces e identificación a nivel de género de nematodos	22
IV. Resultados y discusión	23
IV.A. Identificación de malezas asociadas al cultivo de papa	23
IV.B. Determinación de presencia de nematodos asociados a las malezas analizadas.....	29
IV.C. Frecuencia relativa de nematodos asociados a las malezas.	36
V. Conclusiones	41
VI. Recomendaciones	41
VII. Literatura citada	42
VIII. Anexos.....	64

Resumen

Se identificaron los nematodos fitoparásitos asociados a las principales malezas en fincas productoras de papa en la provincia de Cartago. La investigación se desarrolló en la Zona Norte de Cartago, Costa Rica, de agosto de 2016 a marzo de 2017. Se muestrearon 15 fincas productoras de papa con cultivo establecido y que estaban cerca de la etapa de cosecha. En cada finca, se seleccionaron cinco puntos de muestreos para realizar levantamientos de malezas, por medio del método de cuadrantes y se determinó el porcentaje de cobertura de las especies presentes, criterio que se utilizó para seleccionar como máximo cinco especies por finca.

Las muestras de malezas fueron llevadas al Laboratorio de Nematología del Centro de Investigaciones en Protección de Cultivos de la Universidad de Costa Rica (CIPROC-UCR) para la extracción de nematodos por medio del método de tamizado y centrifugación en solución azucarada. Se utilizaron caracteres morfológicos para la identificación a nivel de género, sin embargo, en aquellos casos en que los nematodos presentaban características morfológicas muy similares entre géneros, la identificación se realizó a nivel de familia.

En total se recolectaron 338 muestras compuestas de raíces de malezas, las cuales pertenecían a 27 especies distintas, donde las malezas que presentaron el porcentaje de cobertura promedio más alto del total de fincas estudiadas fueron *Lepidium virginicum* (24%), *Poa annua* (10.8%), *Spergula arvensis* (9.9%), *Polygonum segetum* (8.5%) y *Brassica campestris* (7.1%). En las muestras analizadas, se identificaron un total de 15 géneros de nematodos y nematodos de las familias

Criconematidae, Heteroderidae y Trichodoridae. Los nematodos con mayor frecuencia de ocurrencia del total de muestras procesadas, fueron *Pratylenchus* (69.5%), *Helicotylenchus* (47%), *Meloidogyne* (43.2%), *Tylenchus* (26%) y Heteroderidae (16.6%). Además, las densidades poblacionales más altas de nematodos, expresados en individuos en 100 gramos de raíz, se obtuvieron en las especies de malezas *Poa annua* para *Pratylenchus* (104.720), *Galinsoga parviflora* para *Meloidogyne* (31.120) y *Rumex obtusifolius* para nematodos de la familia Heteroderidae (7.350).

Palabras clave: Costa Rica, papa, identificación, malezas, nematodos fitoparásitos.

Índice de cuadros

Cuadro 1. Frecuencia de ocurrencia (% F. O) de malezas agrupados a nivel de familia.....	24
Cuadro 2. Porcentaje (%) de cobertura promedio y frecuencia de ocurrencia (% F.O) de malezas asociadas a plantaciones de papa (<i>S. tuberosum</i>) en la Zona Norte de la provincia de Cartago.....	26
Cuadro 3. Malezas asociadas a los géneros <i>Meloidogyne</i> (M), <i>Pratylenchus</i> (P) y nematodos de la familia Heteroderidae (H).....	33
Cuadro 4. Densidad poblacional máxima de los géneros <i>Meloidogyne</i> , <i>Pratylenchus</i> y nematodos de la familia Heteroderidae en 100g de raíz de 12 malezas, Cartago, Costa Rica.....	34
Cuadro 5. Frecuencia relativa (%) de nematodos más frecuentemente asociados a las familias de malezas.....	37

Índice de figuras

Figura 1. Distribución geográfica de fincas productoras de papa muestreadas, Cartago, Costa Rica. Agosto de 2016-marzo de 2017.....	18
Figura 2. Frecuencia de ocurrencia (%) de nematodos fitoparásitos asociados a las malezas muestreadas. Cartago, Costa Rica. 2016-2017.....	30
Figura 3. a) Hembras (H) de <i>Heterodera</i> sp. adheridas a raíz de <i>R. obtusifolius</i> , b) hembra mostrando cono vulval (cv).....	36
Figura 4. Frecuencia relativa (%) de los nematodos fitoparásitos asociados a muestras radicales de malezas.....	40

I. Introducción y antecedentes

La papa es considerada como el tercer alimento más importante en el mundo, superado por el trigo (*Triticum aestivum*) y el arroz (*Oryza sativa*) (Juyó *et al.* 2015). En el 2014 a nivel mundial se cultivaron 19.337.071 ha con papa, esto representó una producción aproximada de 381.682.144 toneladas. En Latinoamérica, Brasil fue el principal productor, seguido por Argentina, por su parte Costa Rica se situó en el puesto doce (FAO 2016).

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es una planta herbácea anual, sus tallos son angulares, su coloración generalmente es verde, sus hojas adultas son compuestas, aunque las primeras hojas que provienen de tubérculos pueden ser simples, su flor es pentámera la cual puede diferir de color según la variedad cultivada, las plantas que producen tubérculos los desarrollan en los extremos de los estolones, las raíces y los estolones se generan del tubérculo empleado como semilla vegetativa (Gandarillas y Ortuño 2009).

Éste cultivo al igual que muchos otros, es afectado por diversos agentes bióticos los que se pueden citar insectos plagas como *Tecia solanivora* y *Phthorimaea operculella* que ocasionan daños a los tubérculos en campo y durante el almacenamiento (Vargas *et al.* 2004; Sporleder *et al.* 2005; Hilje 1994; Raman 1980), enfermedades ocasionadas por hongos y bacterias, como *Phytophthora infestans* y *Ralstonia solanacearum* (Arauz 2011) y nematodos fitoparásitos, los cuales ocasionan

daños directos como disminución del rendimiento del cultivo y daños indirectos como pérdida de calidad por lesiones en los tubérculos (Vreugdenhil *et al.* 2007).

La asociación nematodo-hospedero requiere un conjunto de relaciones, entre las que se pueden citar la susceptibilidad del hospedero, la densidad poblacional y patotipo del nematodo, las condiciones químicas del suelo como su fertilidad y las condiciones ambientales imperantes. El grado de asociación del nematodo con el hospedante, como sucede con *Globodera* se encuentra estrechamente ligado a las solanáceas, en especial a *S. tuberosum* (García 2006).

En Costa Rica, *Pratylenchus*, *Ditylenchus*, *Meloidogyne*, *Globodera*, *Helicotylenchus*, *Paratylenchus*, *Criconemella*, *Trichodorus* y *Tylenchorhynchus* son algunos géneros de nematodos fitoparásitos que se han reportado asociados al cultivo de papa (Fernández y Quesada 2013; López y Azofeifa 1981; Ramírez 1979).

El nematodo del quiste de la papa, *G. pallida*, fue reportada en Costa Rica por primera vez en el 2005, por el Laboratorio de Nematología de la Universidad de Costa Rica el cual determinó su presencia en una muestra proveniente de La Pastora cerca del Volcán Irazú (Coto 2005). Esta especie se ha reportado en localidades como Llano Grande, Tierra Blanca, Potrero Cerrado, Santa Rosa, Alvarado y Zona Norte del cantón de Turrialba (MAG 2015).

Por otra parte, en los campos cultivados crecen otras plantas no deseadas, las que se les denominan malezas, ya que no generan beneficios económicos en la actividad agrícola y de no ejercerse un control sobre éstas, la producción agrícola es

afectada, ya que compiten por nutrientes, agua, luz, espacio e inclusive pueden ser hospedantes alternos de plagas, incluyendo nematodos (CATIE 1990).

Entre algunos ejemplos de nematodos asociados a malezas, se ha demostrado que *Rotylenchulus reniformis*, principal nematodo fitoparásito en el sureste de Estados Unidos es capaz de reproducirse en las especies de malezas *Sida spinosa*, *Amaranthus retroflexus*, *Ambrosia artemisiifolia*, *Ipomoea hederacea* (Lawrence et al. 2008). Los nematodos del género *Meloidogyne* son capaces de parasitar las malezas *Eleusine indica*, *Portulaca oleracea*, *Solanum americanum*, *Amaranthus* spp. y *Lepidium virginicum* en Florida, Estados Unidos (Myers et al. 2004) y *Senecio vulgaris* y *Capsella bursa-pastoris* en Holanda (Kutywayo y Been 2006). Bélair et al. (2007) determinaron que las malezas *A. retroflexus*, *A. artemisiifolia*, *Cyperus rotundus*, *Chenopodium album*, *Polygonum persicaria* y *Spergula arvensis* son frecuentes en cultivos de papa en Québec y hospedan al nematodo lesionador *Pratylenchus penetrans*.

Estudios realizados en Suramérica han permitido identificar malezas de la familia de las solanáceas como hospedantes de *Globodera* spp., algunos pertenecientes a los géneros *Solanum* y *Physalis* (Sullivan et al. 2007). En Bolivia, *S. arvensis* es una maleza asociada a las plantaciones de papa y aparece como hospedera del nematodo *Nacobbus aberrans* (Doucet et al. 1994).

A pesar de la importancia económica y social que tiene el cultivo de papa en Costa Rica, los estudios sobre el papel de las malezas como hospedantes alternativos

de nematodos fitoparásitos, son escasos, a esto se le suma que los agricultores generalmente tienden a dejar en barbecho el terreno que fue cosechado, situación que permite que el banco de semillas de malezas del suelo cuente con condiciones favorables para la germinación de las mismas, además de que las malezas pueden convertirse en fuente de inóculo de nematodos fitoparásitos para la siguiente plantación.

I.A. Objetivo general

Generar información que permita conocer los principales nematodos fitoparásitos asociados a las principales malezas en fincas productoras de papa (*Solanum tuberosum* L.) en la Provincia de Cartago.

I.B. Objetivos específicos

- 1- Identificar taxonómicamente de las principales malezas asociadas al cultivo de papa.
- 2- Determinar la presencia de los principales géneros de nematodos fitoparásitos en las malezas asociadas a cultivos de papa.
- 3- Calcular la frecuencia relativa de los nematodos fitoparásitos asociados a las malezas.

II. Revisión de literatura

II.A. Generalidades del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.)

Origen

El cultivo de la papa tiene sus orígenes en los Andes Suramericanos, ha sido cultivada y mejorada al menos durante ocho mil años. Del género *Solanum* al que pertenece la papa se conocen dos mil especies. Cerca de ciento ochenta especies de *Solanum* producen tubérculos; ocho son cultivadas como alimento, pero sólo *Solanum tuberosum* presenta distribución mundial (MAG 2007).

A mediados del siglo XVI la papa fue introducida a Europa por los conquistadores españoles los cuales la llevaron de Perú, lugar en el cual era importante en la alimentación de los indígenas, sin embargo, en el viejo continente se cultivó primeramente como planta exótica, de este modo tuvieron que transcurrir cerca de dos siglos para que fuera introducido en la dieta regular de los países europeos (FAO 1995).

Botánica

La papa pertenece a la familia Solanaceae, en la cual se encuentran cultivos como el tomate (*Solanum lycopersicum*), el chile (*Capsicum* spp.) y la berenjena (*Solanum melongena*), entre otros (Huamán 1986). Es una planta herbácea, suculenta y es anual por su parte aérea, y posee potencial perenne, ya que al final de los estolones se desarrollan los tubérculos, los cuales pueden dar origen a nuevas plantas (Montaldo 1984), está constituida por tallos aéreos que tienen su origen de los brotes

del tubérculo utilizado como semilla, mientras que el estolón origina al tubérculo, tallo subterráneo especializado para el almacenamiento de azúcares en forma de almidón. La papa en su etapa adulta presenta hojas pinnadas compuestas, las flores son pentámeras que difieren en su coloración según la variedad (Egusquiza 2000).

Importancia económica

El área cultivada con hortalizas en Costa Rica para el 2015 fue de 9.409 ha, la papa destaca como la hortaliza con mayor área sembrada, en ese mismo año la provincia de Cartago fue la principal zona de producción, con 2.854 ha de un total de 3.674 ha sembradas. El valor bruto de la producción para ese mismo año fue de 54.802 millones de colones, lo cual representó un 1,9% del total de las actividades agrícolas efectuadas en el país (SEPSA 2016). En Costa Rica, la actividad papera benefició aproximadamente a 1500 agricultores, la provincia de Cartago representó el 66% de dicha cantidad (INEC 2015).

Del año 2009 a 2012 el consumo nacional de papa pasó de 12,2 a 20,8 Kg per cápita/año, además, la papa es la segunda hortaliza de mayor preferencia en los hogares costarricenses, superada únicamente por el tomate (PIMA 2013).

II.B. Aspectos fitosanitarios de importancia económica asociadas al cultivo

Los cultivos alrededor del mundo son afectados por diferentes enfermedades, insectos y malezas, se estima que las pérdidas en rendimiento pueden ser entre 31 y 42% (Agrios 2005), en tanto que las malezas pueden ocasionar hasta un 40% de dichas pérdidas (Jafari *et al.* 2013).

