



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO**

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS**

**DENSIDAD DE FITONEMATODOS ASOCIADOS AL CULTIVO DE PAPA  
(*Solanum tuberosum*) EN EL ANP NEVADO DE TOLUCA, ESTADO DE MÉXICO**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRA EN CIENCIAS**

**PRESENTA:**

**DULCE MARÍA GALVÁN ARELLANO**

**COMITÉ DE TUTORAL**

**Tutora Académica: Dra. Petra Sánchez Nava.**

**Tutora Adjunto: Dra. Tizbe Teresa Arteaga Reyes.**

**Tutora Adjunto: Dr. Felipe de Jesús Rodríguez Romero.**

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México

Junio, 2019

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	13
<b>ABSTRACT</b> .....	14
<b>1.- INTRODUCCIÓN</b> .....	15
<b>2.- ANTECEDENTES</b> .....	16
2.1 Características de la papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ).....	16
2.2 Producción mundial y nacional del cultivo de papa.....	17
2.2.1 Producción de papa en el Estado de México .....	18
2.3 Biología de los nematodos fitopárasitos.....	19
2.4 Ciclo de vida de los nematodos fitopárasitos .....	22
2.5 Daños y síntomas causados por nematodos fitopárasitos.....	24
2.6 Nematodos fitopárasitos asociados al cultivo de papa .....	25
2.7 Factores físicos y químicos del suelo esenciales para el desarrollo de los nematodos .....	28
2.7.1 pH .....	28
2.7.2 Humedad .....	28
2.7.3 Materia orgánica .....	28
2.7.4 Textura.....	29
<b>3.- JUSTIFICACIÓN</b> .....	30
<b>4.- OBJETIVOS</b> .....	31
4.1 Objetivo general .....	31
4.2 Objetivos particulares.....	31
<b>5.- HIPÓTESIS</b> .....	32
<b>6.- MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	33
6.1 Ubicación y descripción del área de estudio .....	33
6.2 Caracterización de las prácticas agrícolas en las parcelas de estudio.....	37
6.3 Toma de muestras .....	37
6.4 Extracción nematodos juveniles J2 de suelo .....	38
6.5 Fijación aclarado y montaje de nematodos .....	38

6.6 Extracción y cuantificación de quistes del nematodo dorado de la papa .....	39
6.7 Densidad de la población de J2 y quistes .....	39
6.8 Análisis de las características físico-químicas del suelo .....	39
6.9 Análisis estadísticos de datos .....	40
<b>7.- RESULTADOS.....</b>	<b>41</b>
7.1 Identificación morfológica de los nematodos fitoparásitos asociados a cultivos semi-intensivos y tradicionales de papa .....	41
7.1.1 <i>Globodera rostochiensis</i> .....	41
7.1.2 <i>Pratylenchus spp.</i> .....	44
7.1.3 <i>Helicotylenchus spp.</i> .....	46
7.1.4 <i>Criconea spp.</i> .....	49
7.2 Nematodos fitopatógenos (J2) encontrados en cultivos semi-intensivos y tradicionales.....	51
7.3 Densidad de nematodos fitopatógenos J2 en dos tipos de cultivo (semi-intensivo y tradicional) de papa. ....	52
7.4 Prevalencia y abundancia de nematodos fitoparásitos asociados al cultivo de papa.....	53
7.5 Análisis de las características físico-químicas del suelo .....	55
7.6 Correlación entre los factores físico-químicos del suelo y la densidad de nematodos.....	56
<b>8.- DISCUSIÓN.....</b>	<b>58</b>
<b>9.- CONCLUSIONES.....</b>	<b>63</b>
<b>10.- LITERATURA CITADA .....</b>	<b>64</b>
<b>11.- ANEXOS .....</b>	<b>71</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Morfología de <i>Solanum tuberosum</i> .....	16
<b>Figura 2.</b> Producción de papa (toneladas) por entidad federativa .....	18
<b>Figura 3.</b> Producción de papa (toneladas) por municipio en el Estado de México .....	19
<b>Figura 4.</b> Morfología general de un fitonematodo (macho y hembra) .....	21
<b>Figura 5.</b> Ciclo biológico del fitonemátodo <i>Globodera rostochiensis</i> .....	23
<b>Figura 6.</b> Ubicación del municipio de Zinacantepec dentro del ANP Nevado de Toluca, Estado de México .....	34
<b>Figura 7.</b> Morfología de <i>G. rostochiensis</i> .....	42
<b>Figura 8.</b> Quistes en forma esférico- globosa y tonalidad dorado-brillante de <i>G. rostochiensis</i> .....	43
<b>Figura 9.</b> Patrón fenestral de <i>G. rostochiensis</i> con estrías sinuosas .....	43
<b>Figura 10.</b> Morfología de una hembra y macho de <i>Pratylenchus</i> sp.....	39
<b>Figura 11.</b> Morfología de una hembra y macho de <i>Helicotylenchus</i> sp. ....	48
<b>Figura 12.</b> Morfología general de <i>Criconema</i> sp. ....	51
<b>Figura 13.</b> Análisis de prevalencia y abundancia de Olmstead-Tukey de nematodos fitoparásitos en cultivos de papa en el ANP Nevado de Toluca, Estado de México.....	54