Entre las enfermedades que afectan al cultivo de papa se puede citar el tizón tardío, la cual afecta las plantaciones a nivel mundial (Román *et al.* 2015; Oerke 2006), ésta es ocasionada por *P. infestans*, el cual es considerado como el oomicete de mayor importancia económica a nivel global (Kamoun *et al.* 2015) y puede ocasionar que la producción se pierda en su totalidad (Fernández *et al.* 1999). En 2009, las pérdidas económicas ocasionadas por este patógeno a nivel mundial en el cultivo de papa fueron de 6.7 billones de dólares (Nowicki *et al.* 2012).

Otra enfermedad que afecta al cultivo de papa es la marchitez bacteriana, que es ocasionada por *Ralstonia solanacearum*. Esta bacteria es catalogada como la segunda de mayor importancia económica a nivel mundial debido a que, afecta diversos cultivos, posee un alto potencial destructivo y su rango de hospederos asciende a 200 especies de plantas pertenecientes a diferentes familias (Mansfield *et al.* 2012), y puede ocasionar pérdidas de hasta un 90% en el rendimiento de la papa (Elphinstone 2005). Algunos patógenos como *Rhizoctonia solani*, *Spongospora subterranea*, *Erwinia carotovora* *Streptomyces* spp., entre otros, también afectan al cultivo (Brenes y Gómez 2009).

Respecto a plagas insectiles que afectan a la papa, destacan *Phthorimaea operculella* y *Tecia solanivora* (syn. *Scrobipalopsis solanivora* Povolny), esta última tiene su origen en Centroamérica (Niño y Nozt 2000; Raman 1980). En 1970 se reportó en Costa Rica con daños cercanos al 42% (Hilje y Cartín 1990) y está distribuida en todas las áreas productoras de papa, principalmente en la zona norte de la provincia

de Cartago (MAG 2007). Otros insectos que también afectan al cultivo son *Mysus persicae*, *Liriomyza huidobrensis* y *Epitrix* spp. (Pumisachio y Sherwood 2002).

Otro de los problemas fitosanitarios que enfrentan los cultivos, son los nematodos fitoparásitos, con más de cien géneros (Arauz 2011), los cuales se encuentran agrupados en los órdenes Rhabditida, Dorylaimida y Triplonchida (Perry y Moens 2013).

Nematodos fitoparásitos

Generalidades

Los nematodos son organismos translúcidos, no presentan segmentaciones internas, son pseudocelomados, lo que indica que poseen un espacio ocupado por líquidos entre la pared del cuerpo y el tubo digestivo. En el caso de los nematodos fitoparásitos uno de los aspectos que los identifica es que cuentan con una estructura denominada estilete, la cual tiene la capacidad de extenderse hacia afuera y es hueca (Rivera 2007) y es utilizada para penetrar las células de las plantas y así extraer el contenido celular (Lagunes y Zavaleta 2016, Jones *et al.* 2013).

Dentro del orden Rhabditida se encuentran los Tylenchidos, el grupo más diverso de nematodos fitoparásitos, la mayoría de estos nematodos presentan más de una etapa infectiva y son capaces de sobrevivir en condiciones adversas la mayor parte de su ciclo de vida. Por otro lado, los órdenes Dorylaimida y Triplonchida poseen un número menor de nematodos parásitos de plantas. Además, en estos dos órdenes

se encuentran los únicos nematodos capaces de transmitir virus en plantas (De Ley 2006).

Los nematodos fitoparásitos son clasificados según el hábito alimenticio, es decir, aquellos que logran penetrar la raíz son catalogados como endoparásitos e incluyen nematodos como *Meloidogyne*, *Pratylenchus* y los formadores de quistes como *Globodera* y *Heterodera* (Guzmán *et al.* 2012; Wale *et al.* 2008); por otro lado, se encuentran los ectoparásitos, que permanecen en la superficie de las raíces e insertan su estilete para alimentarse, tales como los géneros *Tylenchorhynchus*, *Trichodorus*, *Paratrichodorus*, *Xiphinema*, *Longidorus*, *Paratylenchus*, *Hemicycliophora*, entre otros (Bridge y Starr 2007).

Importancia económica

A nivel internacional, *S. tuberosum* es afectado aproximadamente por 68 especies de nematodos fitoparásitos, los cuales se encuentran agrupados en 24 géneros (Brodie 1998). A nivel global, se estima que los nematodos asociados al cultivo de papa ocasionan disminución del rendimiento de 12,2% y generan pérdidas económicas de \$ 5.789.403,696 (Ravichandra 2014).

Los fitonematodos de mayor impacto negativo que se han reconocido en el cultivo de la papa son *Meloidogyne*, *Globodera* y *Pratylenchus* (Palomares *et al.* 2014; Luc *et al.* 2005), los cuales son catalogados como los de mayor importancia a nivel mundial en diversos cultivos (Jones *et al.* 2013). De los nematodos fitoparásitos que afectan al cultivo y que poseen restricciones fitosanitarias a nivel mundial se

encuentran *Ditylenchus destructor*, *Globodera rostochiensis*, *G. pallida*, *Nacobbus aberrans*, *Meloidogyne chitwoodi* entre otros (Singh *et al.* 2013; Carta *et al.* 2005). De este modo, no se permite el ingreso de un producto proveniente de un país en el que se ha reportado la presencia de la plaga restringida, con el fin de evitar potenciales pérdidas económicas (FAO 2006).

Meloidogyne

Este género es conocido como el nematodo formador de nódulos de la raíz y ocupa el primer lugar en importancia económica a nivel global, por el impacto negativo que tienen en las áreas agrícolas y por el amplio rango de hospederos, ya que pueden afectar a más de 2000 especies de plantas (Jones *et al.* 2013; Agrios 2005). *Meloidogyne* puede ocasionar pérdidas del 25 % o más, y su impacto está relacionado con una serie de factores como susceptibilidad del cultivo empleado y las condiciones ambientales imperantes. El efecto directo de este nematodo es la disminución del rendimiento del cultivo, mientras que puede impactar de forma indirecta ya que en tubérculos de papa infectados ocasionan protuberancias en forma de verrugas, ocasionando pérdida de calidad (Montero *et al.* 2007; Luc *et al.* 2005).

Los nematodos del género *Meloidogyne* son endoparásitos sedentarios que inducen sitios de alimentación denominados células gigantes, que se forman como resultado de un alargamiento celular (hipertrofia) y proliferación de células cerca de la parte anterior del nematodo (hiperplasia) (De Almeida *et al.* 1999; Taylor y Sasser 1978).

Este género presenta un marcado dimorfismo sexual, en donde la hembra madura presenta forma de pera mientras que el macho y el segundo estado juvenil son vermiformes, éste último es el estado infectivo y es utilizado en la identificación morfológica a nivel de género (Perry y Moens 2013; Singh 2009). Las raíces de las plantas afectadas presentan agallas, que impiden la absorción de agua y nutrientes, lo que retrasa el crecimiento y disminuye el rendimiento del cultivo (Taylor y Sasser 1983).

El género contiene más de 100 especies (Jones *et al.* 2013), la mayoría pueden parasitar el cultivo de papa, sin embargo, sólo seis son consideradas como las de mayor importancia económica a nivel mundial; *M. chitwoodi*, *M. fallax*, *M. hapla*, *M. arenaria*, *M. incognita* y *M. javanica*, las tres primeras se encuentran en regiones de clima templado y las tres últimas se encuentran en zonas tropicales y subtropicales (Onkendi y Moleleki 2013; Vovlas *et al.* 2005)

Globodera

Pertenece al grupo de nematodos formadores de quistes, estructura que se forma como producto de la muerte de la hembra, en donde su cutícula se endurece y se torna de color marrón, en su interior se encuentran los huevos (Franco 1986). *Globodera* junto a *Heterodera* son los de mayor importancia económica a nivel global (Jones *et al.* 2013).

Globodera es clasificado como un nematodo endoparásito sedentario; endoparásito ya que desarrolla la mayor parte de sus estados de desarrollo dentro del

tejido de las plantas y es sedentario porque una vez dentro de la raíz se establece cerca del cilindro vascular en donde con el estilete penetra una célula e induce la formación del sitio de alimentación denominado sincitio (OEPP/EPPO 2013; Haegeman *et al.* 2012; Escobar y Fenoll 2008, Núñez *et al.* 2003). El sincitio es una estructura multinucleada que se origina por la degradación de la pared celular de las células vecinas y la fusión de sus protoplastos (Williamson y Hussey 1996).

Se conoce que el género *Globodera* produce grandes daños, en la región andina, donde ocasiona que el rendimiento del cultivo de papa pueda disminuir entre 13,2 hasta un 58% (Ortuño *et al.* 1999). *Globodera* agrupa 6 especies (Perry y Moens 2013), de las cuales *G. pallida* y *G. rostochiensis* son las de mayor importancia económica asociadas al cultivo y pueden sobrevivir períodos de hasta 20 años en el suelo en ausencia de su hospedero (Eves-van den Akker *et al.* 2016, Jones *et al.* 2009; Handoo 1998).

Estos nematodos presentan un marcado dimorfismo sexual, ya que la hembra al madurar obtiene una forma de globo lo cual le da origen a su nombre, mientras que los machos en su estado adulto son vermiformes (Skantar *et al.* 2011; Franco 1986), el segundo estado juvenil es el infectivo, es decir, busca las raíces orientado por los exudados emitidos por éstas y con ayuda del estilete penetra las células radicales (Von Mende *et al.* 1998).

Pratylenchus

El nematodo lesionador de la raíz es catalogado como el tercer género de mayor importancia económica, debido a que afecta una diversidad de cultivos agrícolas alrededor del mundo (Jones *et al.* 2013) y es un endoparásito migratorio que invade la corteza de raíces, tubérculos y bulbos (Al-Banna *et al.* 1997).

Pratylenchus no presenta dimorfismo sexual, es infectivo en todos sus estadios, a excepción de la etapa de huevo (Siddiqui 1986); las raíces afectadas por estos nematodos presentan lesiones necróticas y cuando las poblaciones son altas, se presentan plantas cloróticas y con crecimiento retardado (Jatala 1986; Hooker 1981). Los tubérculos de papa afectados por este género presentan un agrietamiento de su superficie y descomposición de su parte interna, a esto se le suma que esas lesiones pueden ser un punto de acceso para otros patógenos (Castillo y Vovlas 2007)

Se han identificado más de 70 especies de *Pratylenchus* (Jones y Fosu-Nyarko 2014; Perry y Moens 2013), entre las especies reportadas asociadas al cultivo de papa a nivel mundial se encuentran *P. brachyurus*, *P. coffea*, *P. crenatus*, *P. neglectus*, *P. thornei*, *P. scribneri*, *P. penetrans* (Palomares *et al.* 2014; Ravichandra 2014).

II.C. Malezas

Desde punto de vista agronómico las malezas son aquellas plantas que carecen de valor para el hombre y que tienen la capacidad de crecer junto o en forma paralela a los cultivos de importancia económica, ocasionan daños directos e indirectos, y

afectan la producción de los mismos (Poggio 2012, Blanco y Leyva 2007; Torres y Andrade 2011; Davis y Webster 2005).

En el cultivo de papa el combate de las malezas debe realizarse durante los primeros 20 a 30 días de haber emergido la planta, período catalogado como crítico ya que de no ejercer el control se originan impactos directos como disminución del rendimiento por la competencia ejercida con el cultivo, también efectos indirectos como incremento en los costos de producción y hospederos alternativos de plagas (Torres y Andrade 2011).

Malezas como hospedantes alternativos de nematodos

Las malezas que crecen junto a los cultivos o en ausencia de los mismos, poseen la capacidad de hospedar en forma alternativa a los nematodos fitoparásitos, permiten mantener las poblaciones y convertirse en una fuente de inóculo para cultivos siguientes (Brentu *et al.* 2013; Ibrahim *et al.* 2010; Lawrence *et al.* 2008; Kaur *et al.* 2007; Thomas *et al.* 2005).

En el cultivo de plátano, *Pratylenchus speijeri*, *Meloidogyne javanica* y *Helicotylenchus multicinctus* se reportan asociados a malezas como *Rottboeillia conchinchinensis* y *Acalypha ciliata*. Además, *Pratylenchus speijeiri* y *Helicotylenchus multicinctus* se observaron asociados con *Brachiaria deflexa*, *Sida acuta* y *Boerhavia diffusa* (Brentu *et al.* 2013). En Brasil, especies como *Amaranthus retroflexus*, *Bidens pilosa*, *Cyperus rotundus*, *Eleusine indica* y *Galinsoga parviflora*, son reportadas

asociadas al cultivo de caña de azúcar y son hospederos de *Pratylenchus zae* (Bellé *et al.* 2017).

Las malezas que se reportan más comúnmente asociadas al cultivo de papa pertenecen a las familias Brassicaceae en México (Pérez y Ramírez 2003) y Chenopodiaceae y Amaranthaceae en Bulgaria, México, Irán y Estados Unidos (Mehring *et al.* 2016; Samaliev y Markova 2014; Jafari *et al.* 2013; Samaliev y Kalinova 2013; Bélair *et al.* 2007; Pérez y Ramírez 2003; Boydston y Vaughn 2002).