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1.</b> Daños causados por nematodos fitoparasitos .....	24
<b>Ilustración 2.</b> Áreas de muestreo en la comunidad de Raíces.....	35
<b>Ilustración 3.</b> Áreas de muestreo en la comunidad de Loma Alta .....	36

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Principales nematodos fitoparásitos en cultivo de papa. ....	25
<b>Tabla 2.</b> Elementos clave para la caracterización de las prácticas agrícolas .....	37
<b>Tabla 3.</b> Métodos de determinación de características fisico-químicas del suelo (NOM-021-RECNAT-2000) .....	40
<b>Tabla 4.</b> Características geográficas y nematodos fitoparásitos asociados al cultivo de papa en el ANP Nevado de Toluca, México .....	52
<b>Tabla 5.</b> Densidad de géneros de nematodos fitoparásitos en plantaciones de papa.....	53
<b>Tabla 6.</b> Niveles de pH y % de materia orgánica (M.O.) de las muestras de suelo de cultivos semi-intensivos y tradicionales .....	55
<b>Tabla 7.</b> Contenido de humedad y composición mecánica de los suelos de cultivos semi-intensivos y tradicionales. ....	56
<b>Tabla 8.</b> Resultado de la correlación entre los factores físicos y químicos del suelo y la cantidad total de nematodos en las comunidades de estudio. ....	56

## RESUMEN

El cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) es el cuarto cultivo alimentario más importante alrededor del mundo. En México es cultivado en 25 estados de la república siendo el Estado de México el quinto productor con más de 141, 418. 22 toneladas por hectárea de este tubérculo. Sin embargo, y como sucede en distintas asociaciones biológicas, la producción puede verse limitada por la presencia de nematodos fitoparásitos que impiden alcanzar un máximo rendimiento de los cultivos. Se estima que pueden causar pérdidas entre el 12% al 70% de la producción, ocasionando grandes pérdidas económicas. Con base en lo anterior, el objetivo principal de la presente investigación fue determinar la densidad de nematodos fitoparásitos de papa en dos tipos de cultivos (semi-intensivo y tradicional) de papa en dos comunidades del municipio de Zinacantepec, que se ubican dentro del Área Natural Protegida (ANP) Nevado de Toluca, Estado de México. Se recolectaron muestras de suelo durante un ciclo de cultivo en la comunidad de Raíces y Loma Alta, obteniendo un total de 75 muestras compuestas. En las muestras recolectadas se identificó una especie (*Globodera rostochiensis*) y tres géneros de nematodos fitoparásitos (*Pratylenchus spp*, *Helicotylenchus spp* y *Criconema sp*). Así mismo, se realizaron análisis físicos y químicos del suelo de cada muestra para relacionar estadísticamente la densidad de las poblaciones de nematodos con las variables del suelo: pH, Materia orgánica (M.O.), textura y humedad. El nematodo con mayor densidad fue *G. rostochiensis*, considerado como uno de los mayores limitantes en la producción de papa en México, siendo que la densidad de quistes superó el límite establecido por Spears (1968), mientras que la densidad de juveniles (J2) se encontró por debajo del umbral de daño, por lo que se asume que no se encuentran causando daños importantes en el cultivo. Los suelos muestreados se caracterizaron por presentar una textura Franco Arenosa, con un pH que osciló entre 4.89 y 5.07, los valores de materia orgánica (MO) fueron de 7.7% a 9.9% y de humedad de 3.32% a 4.26%. Al relacionar estadísticamente las variables del suelo con la densidad de nematodos, se encontró que *G. rostochiensis* y *Pratylenchus* prefieren ambientes que presentan altos contenidos altos de arena, mientras que los nematodos del género *Criconema* se ven afectados por altos contenidos de humedad y materia orgánica; finalmente las poblaciones del género *Helicotylenchus* se vieron afectadas por la presencia de suelos muy ácidos. Esta investigación contribuye con el primer reporte de densidad de fitonematodos asociados al cultivo de papa en la región del ANP Nevado de Toluca, Estado de México (no se identificaron reportes previos en la revisión de literatura), que servirá de base para investigaciones futuras respecto a alternativas de control, como el biológico, de dicho nematodos.

**ABSTRACT**

The potato crop (*Solanum tuberosum*) is the fourth most important food crop around the world. In Mexico potatoes are cultivated in 25 states of the Republic, being the Estado de México the fifth major producer, with more than 25.4 tonnes per hectare. However, and as it happens to different biological associations, the production can be limited by the presence of plant parasitic nematodes which prevents the peak performances of the crops. It can be estimated that the plant parasitic nematodes cause estimated losses of 12% to 70% of the whole production, resulting in majoreconomic losses. Hence, the main aim of study was to determine the density of parasitic nematodes associated to two types of potato crops (traditional and semi-intensive) in two communities within the PNA Nevado de Toluca, Estado de México. Samples of soil were collected during a growing cycle in the communities of Raíces and Loma Alta, obtaining a total of 75 samples. One species (*Globodera rostochiensis*) and three genders (*Pratylenchus spp.*, *Helicotylenchus spp.* and *Criconema sp.*) of plant parasitic nematodes were identified from the collected samples. Further, a physical and chemical analysis of soil for each sample was performed to statistically relate the population density in plant parasitic nematodes with soil parameters; Ph, O.M, texture and moisture. *G.rostochiensis* was the higher density nematode, considered as one of the major limiting in the potato production in México, since the cysts density exceeded the limit established by Spears (1968), as long as the number of juveniles (J2) was found underneath the damage threshold, thus no important damages were found apparently in the crop. Sampled soils are characterized by a sandy loam texture, with a pH that ranges from 4.89 to 5.07, the values of organic matter (O. M) ranges from 7.7% to 9.9 % and the humidity values ranges from 3.32 % to 4.26 %. Performing the relationship of the soil parameters with nematodes density, it turned out that *G. rostochiensis* and *Pratylenchus* were affected by high moisture content and organic matter; finally, the *Helocotylenchus* populations were affected by highly acidic soils. This research is the first report on density of plant parasitic nematodes associated with the potato crop on the PNA Nevado de Toluca, Estado de Mexico (no previous reports on the revisited literature were found) and will set a precedent to future researches associated to control alternatives of the mentioned plant parasitic nematode.

## 1. INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum*) es el cuarto cultivo más importante alrededor del mundo, después del trigo, el arroz y el maíz (Rueda *et al.*, 2006; Flores *et al.*, 2017). En México, es cultivado en 25 estados de la república siendo Sonora, Sinaloa, Puebla, Veracruz y el Estado de México los principales productores de este tubérculo (Nuñez *et al.*, 2003; SIAP 2013; SENASICA, 2013).

En el Estado de México, la producción de papa es de 141, 418.22 toneladas/ha (SIAP, 2017). Sin embargo, la producción puede verse limitada por la presencia de nematodos fitoparásitos. Hasta ahora, se han registrado alrededor de 45 géneros asociados al cultivo de papa alrededor del mundo, que pueden causar pérdidas entre el 12% al 70% en la producción (López, *et al.*, 2013; Flores *et al.*, 2017). En México, las enfermedades causadas por *Globodera rostochiensis* y *Meloidogyne chitwoodi*, se encuentran entre las dos más importantes que afectan este cultivo (Nuñez *et al.*, 2003; Ramírez, 2014; SENASICA, 2016).

El conocimiento sobre los problemas nematológicos en el Estado de México son limitados, sólo se tiene registro del nematodo dorado de la papa (*G. rostochiensis*); por lo que, el estado actual de los suelos cultivados en este sentido es básicamente desconocido (DOF, 2000; Nuñez *et al.*, 2003; SENASICA, 2013). Por lo anterior, el objetivo principal de este estudio fue determinar cuáles géneros de nematodos fitoparásitos se encuentran asociados a cultivos de papa y estimar su densidad en dos comunidades del municipio de Zinacantepec, Estado de México, dentro del Área Natural Protegida (ANP) Nevado de Toluca, dada su importancia para contribuir al mejor manejo y la conservación del recurso suelo para no limitar los diferentes beneficios que proporciona.



## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 Características de la papa (*Solanum tuberosum*)

La papa (*Solanum tuberosum*) es una planta herbácea anual que alcanza una altura aproximada de un metro y produce tubérculos. Pertenece a la familia de las solanáceas y es originaria de la cordillera de los Andes en el altiplano Andino y puede ser encontrada hasta los 4,300 msnm (Spooner *et al.*, 2005; Román y Hurtado, 2002; SIPSA, 2013). Se ubicada entre los primeros cuatro cultivos de mayor importancia en el mundo por sus propiedades alimentarias ya que es relativamente baja en grasas y colesterol, alta en potasio y vitamina C, además es una fuente rica de almidón y posee una buena cantidad de metabolitos benéficos para la salud (Muñoz, 2014; Onamu, 2015; Flores *et al.*, 2017). Así mismo, el almidón de la papa es ampliamente utilizado por la industria farmacéutica, textil, de la madera y del papel, como adhesivo, aglutinante, texturizador y relleno (FAO, 2008).