En Costa Rica, el estudio de malezas asociadas a cultivos hortícolas como hospedantes de nematodos fitoparásitos, es escaso, López y Salazar (1978) en su estudio sobre hospedantes de *Meloidogyne hapla* señalan a *Sonchus oleraceus*, *Galinsoga parviflora*, *Hipochaeris radicata*, *Iresine celosia*, *Conyza coronapifolia*, *Cirsium mexicanum*, *Rumex acetocella*, *Solanum americanum* y *Gnaphalium americanum*, como hospedantes de este nematodo.

López y Azofeifa (1981) en un trabajo realizado sobre los principales nematodos fitoparásitos en las mayores zonas productoras de hortalizas en Costa Rica señalan a *Meloidogyne hapla* asociado con *Bidens pilosa* y *Cirsium subcoriaceum*. López y Quesada (1997) en un estudio en condiciones de invernadero, encontraron a *Asclepias curassavica*, *Acmella oppositifolia*, *Tagetes microglossa* y *T. jalisciensis* como hospedantes de *Meloidogyne incognita*.

III. Materiales y métodos

III.A. Ubicación

La identificación de los principales géneros de nematodos fitoparásitos asociados a malezas en fincas productoras de papa se realizó en 15 fincas ubicadas en la Zona Norte de la Provincia de Cartago, cada finca se georreferenció con un GPS (Garmin: GPSmap 76CSx) (Figura 1).

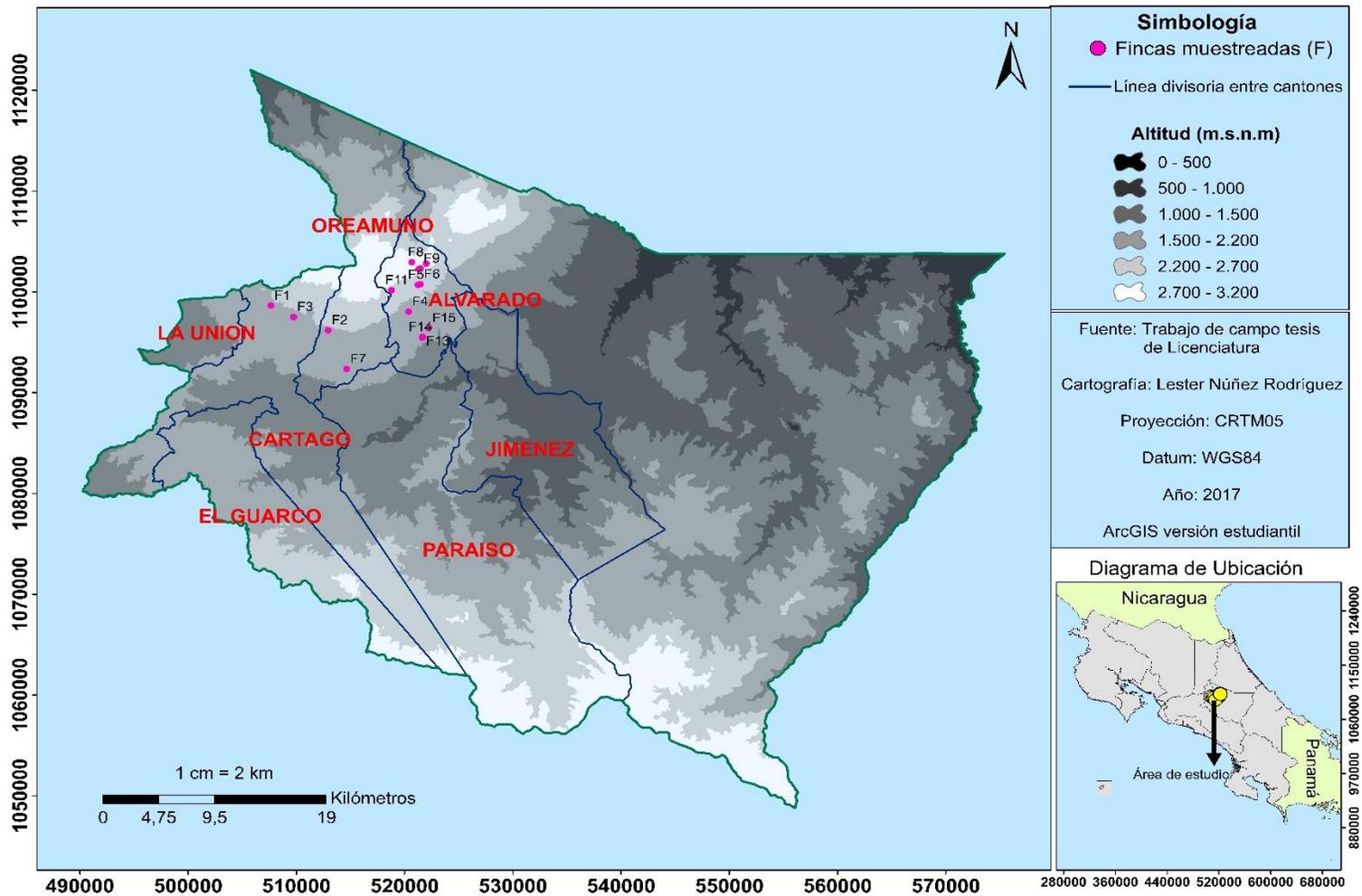


Figura 1. Distribución geográfica de fincas productoras de papa muestreadas, Cartago, Costa Rica. Agosto de 2016-marzo de 2017

III.B. Recolección de muestras

Determinación del área mínima para muestrear malezas.

Las fincas seleccionadas tenían el cultivo establecido y estaban cerca de la etapa de cosecha. En cada finca se determinó el área mínima mediante la metodología propuesta por Jurgens (1985) para lo cual se empleó un marco de 1 m² con divisiones de 10 cm², el cual se lanzó y se anotaron las especies presentes dentro de este, posteriormente el área inicial se duplicó (2 m²) y se realizó la anotación de las especies nuevas que aparecieron, este proceso se repitió duplicando el área cada vez, hasta que no se presentaran nuevas especies; con el área cubierta en ese momento se estableció el área mínima de muestreo en cada finca, la cual fue de 4 m².

Selección y recolección de malezas.

En cada una de las fincas estudiadas se tomaron cinco puntos de muestreo seleccionados mediante el recorrido por la finca en forma de zig-zag, en cada punto se realizó el levantamiento de malezas en el área mínima de muestreo determinada previamente, por medio del método de cuadrantes, para esto se usó un marco de 1m² el cual se colocó sobre la vegetación, se hizo identificación de especies de malezas dentro del marco y se contó el número de cuadros en que ésta apareció, lo cual representó el porcentaje de cobertura dentro del cuadro, los resultados fueron registrados en una hoja de recolección de datos (Mostacedo y Fredericksen 2000). Posteriormente, en una hoja de cálculo del programa Microsoft Excel 2013 se calculó el porcentaje de cobertura promedio de las malezas, el cual se calculó de la siguiente forma:

Cobertura promedio (%): $a/(b*c*d)$

Donde:

a: sumatoria del porcentaje de cobertura de la especie "X"

b: número de fincas estudiadas

c: puntos de muestreo de malezas realizados por finca

d: número de veces que se lanzó el marco de 1m² por levantamiento de malezas

La frecuencia de ocurrencia (%) de los nematodos y las malezas se calculó con la fórmula propuesta por Asif *et al.* (2015):

Frecuencia de ocurrencia (%): $\frac{n_i}{N} \times 100$

Donde:

n_i: cantidad de veces que aparece un individuo "x"

N: total de muestras analizadas o número de fincas muestreadas

La frecuencia relativa permite calcular la frecuencia total de todos los eventos sobre la base de 100% (Barker *et al.* 1985), de este modo la fórmula empleada para determinar la frecuencia relativa (%) de los nematodos asociados a las malezas fue la siguiente:

Frecuencia relativa (%): $\frac{n_i}{N} \times 100$

Donde:

n_i: número de veces que se presenta un evento

N: total de muestras analizadas

La selección de las especies de malezas a muestrear para estudiar la presencia o no de nematodos, se realizó con base en el valor de porcentaje de cobertura promedio más alto, de este modo se eligió un máximo de cinco especies por finca. Para cada especie de maleza se recolectaron cinco muestras compuestas de raíces, se seleccionaron cinco puntos para recolectar las plantas que conformaban cada muestra compuesta, esto se realizó por medio de un recorrido de la finca en forma de zig-zag. Las muestras se colocaron en bolsas plásticas identificadas y se llevaron al Laboratorio de Nematología del Centro de Investigaciones en Protección de Cultivos de la Universidad de Costa Rica (CIPROC-UCR) para proceder a la revisión y procesado de raíces.

Identificación de malezas

La identificación de las malezas, siempre que fue posible se hizo en el campo, mientras que aquellas que no se lograron identificar *in situ* fueron recolectadas en diferentes estados de desarrollo (plántula, planta con inflorescencia) para su posterior identificación en el laboratorio; estas plantas fueron envueltas en papel periódico húmedo para prevenir su deshidratación, se guardaron en bolsas plásticas debidamente rotuladas y se llevaron al laboratorio donde se colocaron en prensas de secado para la conservación de las mismas.

El reconocimiento de las plantas recolectadas, se realizó con apoyo del Laboratorio de Arvenses de la Universidad de Costa Rica, además, se utilizaron guías,

manuales y libros, búsqueda en sitios web especializados en el reconocimiento de malezas como: CONABIO (2012) y Soto *et al.* (2011).

III.C. Revisión de raíces e identificación a nivel de género de nematodos

En el Laboratorio de Nematología del CIPROC (UCR) se realizó la revisión de las muestras. Las raíces de éstas se observaron con ayuda de un estereoscopio (Nikon SMZ745T) en donde se determinó si había presencia de agallas y/o nematodos formadores de quistes (hembras blancas o quistes) adheridos a las raíces. Las muestras positivas se registraron en una hoja de recolección de datos realizada en el programa Microsoft Excel 2013.

Luego, con agua de tubo se realizó el lavado de las raíces de las plantas que conformaban la muestra compuesta, posteriormente, las raíces se cortaron en trozos de 1 cm, se homogenizó y se pesó una muestra de 10 gr de raíz la cual fue procesada siguiendo el método propuesto por Caveness y Jensen (1955) modificado por el Laboratorio de Nematología (UCR), la muestra se maceró por 15-30 segundos con una licuadora según dureza de las raíces. El macerado se pasó a través de cribas superpuestas de 100 y 500 mesh; el material de la criba superior se lavó con abundante agua y luego se descartó. El contenido de la criba la 500 mesh se traspasó a un tubo de 50 ml y se centrifugó a 3000 r.p.m. durante 3 minutos. Posteriormente el supernadante fue eliminado y se agregó una solución azucarada cuya densidad específica fue de 1,18 (471 g de sacarosa/L de agua) y se volvió a centrifugar durante 3 minutos 3000 r.p.m. El supernadante se colocó en la criba de 500 mesh, se lavó con

abundante agua y se transfirió a un platillo contador para realizar la identificación morfológica y conteo de los géneros presentes en cada muestra por medio de un microscopio invertido (Leica CMS GmbH).

IV. Resultados y discusión

IV.A. Identificación de malezas asociadas al cultivo de papa

Las familias de malezas que presentaron el valor de frecuencia de ocurrencia más alto fueron Brassicaceae (93.3%), Polygonaceae (80%) y Poaceae (66.7%) (cuadro 1). Marroquin (1993), en Guatemala, encontró asociadas al cultivo de papa, malezas pertenecientes a las familias Brassicaceae, Asteraceae, Commelinaceae, Caryophyllaceae y Poaceae. Yohannes (2011), indica que en Etiopía, predominan en este cultivo entre otras, las familias Asteraceae, Chenopodiaceae, Plantaginaceae, Polygonaceae, Poaceae y Cyperaceae, datos que concuerdan con lo encontrado en este trabajo.

Cuadro 1. Frecuencia de ocurrencia (% F. O) de malezas agrupados a nivel de familia

Familia	%F. O
Asteraceae	40,0
Brassicaceae	93,3
Caryophyllaceae	33,3
Chenopodiaceae	6,7
Commelinaceae	13,3
Cyperaceae	20,0
Juncaceae	20,0
Plantaginaceae	6,7
Poaceae	66,7
Polygonaceae	80,0
Rubiaceae	13,3
Scrophulariaceae	13,3

El total de malezas identificadas con mayor porcentaje de cobertura promedio fueron 27 especies, pertenecientes a 12 familias botánicas diferentes, las especies de malezas que presentaron el valor más alto del porcentaje de cobertura promedio fueron *L. virginicum* (24%), *P. annua* (10.8%), *S. arvensis* (9.9%), *P. segetum* (8.5%) y *B. campestris* (7.1%). Además, las especies que presentaron el valor de frecuencia de ocurrencia más alto fueron *L. virginicum* (53.3%), *B. campestris* (46.7%) y *P. annua* (46.7%), mientras que *S. oleraceus*, *C. bursa-pastoris*, *S. vulgaris*, *P. australis* y *C. album*, son algunos ejemplos de malezas que se encontraron asociadas con valor de frecuencia de ocurrencia de 6.7%, siendo este el valor más bajo (Cuadro 2).

En Guatemala, *B. campestris* es una especie asociada frecuentemente al cultivo de papa (Marroquin 1993), en Colombia, *P. annua*, *S. arvensis*, *Galinsoga ciliata*, *S.*

vulgaris, *S. oleraceus*, *C. bursa-pastoris*, *Brassica* spp., *P. aviculare*, *P. segetum*, *R. acetocella* se encuentran asociados comúnmente en cultivos de clima frío (Jamaica y Plaza 2014; Cárdenas *et al.* 1970). En Costa Rica, *B. campestris*, *P. annua*, *Polygonum* spp., *C. album*, *Lolium* spp., *Galinsoga* spp. y *S. oleraceus* se observan especialmente en cultivos hortícolas de zona alta (Araya 2000; Villalobos 1999), lo que concuerda con los resultados obtenidos.

Cuadro 2. Porcentaje (%) de Cobertura promedio y frecuencia de ocurrencia (% F.O) de malezas asociadas a plantaciones de papa (*S. tuberosum*) en la Zona Norte de la provincia de Cartago.

Familia/especie (s)	Cobertura promedio (%)	%F. O	Localidad (es)	Altitud (m.s.n.m.)
Asteraceae				
<i>Galinsoga parviflora</i>	0,77	6,7	Pacayas	2169
<i>Galinsoga quadriradiata</i>	0,8	6,7	Tierra Blanca	1635
<i>Melampodium perfoliatum</i>	1,6	13,3	Pacayas/Capellades	1684/ 1786
<i>Senecio vulgaris</i>	0,39	6,7	Bajo Rojas	2489
<i>Sonchus oleraceus</i>	0,087	6,7	Bajo Rojas	2501
Brassicaceae				
<i>Brassica campestris</i>	7,1	46,7	Charcalillos/Llano Grande/Pacayas/Paso Ancho de Oreamuno/Tierra Blanca	2083/ 2186/ 1684/ 1656/ 2619
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	1,2	6,7	Tierra Blanca	2619
<i>Cardamine flaccida</i>	0,42	6,7	Pacayas	1684
<i>Lepidium virginicum</i>	24	53,3	Bajo Rojas/Charcalillos/El Convenio/San Rafael de Irazú	2501/ 2083/ 2907/ 2622
Caryophyllaceae				
<i>Spergula arvensis</i>	9,9	33,3	Bajo Rojas/Charcalillos/El Convenio/San Rafael de Irazú	2501/ 2083/ 2907/ 2622
Chenopodiaceae				
<i>Chenopodium album</i>	0,87	6,7	Llano Grande	2186
Commelinaceae				
<i>Commelina diffusa</i>	1,4	13,3	Pacayas, Capellades	1635/ 1786
Cyperaceae				
<i>Cyperus esculentus</i>	0,39	6,7	Capellades	1786
<i>Cyperus sesquiflorus</i>	0,95	6,7	Pacayas	1635

Cuadro 2. (Continuación)

Familia/especie (s)	Cobertura promedio (%)	%F. O	Localidad (es)	Altitud (m.s.n.m.)
<i>Cyperus</i> spp.	0,95	6,7	Paso Ancho de Oreamuno	1656
Juncaceae				
<i>Juncus bufonius</i>	3,5	20	Bajo Rojas, El Convenio	2489/ 2907
Plantaginaceae				
<i>Plantago australis</i>	0,11	6,7	El Convenio	2809
Poaceae				
<i>Bromus carinatus</i>	0,18	6,7	Llano Grande	2124
<i>Eleusine indica</i>	0,45	6,7	Pacayas	1656
<i>Lolium perenne</i>	1,2	13,3	San Rafael de Irazú, Llano Grande	2622/ 2186
<i>Poa annua</i>	10,8	46,7	Bajo Rojas, Charcalillos, El Convenio, Tierra Blanca	2501/ 2083/ 2907/ 2169
Polygonaceae				
<i>Polygonum aviculare</i>	3,3	13,3	Llano Grande, Tierra Blanca	2186/ 2169
<i>Polygonum segetum</i>	8,5	40	Llano Grande, Charcalillos, Paso Ancho de Oreamuno, Capellades, Pacayas	2186/ 2083/ 1684/ 1786/ 1656
<i>Rumex acetocella</i>	1,1	6,7	San Rafael de Irazú	2622
<i>Rumex obtusifolius</i>	5,3	40	Bajo Rojas, Charcalillos, El Convenio, Llano Grande, San Rafael de Irazú	2489/2083/2809 / 2124/ 2622
Rubiaceae				
<i>Richardia scabra</i>	1,4	13,3	Pacayas, Paso Ancho de Oreamuno	1656/ 1684
Scrophulariaceae				
<i>Calceolaria mexicana</i>	1,1	13,3	Bajo Rojas, El Convenio	2501/ 2809

Basados en el valor de altitud de las fincas, se puede realizar división de las mismas en tres zonas, las cuales son: zona baja (altitud inferior a 2200 m.s.n.m.), zona media (entre 2200-2700 m.s.n.m.) y zona alta (altitud superior a 2700 m.s.n.m.). De este modo, en el Cuadro 2 se puede observar que la distribución de malezas varió según la altitud. Especies como *M. perfoliatum*, *C. diffusa* y *E. indica*, entre otras, estuvieron presentes únicamente en la zona baja, mientras especies como *R. acetocella*, *S. vulgaris* y *S. oleraceus* se presentaron sólo en la zona media, por otro lado *L. virginicum*, *P. annua*, *R. obtusifolius* y *S. arvensis* estuvieron presentes en las tres zonas.

Lo anterior puede ser debido a que conforme incrementa la altitud la temperatura disminuye y éste es un factor que puede incidir en forma negativa sobre la germinación de las semillas o puede ocasionar la muerte de plantas, lo cual incide sobre la distribución de las malezas, donde las especies adaptadas a diferentes rangos de temperatura podrán tener mayor distribución (Chapman *et al.* 2014).

IV.B. Determinación de presencia de nematodos asociados a las malezas analizadas

Se analizaron un total de 338 muestras compuestas de raíces de malezas, basados en caracteres morfológicos se realizó identificación de nematodos asociados a dichas muestras, de este modo se identificaron un total de quince géneros y tres familias de nematodos (Criconematidae, Heteroderidae y Trichodoridae). Los nematodos que obtuvieron el mayor valor de frecuencia de ocurrencia fueron *Pratylenchus* (69.5%), *Helicotylenchus* (47%), *Meloidogyne* (43.2), *Tylenchus* (39.6%) y nematodos de la familia Heteroderidae (26%) (Figura 2).

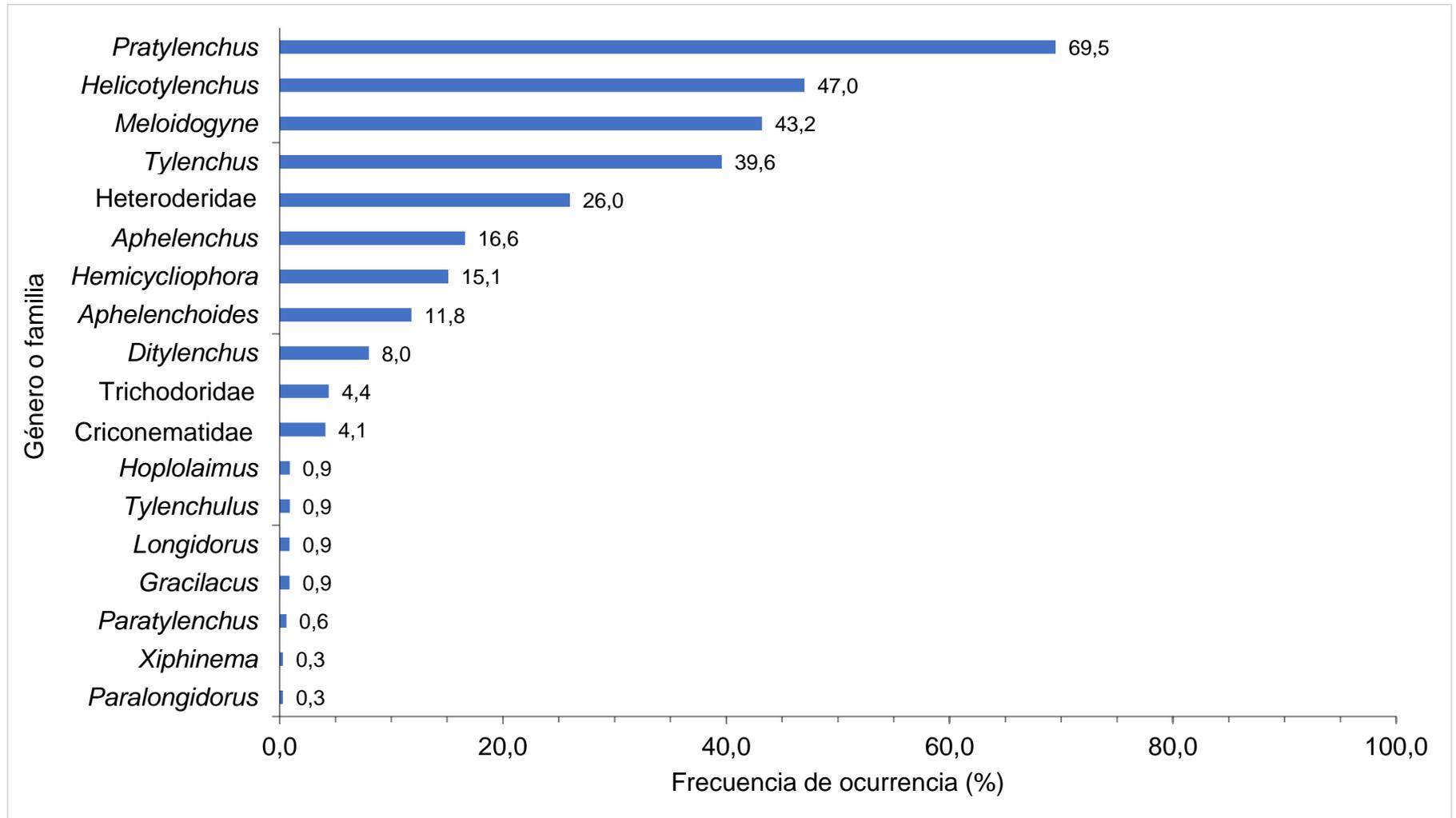


Figura 2. Frecuencia de ocurrencia (%) de nematodos fitoparásitos asociados a las malezas muestreadas. Cartago, Costa Rica. 2016-2017.

La identificación de nematodos basados en caracteres morfológicos presenta la desventaja de que existen nematodos que presentan caracteres muy similares entre sí, lo que impide su identificación, razón por la cual se puede identificar a nivel de género y en ocasiones sólo a nivel de familia a la que pertenecen (Gonçalves *et al.* 2011).

El género *Tylenchus* fue uno de los géneros más frecuentes, sin embargo, no es considerado de gran importancia económica, ya que posee un gran número de especies que se alimentan de hongos (Yeates *et al.* 1993). De los nematodos observados, el nematodo agallador de las raíces (*Meloidogyne* spp.) y el nematodo lesionador de las raíces (*Pratylenchus* spp.) se reportan como dos de los principales géneros que afectan al cultivo de papa (Palomares *et al.* 2014; Luc *et al.* 2005).

Aunque la frecuencia ocurrencia de los nematodos de la familia Trichodoridae y Longidoridae (*Longidorus* spp., *Paralongidorus* spp. y *Xiphinema* spp.) fue baja (menos de 1%), cabe mencionar que son las únicas que poseen nematodos que pueden ser vectores en virus de plantas (Decraemer y Robins 2007). Además, estudios en invernadero han permitido demostrar que nematodos de la familia Trichodoridae pueden alimentarse de malezas como *Solanum nigrum*, *Stellaria media* y *Sonchus oleraceus* (Mojtajedi *et al.* 2003).

Con relación a la altitud de las fincas muestreadas, esta se encontró entre los 1635 hasta los 2907 m.s.n.m. Un total de 243 muestras fueron recolectadas en altitudes superiores a 2000 m.s.n.m., en las cuales *Pratylenchus* spp., *Helicotylenchus*

spp. y *Meloidogyne* spp. se encontraron asociados con una frecuencia de ocurrencia de 93, 29 y 26% respectivamente, mientras que las 95 muestras restantes que se recolectaron en altitudes inferiores a 2000 m.s.n.m., los géneros *Helicotylenchus*, *Meloidogyne* y *Pratylenchus* se encontraron con una frecuencia de ocurrencia de 92, 87 y 9%, respectivamente.

Conforme incrementa la altitud la temperatura disminuye, Castillo y Vovlas (2007), citan que la temperatura es un factor abiótico que influye sobre la movilidad y reproducción de los nematodos. Por ejemplo, en raíces de alfalfa, la densidad poblacional más alta de *Pratylenchus crenatus* se presentó a 10° C y decreció conforme la temperatura incrementó hasta los 27° C, siendo esta última en la que se obtuvo la densidad poblacional más baja, sin embargo, el valor óptimo de temperatura varía según la especie de nematodo (Kimpinski y Willis 1981).

En el presente estudio, el número de especies de malezas asociados al género *Meloidogyne* fue de veintitrés, veinte para *Pratylenchus* y doce para nematodos de la familia Heteroderidae (Cuadro 3).

Cuadro 3. Malezas asociadas a los géneros *Meloidogyne* (M), *Pratylenchus* (P) y nematodos de la familia Heteroderidae (H).