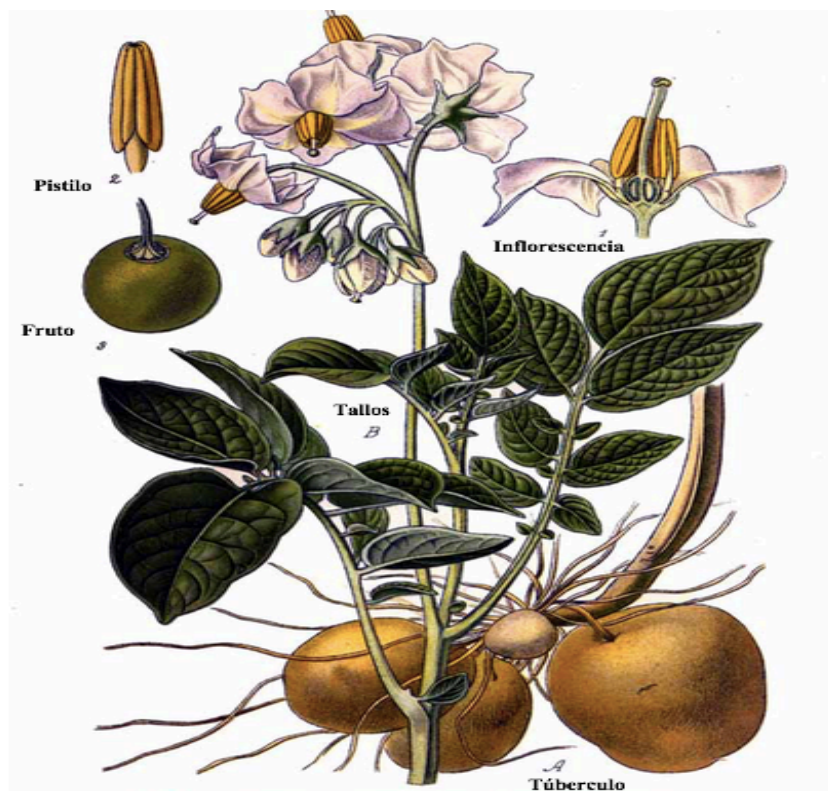
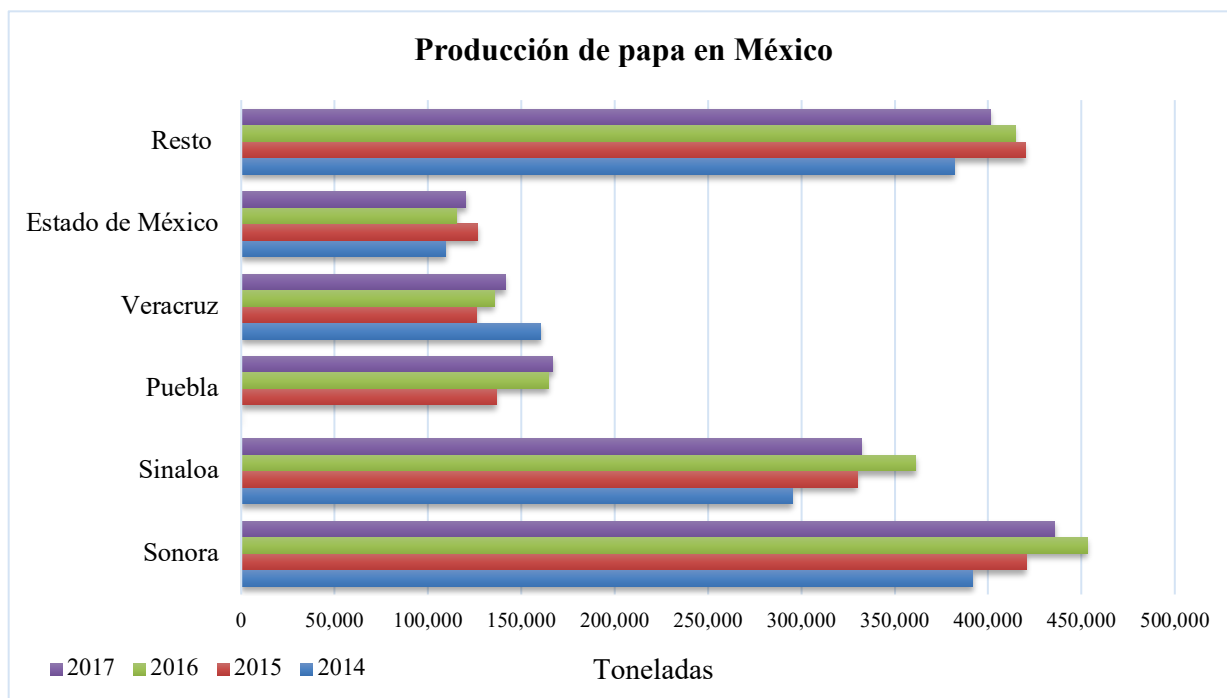


Figura 1. *Solanum tuberosum*. Atlas des plantes de France, 1891. The Plant List (Google). Dominio público.

## 2.2 Producción mundial y nacional del cultivo de papa

La producción mundial de papa fresca se ubica en 2.400.000 millones de toneladas (MA, 2014). En el periodo del año 2005 al año 2014 se registró un crecimiento de la producción global del 17.8%, el cual fue impulsado por los mayores productores: India con 61% y China con 18%. La superficie total destinada a este cultivo fue de 19.2 millones de hectáreas lo cual arroja un rendimiento promedio mundial de 20 toneladas por hectárea (FAO, 2014). Siendo los principales países productores de papa China, India, Rusia, Ucrania, Estados Unidos, Alemania, Polonia, Bangladesh, Bielorrusia y Países Bajos (FAO, 2008).