Especie de maleza	Nematodo (s) asociado (s)
<i>Brassica campestris</i>	H, M, P
<i>Bromus carinatus</i>	M, P
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	H, P
<i>Cardamine flaccida</i>	M
<i>Calceolaria mexicana</i>	H, M, P
<i>Chenopodium album</i>	M, P
<i>Commelina diffusa</i>	M
<i>Cyperus esculentus</i>	M
<i>Cyperus sesquiflorus</i>	M
<i>Cyperus</i> sp.	M
<i>Eleusine indica</i>	M
<i>Galinsoga parviflora</i>	M
<i>Galinsoga quadriradiata</i>	H, M, P
<i>Juncus bufonius</i>	M, P
<i>Lepidium virginicum</i>	H, M, P
<i>Lolium perenne</i>	P
<i>Melampodium perfoliatum</i>	H, M, P
<i>Poa annua</i>	H, M, P
<i>Plantago australis</i>	M, P
<i>Polygonum aviculare</i>	H, M, P
<i>Polygonum segetum</i>	H, M, P
<i>Richardia scabra</i>	H, M, P
<i>Rumex acetocella</i>	P
<i>Rumex obtusifolius</i>	H, M, P
<i>Senecio vulgaris</i>	M, P
<i>Sonchus oleraceus</i>	P
<i>Spergula arvensis</i>	H, M, P

La maleza *G. parviflora*, fue la que presentó la mayor densidad poblacional de *Meloidogyne* spp., seguida de *C. diffusa* y *C. flaccida* (31.120, 3.350 y 3.079 nematodos/100g de raíz, respectivamente), mientras que para *Pratylenchus* spp., las malezas *P. annua* *S. vulgaris* y *R. obtusifolius* presentaron valores poblacionales más

altos (104.720, 40.160 y 32.720 individuos en 100g de raíz, respectivamente), además, *R. obtusifolius* presentó la mayor densidad poblacional de nematodos de la familia Heteroderidae (7.350 individuos/100g de raíz) (Cuadro 4).

Cuadro 4. Densidad poblacional máxima de los géneros *Meloidogyne*, *Pratylenchus* y nematodos de la familia Heteroderidae en 100g de raíz de 12 malezas, Cartago, Costa Rica.

Especie de planta	<i>Meloidogyne</i>	<i>Pratylenchus</i>	Familia Heteroderidae
<i>Cardamine flaccida</i>	3.079	0	0
<i>Calceolaria mexicana</i>	516	30.560	240
<i>Commelina diffusa</i>	3.350	0	0
<i>Galinsoga parviflora</i>	31.120	0	0
<i>Juncus bufonius</i>	80	21.120	0
<i>Lepidium virginicum</i>	80	18.000	70
<i>Lolium perenne</i>	0	26.400	0
<i>Poa annua</i>	160	104.720	230
<i>Plantago australis</i>	1.360	20.720	0
<i>Rumex obtusifolius</i>	240	32.720	7.350
<i>Senecio vulgaris</i>	80	40.160	0
<i>Sonchus oleraceus</i>	0	19.680	0

En Argentina *Meloidogyne* spp. se encontró asociado a *G. parviflora* (Doucet 1993), en Estados Unidos ésta maleza se reporta como hospedera pobre de *M. chitwoodi* (Kutiwayo y Been 2006), en tanto que, en Hungría y Costa Rica se ha señalado como hospedera de *M. hapla* (Dabaj y Jensen 1990; López y Salazar 1978).

Bélair y Simard (2008), encontraron a *P. annua* hospedero tolerante a *Pratylenchus penetrans*, por su parte Kornobis y Wolny (1997), indican que *P. annua*

es hospedero de *Pratylenchus crenatus* y *R. obtusifolius* de *P. neglectus*. Estas dos últimas especies de nematodos afectan al cultivo de papa (Palomares et al 2014; Ravichandra 2014).

Además, especies de malezas que se encontraron asociadas a las plantaciones de papa en menor frecuencia de ocurrencia como *C. album*, *C. bursa-pastoris*, *S. vulgaris* también se señalan como hospederas de nematodos como *Pratylenchus penetrans*, *P. thornei* y *P. neglectus* en plantaciones de papa (Samaliev y Markova 2014; Smiley et al. 2014; Kutwayo y Been 2006). De las malezas citadas anteriormente, destaca, *S. vulgaris*, la cual presentó el segundo valor poblacional más alto de *Pratylenchus* spp., lo cual demuestra que, aunque una maleza sea poco frecuente puede ser un reservorio importante de nematodos.

En Costa Rica, no existen datos que indiquen el umbral de daño de *Pratylenchus* spp., sin embargo, la literatura reporta que 150 y 100-200 nematodos/100 cm³ de suelo, son el umbral de daño de *P. neglectus* y *P. penetrans* respectivamente en el cultivo de papa (Umesh y Ferris 1994; Olthof 1987). Al considerar los valores poblacionales de *P. annua*, *S. vulgaris* y *R. obtusifolius* obtenidos en esta investigación y relacionarlos con los umbrales citados anteriormente, estas malezas podrían ser una fuente importante de inóculo para futuras plantaciones de papa, si se está en presencia de estas especies de nematodos.

Basados en las características morfológicas de las hembras adheridas a las raíces de esta planta (Figura 2), se determinó que *Heterodera* sp., era el nematodo

que se encontraba asociado, ya que estas presentaban un cono terminal (Tanha *et al.* 2007; Mulvey 1974) descartando de este modo a *Globodera* spp., el cual presenta una forma esférica (Handoo *et al.* 2012; Skantar *et al.* 2011).

Globodera spp., presenta una relación específica con sus hospederos, los cuales pertenecen a la familia de las solanáceas, lo cual hace que el rango de estos sea reducido (Luc *et al.* 2005) y en este estudio las malezas de esta familia, no se presentaron como dominantes.

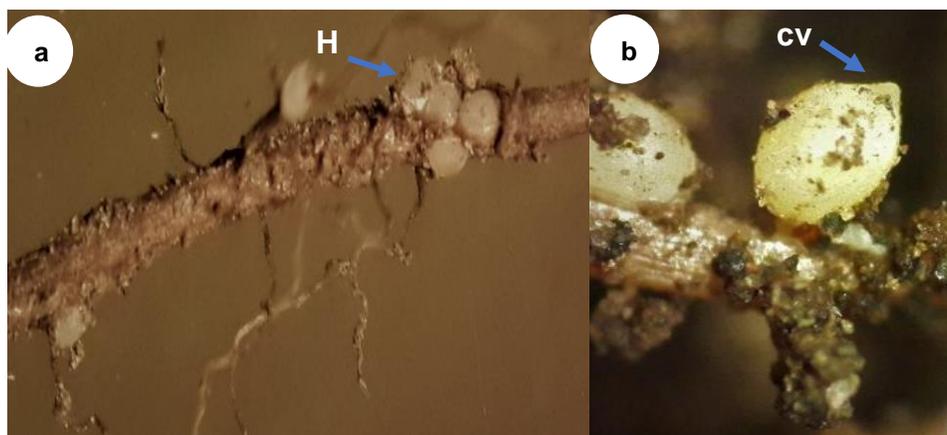


Figura 3. a) Hembras (H) de *Heterodera* sp. adheridas a raíz de *R. obtusifolius*, b) hembra mostrando cono vulval (cv).

IV.C. Frecuencia relativa de nematodos asociados a las malezas.

Todas las familias de malezas se encontraron asociadas a más de un género de nematodo, además, las familias Commelinaceae y Cyperaceae fueron las únicas que no se encontraron asociados a *Pratylenchus* spp. (Cuadro 5)

Cuadro 5. Frecuencia relativa (%) de nematodos más frecuentemente asociados a las familias de malezas.

Familia	Género														
	Ninguno	L	H	HL	P	PL	PH	PHL	M	ML	MHL	MP	MPL	MPH	MPHL
Asteraceae	0	1,2	0	0,3	3	0,3	0,3	0	0,9	0,6	0,3	0,6	0	0	1,2
Brassicaceae	1,8	0,3	0,3	0	8,6	2,4	0,6	1,5	0,6	5,6	0,3	0,3	1,5	0	1,2
Caryophyllaceae	0	0	0	0	2,7	0	2,7	0,6	0	0	0	0	0	1,2	0,3
Chenopodiaceae	0	0	0	0	0,9	0	0	0	0	0	0	0,6	0	0	0
Commelinaceae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0
Cyperaceae	0	1,5	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0
Juncaceae	0	0	0	0	1,5	1,5	0	0	0	0,3	0	0,3	0,9	0	0
Plantaginaceae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,5	0	0
Poaceae	0,9	0,3	0	0	5,6	1,8	2,4	0,6	0	1,2	0	2,4	0,6	0	0,6
Polygonaceae	0	0	0,3	0,6	3	2,4	3,3	1,5	0,3	4,7	0,6	2,1	0,3	3	0,3
Rubiaceae	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,9	0,6	0,3	0	0,3	0	0,6
Scrophulariaceae	0	0	0	0	0,9	0,3	1,2	0	0	0	0	0,3	0,3	0	0

L=*Helicotylenchus*, H=Familia Heteroderidae, P=*Pratylenchus*, M=*Meloidogyne*. Ninguno=casos en los que no se encontraron asociados dichos nematodos.

La interacción entre dos o más géneros o especies en un mismo hospedero, se denomina concomitancia (Melakeberhan y Dey 2003; Hirunsalee *et al.* 1995; Herman *et al.* 1988). En Martinica, malezas como *C. diffusa*, *Physalis angulata* y *Rottboellia cochinchinensis* se encuentran asociadas al cultivo de banano y se reportan como hospederos de los géneros *Helicotylenchus* y *Pratylenchus* (Quénéhervé *et al.* 2006), mientras que, en Ghana, *R. cochinchinensis* y *Acalypha ciliata* se identificaron asociados a *M. javanica*, *P. speijeri* y *H. multicinctus* (Brentu *et al.* 2013).

Las interacciones entre dos o más nematodos fitoparásitos ocasionan grandes pérdidas, por ejemplo, en Pakistán, se estima que *Helicotylenchus* spp., *Paratrichodorus minor*, *Tylenchorhynchus* spp., *Pratylenchus penetrans*, *Meloidogyne incognita* y *M. javanica* ocasionan que el rendimiento del cultivo de papa disminuya 30%, mientras que *Helicotylenchus* spp., *M. incognita* y *M. javanica* reduce en 30% el rendimiento del cultivo de tomate (Anwar y McKenry 2012; Shakeel *et al.* 2012).

Malezas de las familias Commelinaceae y Cyperaceae como *C. diffusa* y *C. esculentus*, respectivamente, son reportadas como hospederos pobres de *Pratylenchus* spp. y *P. penetrans*, respectivamente (Bélair *et al.* 2007; Quénéhervé *et al.* 2006), de tal modo que no coinciden con los resultados obtenidos en este estudio, ya que estas especies no se asociaron a *Pratylenchus*.

La frecuencia relativa con la que se encontraron asociados los géneros *Meloidogyne*, *Pratylenchus*, nematodos de la familia Heteroderidae y *Helicotylenchus* en conjunto fue de 4.1% (MPHL) (Figura 4). Además, se puede observar que en el

45.3 % de las muestras se encontraron asociados dos géneros, estos resultados demuestran que en una misma muestra puede encontrarse asociados más de un género de nematodo fitoparásito (Bellé *et al.* 2017; Quénéhervé *et al.* 2006, Kornobis y Wonly 1997; Hirunsalee *et al.* 1995; Quénéhervé *et al.* 1995).

Pratylenchus spp. en forma individual, presento el valor de frecuencia relativa más alto asociado a las muestras (26%) (Figura 3), éste es un endoparásito migratorio que se mueve rápidamente dentro del tejido radical, esto en comparación a endoparásitos sedentarios, como *Meloidogyne* (2.7%) y nematodos de la familia Heteroderidae (0.6%), de tal modo que puede afectar en forma negativa en el establecimiento de los sitios de alimentación de éstos, generando así una supresión o dominancia (Perry *et al.* 2009). *Pratylenchus* se encuentra ampliamente distribuido en la provincia de Cartago, donde se ha identificado en cultivos como cebolla, fresa y papa (Sandoval 2015).

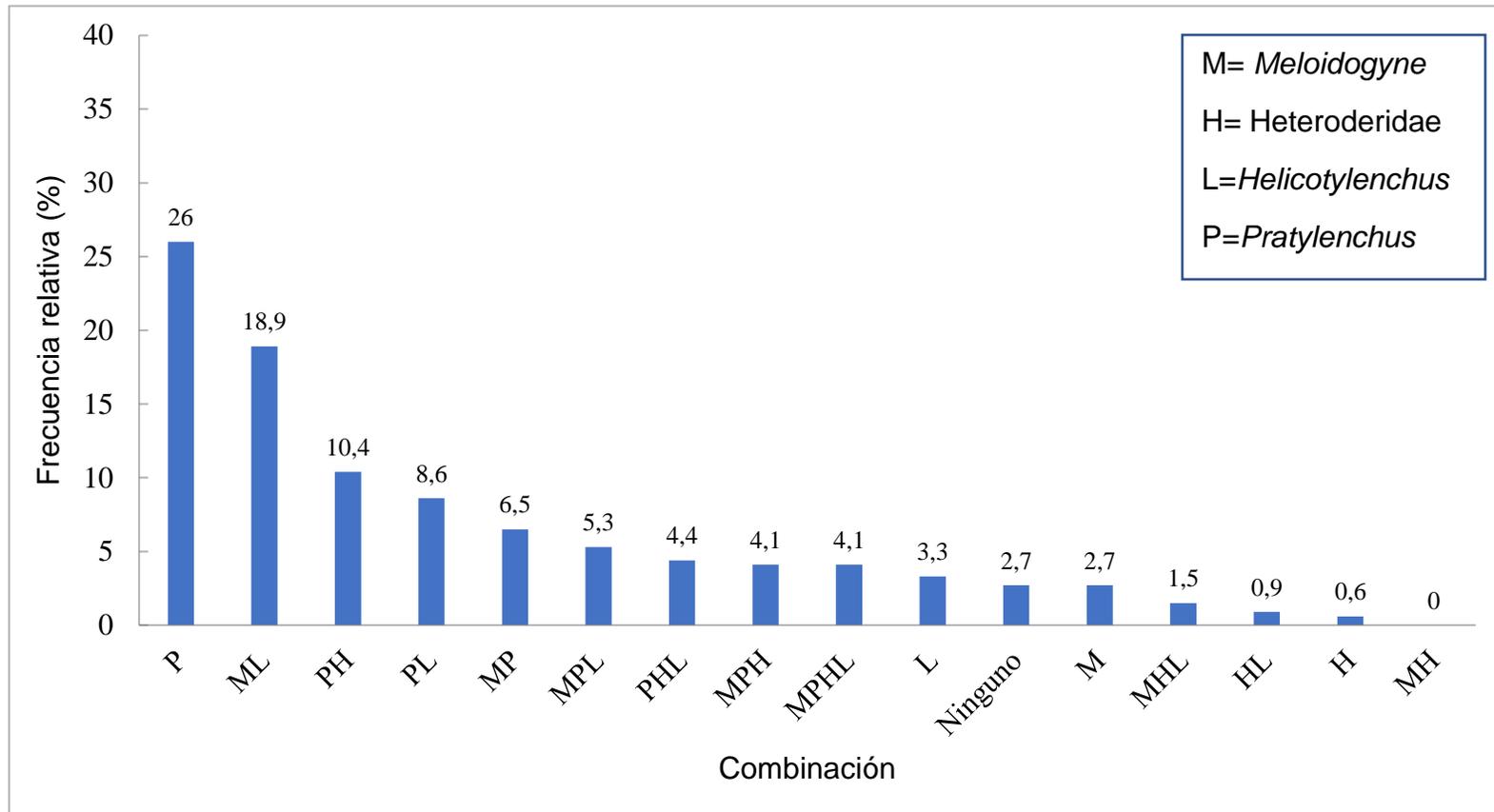


Figura 4. Frecuencia relativa (%) de los nematodos fitoparásitos asociados a muestras radicales de malezas.

V. Conclusiones

- 1) Las especies de malezas que se encuentran más frecuentemente asociadas al cultivo de papa, en la Zona Norte de Cartago son *L. virginicum*, *P. annua*, *B. campestris*, *P. segetum*, *R. obtusifolius*.
- 2) En la Zona Norte de Cartago, *Pratylenchus* se encuentra ampliamente distribuido en áreas dedicadas a la producción de papa.
- 3) Se identifica por primera vez a *R. obtusifolius* como hospedero de *Heterodera* sp., en la Zona Norte de Cartago.
- 4) *Globodera* no se encontró asociado a ninguna de las diferentes malezas analizadas, lo cual es positivo dado el impacto de este sobre la producción de papa.

VI. Recomendaciones

- 1) Realizar estudios de este tipo en otras zonas productoras de papa (por ejemplo, Zarcero), con el fin de determinar si hay un comportamiento similar de las malezas en hospedar nematodos fitoparásitos.
- 2) Identificar a nivel de especies para *Meloidogyne*, *Pratylenchus* y *Heterodera*, con el objetivo de determinar si son especies que afectan al cultivo.
- 3) Realizar pruebas de patogenicidad de los nematodos sobre las malezas, para evaluar el grado de susceptibilidad de estas y así obtener un mejor entendimiento del rol de las malezas en la dinámica poblacional de los nematodos.

VII. Literatura citada

- Agrios, G. 2005. Plant pathology. 5th edition. California, USA. Academic Press. 952 p.
- Al-Banna, L; Williamson, V; Gardner, S. 1997. Phylogenetic analysis of nematodes of the genus *Pratylenchus* using nuclear 26S rDNA. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 7: 94-102.
- Anwar, S; McKenry, M. 2012. Incidence and population density of plant-parasitic nematodes infecting vegetable crops and associated yield losses in Punjab, Pakistan. *Pakistan J. Zool.* 44(2): 337-333
- Arauz, F. 2011. Fitopatología: un enfoque agroecológico. 2^{da} edición. San José, Costa Rica, EUCR. 514 p.
- Araya, E. 2000. Control químico de *Polygonum aviculare* y otras malezas en el cultivo de cebolla (*Allium cepa* L.). Tesis de Licenciatura Ingeniero Agrónomo. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica.
- Asif, M; Rehman, B; Parihar, K; Aschraf, M; Siddiqui, M. 2015. Effect of various physico-chemical factors on the incidence of root-knot nematode *Meloidogyne* spp. infesting tomato in district Aligarh (Uttar Pradesh) India. *Journal of Plant Sciences.* 10(6): 234-243.
- Barker, K; Carter, C; Sasser, J. 1985. An advance treatise on *Meloidogyne*. Volume II: Methodology. International *Meloidogyne* Project

- Bélaïr, G; Dauphinais, N; Benoit, I; Fournier, Y. 2007. Reproduction of *Pratylenchus penetrans* on 24 common weeds in potato Fields in Québec. *Journal of Nematology* 39(4): 321-326.
- Bélaïr, G; Simard, L. 2008. Effect of the root-lesion nematode (*Pratylenchus penetrans*) on anual bluegrass (*Poa annua*). *Phytoprotection* 89(1): 37-39
- Bellé, C; Kaspary, T; Kuhn, P; Schmit, J; Lima, I. 2017. Reproduction of *Pratylenchus zae* on weeds. *Planta Daninha* 35: 1-8.
- Blanco, Y; Leyva, Á. 2007. Revisión bibliográfica: las arvenses en el agroecosistema y sus beneficios agroecológicos como hospedantes de enemigos naturales. *Cultivos Tropicales* 28(2): 21-28.
- Boydston, R; Vaughn, S. 2002. Alternative weed management system control weeds in potato (*Solanum tuberosum*). *Weed Technology* 16: 23-28.
- Brenes, A; Gómez, L. 2009. Liberación de nuevo germoplasma: La variedad de papa Désirée en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 33(1): 155-156.
- Brentu, F; Amoatey, C; Opong, E. 2013. Weed host of the root-lesion nematode *Pratylenchus speijeri* in replanting sites cleared from nematodes-infested plantain cv. apantu-pa (*Musa* spp., AAB-Group) fields in Ghana. *Nematropica* 43(1): 91-96.

- Bridge, J; Starr, L. 2007. Plant nematodes of agricultural importance: a color handbook. London, UK, Manson Publishing Ltd. 152 p.
- Brodie, B. 1998. Potato. In Barker, K; Pederson, G; Windham, G. Plant and nematode interactions. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. Wisconsin, United States of America. Agronomy Monograph 36: 567-594.
- Cárdenas, J; Franco, O; Romero, C; Vargas, D. 1970. Malezas de clima frío. Instituto Colombiano Agropecuario-International Protection Center Oregon State/AID. Colombia. 127 p.
- Carta, L; Handoo, Z; Powers, T; Miller, S; Pérez, R; Ramírez, A. 2005. Guidelines for isolation and identification of regulated nematodes of potato (*Solanum tuberosum* L.) in North America. Revista Mexicana de Fitopatología 23(2): 211-222.
- Castillo, P; Vovlas, N. 2007. *Pratylenchus* (Nematoda: Pratylenchidae): Diagnosis, Biology, Pathogenicity and Management. Nematology Monographs and Perspectives 6 (Series Editors: Hunt, D.J; Perry, D.R). Brill, Leiden. 520 p.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, C.R). 1990. Guía para el manejo integrado de plagas del cultivo de maíz. Turrialba, Costa Rica. CATIE 88 p. Informe Técnico/CATIE N°. 152.

Caveness, F; Jensen, H. 1955. Modification of the centrifugal flotation for the isolation and concentration of nematodes and their eggs from soil plant tissue. Proc. Heilm. Soc. Wash 22: 87-89.

Chapman, D; Haynes, T; Beal, S; Essl, F; Bullock, J. 2014. Phenology predicts the native and invasive range limits of common ragweed. Global Change Biology 20:192–202.

CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, MX). 2012. Malezas de México (en línea).

Disponible:<http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/2inicio/paginas/lista-plantas-generos.htm>

Coto, A. 2005. El nematodo blanco de la papa (*Globodera pallida* Stone). Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica-Servicio Fitosanitario del Estado. 7 p.

Dabaj, K; Jensen, G. 1990. Some weed host-plants of the Northern root-knot nematode *Meloidogyne hapla* in Hungary. Nematol. Medit. 18: 139-140.

Davis, R; Webster, T. 2005. Relative host status of selected weeds and crops for *Meloidogyne incognita* and *Rotylenchulus reniformis*. The Journal of Cotton Science 9: 41-46.

- De Almeida, J; De Vleeschawer, V; Burssens, S; Celenza, J; Inzé, D; Van Montagu, M; Engler, G; Gheysen, G. 1999. Importance of cell cycle progression in nematode-induced galls and syncytia. *The Plant Cell* 11: 793-803.
- Decraemer, W; Robbins, R. 2007. The Who, What and Where of Longidoridae and Trichodoridae. *Journal of Nematology* 39, 295-297.
- De Ley, P. 2006. A quick tour of nematode diversity and the backbone of nematode phylogeny. In: *WormBook: The online review of C. elegans biology* (Online). Pasadena (CA): WormBook; 2005. Consultado 24 de Abril de 2017. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK19684/>
- Doucet, M. 1993. Revisión: consideraciones acerca del género *Meloidogyne* Goeldi, 1887 (Nemata: Tylenchida) y su situación en Argentina. *Asociaciones y distribución. Agriscientia* 10: 63-80.
- Doucet, M; Ponce, E; Franco, J. 1994. *Spergula arvensis* y su asociación con *Nacobbus aberrans* en el cultivo de papa en Bolivia. *Nematropica* 24: 69-72.
- Egusquiza, B. 2000. La papa, producción, transformación y comercialización. Lima, Perú. 192 p.
- Elphinstone, J. 2005. The current bacterial wilt situation: a global overview, p.9-28. In Allen, C; Prior, P; Hayward, A. (ed.). *Bacterial Wilt Disease and the Ralstonia solanacearum species complex*. St. Paul, MN, USA. American Phytopathological Society Press. 510 p.

Escobar, C; Fenoll, C. 2008. Cambios en la expresión génica como resultado de la interacción planta-nematodo: métodos de estudio. In Moen Pallás, V; Escobra, C; Palenzuela, P; Marcos, J (eds). Herramientas biotecnológicas en fitopatología. Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa. 464 p.

Eves-Van den Akker, S; Laetsch, D; Thorpe, P; Lilley, J; Danchin, E; Da Rocha, M; Rancurel, C; Holroyd, N; Cotton, J; Zsitenberg, A; Grenier, E; Montarry, J; Mimee, B; Duceppe, M; Boyes, I; Marvin, J; Jones, L; Yusup, H; Lafond, J; Esquibet, M; Sabeh, M; Rott, M; Overmars, H; Finkers, A; Smant, G; Koutsovoulos, G; Blok, V; Mantelin, S; Cock, P; Phillips, W; Henrissat, B; Urwin, P; Blaxter, M; Jones, J. 2016. The genome of the yellow potato cyst nematode, *Globodera rostochiensis*, reveals insights into the basis of parasitism and virulence. *Genome Biology* 17: 1-124.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Italia). 2016. División de estadística: FAOSTAT. Área Cosechada y Cantidad Producida de Papa (En línea). Consultado el 12 de Diciembre del 2016. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Italia). 2006. Normas internacionales para medidas fitosanitarias. NIMF n.º 5. Glosario de términos fitosanitarios. Roma, Italia. Secretaría de la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria. 23 p.

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Italia).1995. La papa en la década de 1990. Situación y perspectiva de la economía de la papa a nivel mundial. Roma, Italia. CIP-FAO. 39 p.
- Fernández, E; Navia, O; Gandarillas, A. 1999. Bases de las estrategias de control químico del tizón tardío de la papa desarrolladas por PROINPA en Bolivia. *Revista Latinoamericana de la Papa* 11(1): 1-25.
- Fernández, O; Quesada, A. 2013. Nematodos asociados a los cultivos de Costa Rica. Laboratorio Central de Diagnóstico de Plagas Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica-Servicio Fitosanitario del Estado. 49 p.
- Franco, J. 1986. Nematodos del quiste de la papa *Globodera* spp. Boletín de Información Técnica 9. Lima, Perú, Centro Internacional de la Papa. 19 p.
- Gámez, A; Hernández, M; Díaz, R; Vargas, J. 2011. Caracterización de la flora arvense asociada a un cultivo de maíz bajo riego para producción de jojotos. *Agro. Trop.* 61(2): 133-139.
- Gandarillas, A; Ortuño N. 2009. Compendio de enfermedades, insectos, nematodos y factores abióticos que afectan el cultivo de papa en Bolivia. Cochabamba, Bolivia, Fundación PROINPA. 182 p.
- García, A. 2006. Identificación de especies de nematodos fitopatógenos de los géneros *Globodera* spp. y *Meloidogyne* spp. por medio de dos técnicas moleculares.