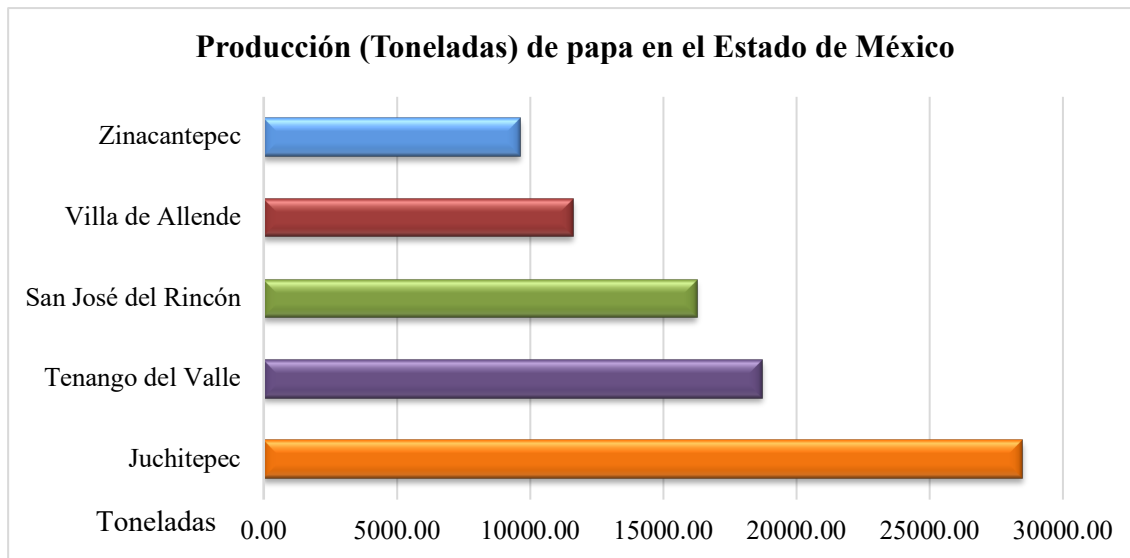
Actualmente México ocupa el séptimo lugar en producción de papa en América (FAO, 2012, Vázquez *et al.*, 2012). Se siembran aproximadamente 4,764.47 ha, cuyos rendimientos promedio son de 29.74 t/ha. Se cultiva en 22 estados de la República. Siendo en cinco de las entidades donde se concentra el 73.5% de la producción: Sonora, Sinaloa, Puebla, Veracruz y el Estado de México (CONPAPA, 2010; Román y Hurtado, 2002; FND, 2014; SIAP;2019) (Figura 1).



**Figura 2. Producción de papa (toneladas) por entidad federativa. Tomado de SAGARPA (2018).**

### 2.2.1 Producción de papa en el Estado de México

El Estado de México ocupa el quinto lugar a nivel nacional con una producción de 141,418.22 toneladas de papa, una superficie sembrada de 4, 764 hectáreas y una producción de 141, 418 ton. Se produce en 27 de los 125 municipios del estado (Vázquez *et al.*, 2012) (Figura 2). Los principales municipios productores son Juchitepec, Tenango del Valle, Zinacantepec, Villa de Allende y San José del Rincón (SAGARPA, 2009; Vázquez *et al.*, 2012; SEDRAGO, 2014).



**Figura 3. Producción de papa (toneladas) de papa por municipio en el Estado de México. Tomado de SAGARPA (2018).**

### 2.3 Biología de los nematodos fitoparásitos

El término nematodo proviene de los vocablos griegos (Nema = hilo y Oidos = con aspecto de) (Guzmán *et al.*, 2012). Son animales invertebrados, con simetría bilateral, pseudocelomados, con una longitud variante de 0.2 a 10.00 mm y ancho de 0.01 a 0.5 mm (Christie, 1986; Armendáriz *et al.*, 2015; Coyne *et al.*, 2007).

El cuerpo de los nematodos está cubierto por una cutícula hialina la cual está marcada por estrías u otras marcas que recorren el cuerpo extendiéndose desde la boca hasta la vulva (Castaño *et al.*, 2011; González 2013).

Su sistema digestivo está dividido en tres regiones: estomodeo, mesenterón y proctodeo (IFNS, 2018). El estomodeo es la parte anterior del nematodo, comprende la boca, el estilete, cavidad bucal hasta el bulbo basal, siendo su principal característica la localización de los músculos para sostener y permitir el movimiento del estilete (Chen, 2004). Dependiendo del género pueden poseer un estilete hueco (estomatoestilete u odontoestilete)

o un estilete sólido modificado (onquioestilete) (Castaño *et al.*, 2011). Esta estructura protractil le permite al nematodo perforar las células vegetales, extraer alimentos y también secretar proteínas y metabolitos que ayudan a parasitar a la planta huésped (Lambert y Bekal, 2002; Guzmán *et al.*, 2012; Lezaun, 2016).

El intestino o mesenterón es la parte media del sistema digestivo y comprende desde el bulbo basal hasta el pre-recto; su principal función es la absorción de alimento como glucógeno, proteínas y grasas. Finalmente, el proctodeo está constituido por la válvula recto-intestinal que une la terminación del intestino con el recto (Cepeda, 1996; Lambert y Bekal, 2002).