Trabajo Final de Graduación de Biología. Escuela de Biología. Cartago, Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 57 p.

Gonçalves, C; Rocha, A; Blok, V. 2011. Morphological and molecular diagnostics for plant-parasitic nematodes: working together to get the identification done. *Tropical Plant Pathology* 36(2): 65-73

Guzmán, O; Castaño, J; Villegas, B. 2012. Principales nematodos fitoparásitos y síntomas ocasionados en cultivos de importancia económica. *Agron.* 20(1): 38-50.

Haegeman, A; Mantelin, S; Jones, J; Gheysen, G. 2012. Review: functional roles of effectors of plant-parasitic nematodes. *Gen* 492: 19-31.

Handoo, Z. 1998. Plant-Parasitic nematodes (Online). Consultado 18 de Febrero de 2017. Disponible en: <https://www.ars.usda.gov/northeast-area/beltsville-md/beltsville-agricultural-research-center/nematology-laboratory/docs/plant-parasitic-nematodes/>

Handoo, Z; Carta, L; Skantar, M; Chitwood, D. 2012. Description of *Globodera ellingtonae* n. sp. (Nematoda: Heteroderidae) from Oregon. *Journal of Nematology* 44(1): 40-57.

Herman, M; Hussey, R; Boerma, H. 1988. Interactions between *Meloidogyne incognita* and *Pratylenchus brachyurus* on soybean. *Journal of Nematology* 20(1): 79-84

- Hilje, L. 1994. Caracterización del daño de las polillas de la papa, *Tecia solanivora* y *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera: Gelechiidae) en Cartago, Costa Rica. *Manejo Integrado de Plagas* 31: 43-46
- Hilje, L; Cartín, V. 1900. Diagnóstico acerca del combate químico de las polillas de la papa (Lepidoptera:Gelechiidae) en Cartago, Costa Rica. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)*. 17: 27-33
- Hirunsalee, A; Barker, K; Beute, M. 1995. Infection, reproduction potential, and root galling by root-knot nematode species and concomitant populations on peanut and tobacco. *Journal of Nematology* 27(2): 172-177.
- Hooker, W. 1981. *Compendium of potato diseases*. St. Paul (MN), USA, American Phytopathological Society. 125 p.
- Huamán, Z. 1986. *Systematic botany and morphology of the potato*. Technical Information Bulletin 6. Lima, Perú, CIP. 22 p.
- Ibrahim, I; Mokbel, A; Handoo, Z. 2010. Current status of phytoparasitic nematodes and their host plants in Egypt. *Nematropica* 40: 239-262.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos, Costa Rica). 2015. VI censo nacional agropecuario: resultados generales. San José, Costa Rica, Instituto Nacional de Estadística y Censos. 146 p.
- Jafari, R; Veisanlo, F; Javan, R. 2013. Weeds associated with potato (*Solanum tuberosum*) crops. *Intl J Agri Crop Sci* 6(20): 1403-1406.

- Jamaica, D; Plaza, G. 2014. Evaluación de diferentes metodologías convencionales de muestreo de malezas en cultivos de papa y espinaca. *Agronomía Colombiana* 31 (1): 36-43.
- Jatala, P. 1986. Nematodos parásitos de la papa. *Boletín de Información Técnica* 8. Lima, Perú, Centro Internacional de la Papa. 22p.
- Jones, J; Haegeman, A; Danchin, E; Gaur, H; Helder, J; Jones, M; Kikuchi, T; Manzanilla, R; Palomares, J; Wesemael, W; Perry, N. 2013. Review: Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology* 14(9): 946-961.
- Jones, J; Kumar, A; Pylypenko, L; Thirugnanasambandam, A; Castelli, L; Chapman, S; Cock, P; Grenier, E; Lilley, C; Phillips, M; Block, V. 2009. Identification and functional characterization of effectors in expressed sequence tags from various life cycle stages of the potato cyst nematode *Globoder pallida*. *Molecular Plant Pathology* 10(6): 815-828.
- Jones, M; Fosu-Nyarko, J. 2014. Molecular biology of root lesion nematodes (*Pratylenchus* spp.) and their interaction with host plants. *Annals of Applied Biology* 164: 163-181.
- Jürgens, G. 1985. Levantamiento de malezas en cultivos agrícolas. In: Resúmenes del seminario manejo integrado de malezas. Soto, A; Koch, W, Jürgens, G, García, J. Eds. *Plits* 1985/3(1): 85-103.

- Juyó D, Sarmiento F, Álvarez M, Brochero H, Gebhardt, C; Mosquera, T. 2015. Research: genetic diversity and population structure in diploid potatoes of *Solanum tuberosum* group phujera. *Crop Science* 55(2): 760-769.
- Kamoun, S; Furzer, O; Jones, J; Judelson, H; Shad Ali, G; Dalio, R; Guha, S; Schena, L; Zambounis, A; Panabières, F; Cahill, D; Ruocco, Figueiredo, A; Chen, Xia, Hulvey, J; Stam, R; Lamour, K; Gijzen, M; Tyler, B; Grünwald, N; Shahid, M; Tomé, D; Tör, M; Van den Ackerveken, G; Mcdowell, J; Daayf, F; Fry, W; Lindqvist, H; Meijer, H; Petre, B; Ristaino, J; Yoshida, K; Birch, P; Govers, F. 2015. Review: The top 10 oomycete pathogens in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology* 16(4): 413-434.
- Kaur, R; Brito, J.A; Rich, J.R. 2007. Host suitability of selected weed species to five *Meloidogyne* species. *Nematropica* 37: 107-1120.
- Kimpinski, J; Willis, C. Influence of soil temperature and pH on *Pratylenchus penetrans* and *P. crenatus* in alfalfa and Timothy. *Journal of Nematology* 13(3): 333-338
- Kokalis, N; Roskopf, E. 2012. Susceptibility of several common subtropical weeds to *Meloidogyne arenaria*, *M. incognita*, and *M. javanica*. *Journal of Nematology* 44 (2): 142-147.
- Kornobis, S; Wolny, S. 1997. Occurrence of plant parasitic nematodes on weeds in agrobiocenosis in the Wielkopolska region in Poland. *Fundam. Appl. Nematol.* 20(6): 627-632.

- Kutywayo, V; Been, T. 2006. Host status of six major weeds to *Meloidogyne chitwoodi* and *Pratylenchus penetrans*, including a preliminary field survey concerning other weeds. *Nematology* 8(5): 647-657.
- Lawrence, K.S; Price, J; Lawrence, G.W; Jones, J.R; Akridge, J.R. 2008. Weed hosts for *Rotylenchulus reniformis* in cotton fields rotated with corn in the southeast United States. *Nematropica* 38: 13-22.
- López, R; Azofeifa, J. 1981. Reconocimiento de nematodos fitoparásitos asociados con hortalizas en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 5(1/2): 29-35.
- López, R; Quesada, M. 1997. Nota técnica: reproducción de *Meloidogyne incognita* en varias malezas presentes en Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana* 8(2): 112-115.
- López, R; Salazar, L. 1978. Morfometría y algunos hospedantes de *Meloidogyne hapla* en la Cordillera Volcánica Central de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 2(1): 29-38.
- Luc, M; Sikora, R; Bridge, J. 2005. Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture. 2 nd ed. Wallingford, UK. CAB International. 877 p.
- MAG. 2007. Caracterización de la Agrocadena de papa, Cartago, Costa Rica. Dirección Central Oriental. 58 p.

- MAG. 2015. Guía Técnica: nematodo blanco del quiste de la papa (*Globodera pallida* Stone). Servicio Fitosanitario del Estado. 13 p.
- Mansfield, J; Genin, S; Magori, S; Citovsky, V; Sriariyanum, M; Ronald, P; Dow, M; Verdier, V; Beer, S; Machado, M; Toth, I; Salmond, G; Foster, G. 2012. Review: Top 10 plant pathogenic bacteria in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology* 13(6): 614-626.
- Marroquin, J. 1993. Determinación del período crítico de interferencia de malezas en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) en la aldea La Toma, Santa María Xalapan, Jalapa. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Agronómica, Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. 37 p.
- Mehring, G; Stenger, J; Hatterman, H. 2016. Weed control with cover crops in irrigated potatoes. *Agronomy* 6(3): 1-11.
- Melakeberhan, H; Dey, J. 2003. Competition between *Heterodera glycines* and *Meloidogyne incognita* or *Pratylenchus penetrans*: independent infection rate measurements. *Journal of Nematology* 35(1): 1-6.
- Mojtahedi, H; Bodyston, R; Thomas, P; Crosslin, J; Santo, G; Riga, E; Anderson, T. 2003. Weed host of *Paratrichodorus allius* and Tobacco Rattle Virus in the Pacific Northwest. *Amer. J. of Potato Res.* 80: 379-385.
- Montaldo, A. 1984. Cultivo y mejoramiento de la papa. San José, Costa Rica. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 676 p.

- Montero, Z; García, C; Salazar, L; Valverde, R; Gómez, L. Nota técnica: detección de *Meloidogyne incognita* en tubérculos de papa en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 31(1): 77-84.
- Mostacedo, B; Fredericksen, T. 2000. Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal. Santa Cruz, Bolivia. BOLFOR. 87 p.
- Mulvey, R. 1974. Cone-top morphology of the white females and cyst of the genus *Heterodera* (subgenus *Heterodera*), a cyst-forming nematode. *Canadian Journal of Zoology* 52: 77-81.
- Myers, L; Wang, K; Mcsorley, R; Chase, C. 2004. Investigations of weeds reservoirs of plant parasitic nematodes in agricultural systems in Northern Florida. Proc. of 26th Annual Southern Conservation Tillage Conference for Sustainable Agriculture, 8–9 June. North Carolina Agricultural Research Service Technical Bull.: 256–265.
- Niño, L; Notz, A. 2000. Desarrollo y sintomatología de las larvas de la polilla de la papa *Tecia solanivora* (Povlny) 1973 (Lepidoptera: Gelechiidae) infectadas por un virus grannulosis nativo. *Boletín Entomológico Venezolano* 15(1): 29-38.
- Nowicki, M; Fooland, M; Nowakowska, M; Kozik, E. 2012. Potato and Tomato Late Blight caused by *Phytophthora infestans* : an overview of pathology and resistance breeding. *Plant Disease* 96: 1-17.

- Núñez, A; Carrión, G; Núñez, M; Rebolledo, O. 2003. Densidad poblacional de quistes de *Globodera rostochiensis* Woll. en el Cofre de Perote, Veracruz, México. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 21(2): 207-213
- Lagunes, E; Zavaleta, E. 2016. Función de la lignina en la estructura planta-nematodos endoparásitos sedentarios. *Revista Mexicana de Fitopatología* 34: 43-63.
- OEPP/EPPO. 2013. PM 7/40 *Globodera rostochiensis* and *Globodera pallida*. *Bulletin* 43: 119-138.
- Oerke, E. 2006. Centenary review: Crop losses to pest. *Journal of Agricultural Science* 144: 31-43.
- Olthof, T. 1987. Effects of fumigants and systematic pesticides on *Pratylenchus penetrans* and potato yield. *Journal of Nematology* 19(4): 424-430.
- Onkendi, E; Moleleki, L. 2013. Distribution and genetic diversity of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) in potatoes from South Africa. *Plant Pathology* 62: 1184-1192.
- Ortuño, N; Franco, J; Oros, R; Main, G. 1999. Producción de tubérculos para semilla de papa libre nematodos. *Manejo Integrado de Plagas* No. 52, CATIE, Costa Rica.

Palomares, J; Oliveira, C; Blok, V. 2014. Plant parasitic nematodes of potato. In: Navarre, R; Pavet, M. (eds). The Potato: botany, production and uses. USA, CAB International. 382 p.

Pérez, L; Ramírez, R. 2003. Control químico de maleza en el cultivo de papa *Solanum tuberosum* L., en la región de Irapuato, Gto., México. Acta Universitaria 13(2): 33-38.

Perry, R; Moens, M. 2013. Plant nematology. 2nd Ed. UK, CAB International. 542 p.

Perry, R; Moens, M; Starr, J. 2009. Root-knot nematodes. UK, CAB International. 488 p.

PIMA (Programa Integral de Mercadeo Agropecuario, Costa Rica). 2013. Tendencias de consumo de frutas, hortalizas, pescado y mariscos en las familias de Costa Rica. Consultado el 16 de Abril de 2016. Disponible en:

https://www.google.com/search?newwindow=1&biw=1024&bih=499&q=Tendencias+de+Consumo+de+FRUTAS%2C+HORTALIZAS%2C+PESCADO+Y+MARISCOS+en+las+familias+de+Costa+Rica&oq=Tendencias+de+Consumo+de+FRUTAS%2C+HORTALIZAS%2C+PESCADO+Y+MARISCOS+en+las+familias+de+Costa+Rica&gs_l=serp.3..0.2046735.2046735.0.2048285.1.1.0.0.0.982.982.6-1.1.0....0...1c.1.64.serp..0.1.977.EpyghicogjE#

Poggio, S. 2012. Cambios florísticos en comunidades de malezas: un marco conceptual basado en reglas de ensamblaje. Ecología Austral 22: 150-158.

- Pumisachio, M; Sherwood, S. 2002. El cultivo de la papa en Ecuador. Quito, Ecuador. INIAP-CIP. 229 p.
- Quénéhervé, P; Chabrier, C; Auwerkerken, A; Topart, P; Martiny, B; Luce, S. 2006. Status of weeds as reservoirs of plant parasitic nematodes in banana fields in Martinique. *Crop Protection* 25: 860-867.
- Quénéhervé, P; Drob, F; Topart, P. 1995. Host status of some weeds to *Meloidogyne* spp., *Pratylenchus* spp., *Helicotylenchus* spp. and *Rotylenchulus reniformis* associated with vegetables cultivated in polytunnels in Martinique. *Nematropica* 25(2): 149-157.
- Raman, K. 1980. La polilla de la papa. Boletín de Información Técnica 3. Lima, Perú, Centro Internacional de la Papa. 14 p.
- Ramírez, A. 1979. Muestreo poblacional del nematodo dorado (*Globodera rostochiensis*) y otros nematodos asociados al cultivo de papa (*Solanum tuberosum*). *Agronomía Costarricense* 3(1): 13-20.
- Ravichandra, N. 2014. Horticultural nematology. Bangalore, India. Springer. 434 p.
- Rich, J; Brito, J; Kaur, R; Ferrel, J. 2008. Weed species as host of *Meloidogyne*. A review. *Nematropica* 39: 157-185.
- Rivera, G. 2007. Conceptos Introdutorios a la Fitopatología. 1^{ra} reimp. de la 1^{ra} ed. San José, Costa Rica. EUNED. 346 p.

- Román, M; Rivera, C; Orbegozo, J; Serna, F; Gamboa, S; Pérez, W; Suarez, V; Forbes, G; Kreuze, J; Ghislain, M. 2015. Resistencia a *Phytophthora infestans* linaje clonal EC-1 en *Solanum tuberosum* mediante la introducción del gen RB. Revista Peruana de Biología 22(1): 63-70.
- Samaliev, H; Kalinova, S. 2013. Host suitability of twelve common weeds to *Pratylenchus penetrans* and *Melodogyne hapla* in potato fields of Bulgaria. Bulgaria J. Agric. Sci. 19: 202-208. Plant disease 98(10): 1937-1400.
- Samaliev, H; Markova, D. 2014. Ability of eight common weeds in potato fields on Bulgaria to host the root lesion nematodes *Pratylenchus penetrans* and *P. neglectus*. Science & Technologies 4(6): 32-37.
- Sandoval, R. 2015. Determinación molecular de especies de *Pratylenchus* asociados a cultivos agrícolas de Costa Rica. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Agronómica, San Jose, Costa Rica. Universidad de Costa Rica. 83 p.
- SEPSA (Secretaría Técnica de Planificación Sectorial Agropecuaria, Costa Rica). 2016. Superficie y Producción. En Boletín Estadístico Agropecuario N°26. Serie cronológica 2012-2015. San José, Costa Rica. 210 p.
- Shakeel, Q; Javed, N; Iftikhar, Y; Haq, I; Khan, S; Ullah, Z. 2012. Association of plant parasitic nematodes with four vegetable crops. Pak. J. Phytopathol. 24(2): 143-148.

Siddiqui, M. 1986. Tylenchidae: Parasites of Plants and Insects. Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, UK. 645 p.

Smiley, R; Yan, G; Gourlie, J. 2014. Selected pacific northwest raneland and weed plants as host of *Pratylenchus neglectus* and *P. thornei*. Plant disease 98(10): 1333-1340.

Singh, S. 2009. Morphological and molecular characterization of root-knot nematode (*Meloidogyne* spp.) diversity in Fiji. Thesis of Master in Science in Biology, Suva, Fiji, University of the South Pacific. 109 p.

Singh, S; Hodda, M; Ash, G. 2013. Plant-parasitic nematodes of potential phytosanitary importance, their main hosts and reported yield losses. Bulletin OEPP/EPPO 43(2): 334-374.

Skantar, A; Handoo, Z; Zasada, I; Ingham, R; Carta, L; Chitwood, D. 2011. Morphological and molecular characterization of *Globodera* populations from Oregon and Idaho. Phytopathology 101: 480-491.

Soto, A; Vallejos, E; Herrera, F; Rojas, C. 2011. Algunas malezas de Costa Rica y Mesoamerica (en línea). Disponible en:

http://international_extension.ifas.ufl.edu/LaFlor/weeds-of-costa-rica/index.shtml

- Sporleder, M; Zegarra, O; Huber, J; Lagnaqui, A. 2005. Assessment of the inactivation time of *Phthorimea operculella* (PoGV) at different intensities of natural irradiation. CIP Program Report 1999-2000. CIP. 123-128 p.
- Sullivan, M; Franco, J; Moreno, I; Greco, N. 2007. Review article: potato cyst nematodes: plant host status and their regulatory impact. *Nematropica* 37(2): 193-201.
- Tanha, Z; Sturhan, Z; Handoo, Z; Mor, M; Moens, M; Subbotin, S. 2007. Morphological and molecular studies on *Heterodera sacchari*, *H. goeldini* and *H. leuceilyma* (Nematoda:Heteroderidae). *Nematology* 9(4): 483-497.
- Taylor, A; Sasser, J. 1978. Biology, identification and control of root-knot nematodes (*Meloidogyne* species). International *Meloidogyne* Project. North Carolina State Graphics. 111 p.
- Thomas, S; Schroeder, J; Murray, L. 2005. The role of weeds in nematode management. *Weed Science* 53(6): 923-928.
- Torres, L; Andrade, J. 2011. Manejo de Malezas. Centro Internacional de la Papa (CIP), Quito, Ecuador. En línea. Consultado el 16 de Abril 2016. Disponible en: <http://cipotato.org/es/cip-quito/informacion/inventario-de-tecnologias/manejo-de-malezas/>

- Umesh, K; Ferris, H. 1994. Influence of temperatura and host plant on the interaction between *Pratylenchus neglectus* and *Meloidogyne chitwoodi*. Journal of Nematology 26(1): 65-71.
- Vargas, B; Rubio, S; López, A. 2004. Estudios de hábitos y comportamiento de la polilla guatemalteca *Tecia solanivora* (Lepidoptera:Gelechiidae) en papa almacenada. Revista Colombiana de Entomología 30(2): 211-217.
- Villalobos, A.1999. Control químico de *Polygonum aviculare* y otras malezas en el cultivo de la zanahoria (*Daucus carota* L.). Tesis de Licenciatura en Ingeniería Agronómica, San José, Costa Rica. Universidad de Costa Rica. 69 p.
- Von Mende, N; Gravato, M; Perry, R. 1998. Host finding, invasion and feeding. In Sharma, S (Ed). Cyst nematodes. Dordrecht, Netherlands, Kluwer Ademic Publishers. 951 p.
- Vovlas, N; Mifsud, D; Landa, B; Castillo, P. 2005. Pathogenicity of the root-knot nematode *Meloidogyne javanica* on patato. Plant Pathology 54: 657-664.
- Vreugdenhil, D; Bradshaw, J; Gebhardt, C; Govers, F; Mackerron, D; Taylor, M; Ross, H. 2007. Potato Biology and Biotechnology. Advances and Perspectives. Amsterdam, Netherlands, Elsevier. 823 p.
- Wale, S; Platt, H; Cattlin, N. 2008. Diseases, pests and disorders of potatoes: a color handbook. London, UK. Manson Publishing Ltd. 240 p.

Williamson, V; Hussey, R. 1996. Nematode pathogenesis and resistance in plants. The Plant Cell 8: 1735-1745.

Yeates, G; Bongers, T; De Goede, R; Freckman, D; Georgieva, S. 1993. Feeding habits in soil nematode families and genera-an outline for soil ecologists. Journal of Nematology 25(3): 315-331.

Yohannes, T. 2011. Weed management in potato (*Solanum tuberosum* L.) through application of Atrazine, S-Metolachlor and their combinations. Thesis of Master of Science in Weed Science, Ethiopia, Haramaya University. 109 p.

VIII. Anexos

Anexo I. Frecuencia de ocurrencia (%) de nematodos asociados a las malezas.

Especie	Géneros o familias																	
	Mel	Prat	Het	Heli	Tyl	Cric	Hem	Tylen	Dit	Xip	Lon	Par	Tric	Aph	Aphel	Parat	Gra	Hop
<i>Brassica campestris</i>	5	4,1	0,9	6,5	4,4	0,3	1,2	0	0,9	0	0	0	0,3	3,3	1,8	0	0	0
<i>Bromus carinatus</i>	1,2	1,5	0	0	0	0,3	0,3	0	0	0	0,3	0	0	0,3	0	0	0	0
<i>Calceolaria mexicana</i>	0,6	3	1,2	0,6	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	1,5	0,3	0	0	0
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	0	0,3	0,6	0	0,6	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	1,5	0	0,3	0
<i>Cardamine flaccida</i>	1,5	0	0	1,5	0	0,3	0	0	0,3	0,3	0	0	0	0,3	0,3	0	0	0
<i>Chenopodium album</i>	0,6	1,5	0	0	0,6	0	0	0	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0
<i>Commelina diffusa</i>	3	0	0	3	0,6	0,6	0	0	0,3	0	0	0	0	1,8	0,3	0	0	0
<i>Galinsoga quadriradiata</i>	0,3	1,5	0,3	0	1,2	0	0	0	0,3	0	0	0	0,3	0	0	0	0	0
<i>Galinsoga parviflora</i>	1,5	0	0	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,9	0	0	0	0

Anexo I. (Continuación)

Especie	Géneros o familias																	
	Mel	Prat	Het	Heli	Tyl	Cric	Hem	Tylen	Dit	Xip	Lon	Par	Tric	Aph	Aphel	Parat	Gra	Hop
<i>Cyperus sp</i>	0,6	0	0	1,5	0,6	0	0	0	0,6	0	0	0	0	0,3	0	0	0	0
<i>Cyperus sesquiflorus</i>	1,5	0	0	1,5	0,9	0	0,3	0	0,3	0	0	0	0	0,9	0	0	0	0
<i>Cyperus esculentus</i>	0,9	0	0	1,5	0	0	0	0	0,9	0	0	0	0	0,3	1,2	0	0	0
<i>Eleusine indica</i>	1,2	0	0	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,9	0	0	0	0
<i>Juncus bufonius</i>	1,5	4,1	0	2,7	3	0	0,9	0	0	0	0	0	0,9	0	0,3	0,3	0	0,9
<i>Lepidium virginicum</i>	3	11,5	2,4	4,7	5	0,3	2,7	0	1,2	0	0	0	0	0,3	2,7	0	0,3	0
<i>Lolium perenne</i>	0	2,1	0	0,3	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Melampodium perfoilatum</i>	1,5	1,2	1,8	3	1,2	0	0,6	0	1,5	0	0	0	0,6	1,5	0,6	0	0	0
<i>Plantago australis</i>	1,5	1,5	0	1,5	0,6	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0,6	0	0	0	0

Anexo I. (Continuación)

Especie	Géneros o familias																	
	Mel	Prat	Het	Heli	Tyl	Cric	Hem	Tylen	Dit	Xip	Lon	Par	Tric	Aph	Aphel	Parat	Gra	Hop
<i>Poa annua</i>	3,3	10,4	3,3	3	4,1	0,6	1,8	0	0,6	0	0,6	0,3	0,3	0,3	0	0,3	0	0
<i>Polygonum aviculare</i>	0,6	3	0,9	0,6	1,5	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Polygonum segetum</i>	7,7	3,3	1,8	5,9	3,6	0,6	1,2	0	0,3	0	0	0	0,6	2,1	1,2	0	0,3	0
<i>Richardia scabra</i>	2,7	1,2	1,2	2,1	1,2	0,3	0,9	0	0	0	0	0	0,6	0,3	0	0	0	0
<i>Rumex acetocella</i>	0	1,5	0	0,9	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Rumex obtusifolius</i>	3	8	6,8	3	4,4	0	1,8	0,9	0	0	0	0	0,6	0	0,6	0	0	0
<i>Senecio vulgaris</i>	0,3	1,5	0	0,3	0,6	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0	0	0
<i>Sonchus oleraceus</i>	0	1,2	0	0	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6	0,6	0	0	0
<i>Spergula arvensis</i>	1,5	7,4	4,4	0,9	4,1	0,6	2,4	0	0,9	0	0	0	0	0,3	0,3	0	0	0

Mel= *Meloidogyne*, Para=*Pratylenchus*, Het=*Heteroderidae*, Hel=*Helicotylenchus*, Til=*Tylenchus*,
 Cric=*Criconematidae*, Dit=*Ditylenchus*, Xip=*Xiphinema*, Lon=*Longidorus*, Par=*Paralongidorus*, Tri=*Trichodoridae*,
 Aph=*Aphelenchus*, Aphel=*Aphelenchoides*, Parat=*Paratylenchus*, Gra=*Gracilacus*, Hop=*Hoplolaimus*.

Frecuencia de ocurrencia (%) con base al total de muestras analizadas