El sistema nervioso está constituido por tres partes: (1) sistema nervioso central, organizado principalmente con un anillo nervioso localizado en la región del esófago y conectado a ganglios y nervios; (2) sistema nervioso simpático, compuesto por una serie de ganglios y nervios que abastecen las glándulas del nematodo; y (3) sistema nervioso periférico, que coordina los impulsos de los órganos sensoriales y el SNC (Cepeda, 1996).

Los sexos generalmente están separados, pero algunos nematodos pueden reproducirse de manera asexual por partenogénesis. El aparato reproductor femenino consiste en uno o dos ovarios, receptáculos seminales, una espermateca en la cual almacenan los espermatozoides hasta que son empleados para fertilizar los ovocitos y un útero (González, 2013; IFNS, 2018).

Por su parte el aparato reproductor masculino consta de un testículo, vesícula seminal, vaso deferente y espículas copulatorias y desemboca en una abertura común con el canal alimentario llamado cloaca (Agrios, 2005; González, 2013) (Figura 3). Las espículas son estructuras copulatorias que se usan durante el apareamiento para guiar a los espermatozoides hacia la vagina de la hembra (Lambert y Bekal, 2002). A menudo la pared del cuerpo alrededor de la cloaca se modifica en una bursa o ala caudal, lo que ayuda a orientar al nematodo macho y mantener unida a la hembra durante la copula (IFNS, 2018).

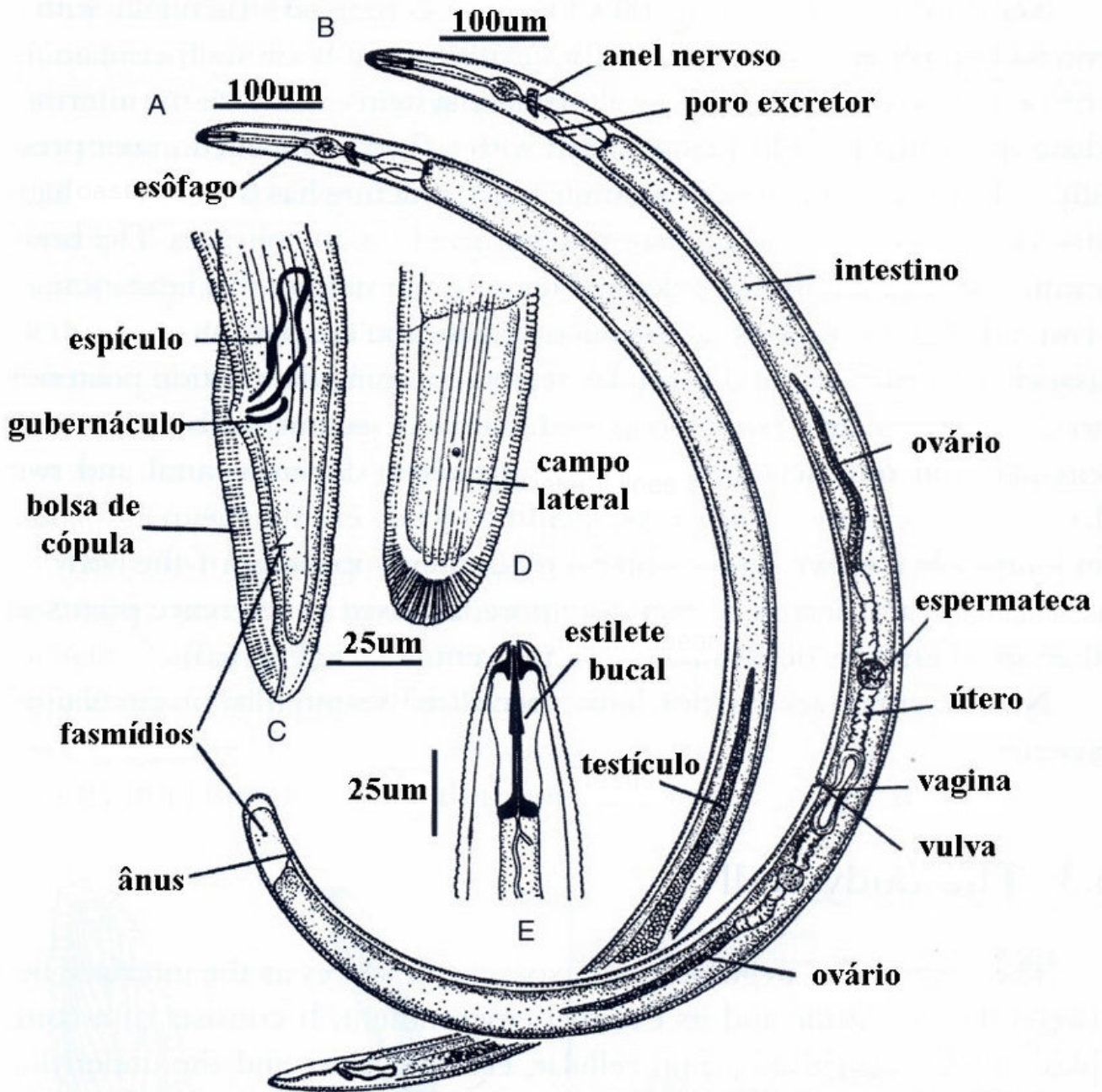


Figura 4. Morfología general del macho y hembra (A,B) con detalles de la parte anterior (C,D) caudal (E) cefálica (Tomado de H.R. Wallace, 1973).

## 2.4 Ciclo de vida de los nematodos fitoparásitos

El ciclo de vida de los nematodos consta de seis etapas: el huevo, cuatro estadios juveniles y el adulto. La duración de cada estadio es diferente para cada especie y también depende de factores abióticos como la temperatura y la humedad.

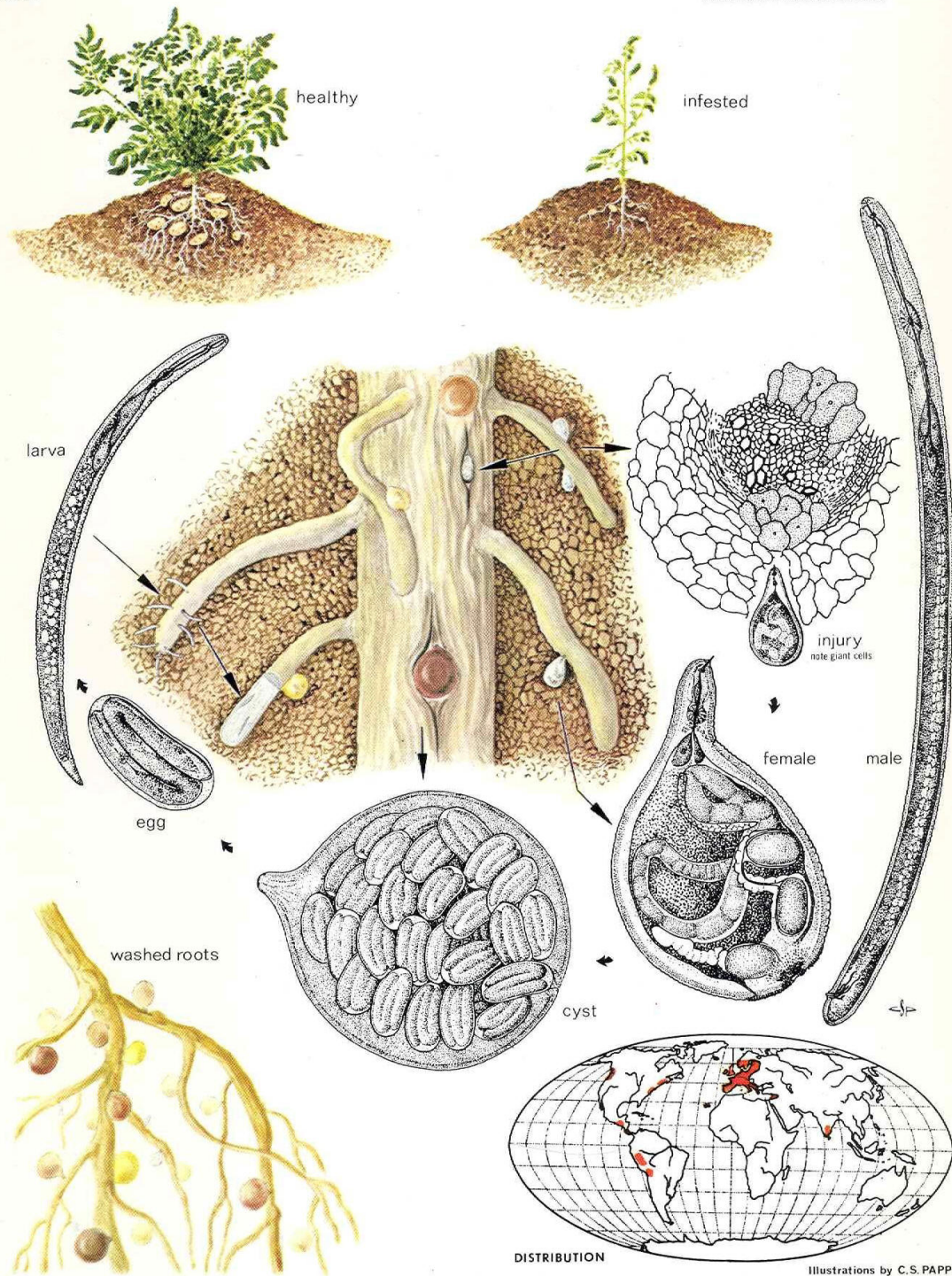
Estas etapas inician dentro del huevo donde el embrión en desarrollo crece y se diferencia, para llegar a su primer estadio larvario (González, 2013; Coyne, *et al*, 2007). En la mayoría de las especies se produce la primera muda dentro del huevo (J1), por lo que la larva emerge mediante el empleo del estilete en el segundo estadio (J2). El segundo estadio juvenil es la etapa infectiva, se mueve a través de las partículas del suelo y va a las raíces de la planta huésped (González, 2013). El nematodo migra entre las células, hasta establecer un sitio de alimentación. En este momento se convierte en un endoparásito sedentario, donde sufre tres mudas más hasta convertirse en un adulto.

Los machos adultos generalmente son delgados y vermiformes, mientras que las hembras de algunos géneros como *Globodera* y *Meloidogyne*, tienen el cuerpo hinchado debido al crecimiento de las gónadas y habitualmente se les puede encontrar adheridas en las raíces de la planta huésped (Ebrahimi *et al.*, 2015; Tirchi *et al.*, 2016). La hembra al morir forma una estructura protectora denominada “quiste” en la cual permanecen viables los huevecillos hasta que se presentan las condiciones adecuadas para su eclosión (Figura 4). (SENASICA, 2013). Una hembra en un ciclo de vida puede llegar a producir más de 2000 huevos. Estos son depositados fuera de la raíz, protegidos por un mucilago contra la desecación y otras condiciones adversas (Coyne, *et al.*, 2007; Lezaun, 2016).

DETECTION MANUAL  
D.T. 5:1

**THE GOLDEN NEMATODE**

*Globodera rostochiensis*



**Figura 5. Ciclo biológico del fitonemátodo *Globodera rostochiensis* en papa.**

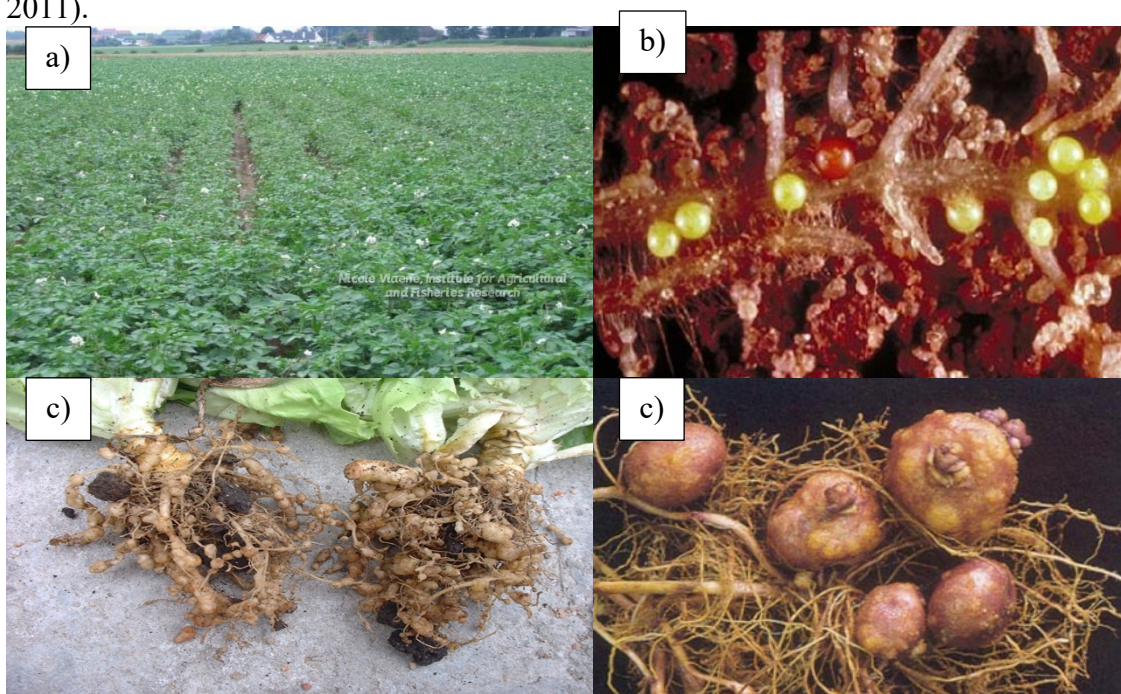
**Tomado de Charles S. Papp, CDFa.**



## 2.5 Daños y síntomas causados por nematodos fitoparásitos

El daño mecánico directo causado por los nematodos mientras se alimentan es relativamente leve. La mayor parte de los daños son causados por la secreción de saliva (enzimas) introducida en los tejidos de las plantas para romper las paredes celulares y extraer con mayor facilidad y asimilación los componentes celulares (agua, minerales, azúcares, etc.) (Agrios, 2005; Guzmán *et al.*, 2012). Estas afecciones predisponen a la planta huésped a ser atacada por virus, bacterias y hongos, que penetran a través de las heridas causadas por el estilete de los nematodos.

Físicamente estas afecciones se manifiestan con la aparición de síntomas como: muerte o debilitamiento de los extremos de las raíces y yemas, formación de lesiones y rompimiento de tejidos, agallas, lesiones necróticas, proliferación excesiva de raíces secundarias, lo que generalmente se traduce en plantas débiles y de pobre crecimiento (Agrios, 2005; Talavera, 2003; Guzmán *et al.*, 2012; Gonzáles, 2013; Armendáriz, 2015). La severidad de los daños depende de diversos factores como la especie de nematodo, la susceptibilidad de la planta hospedante y las características edáficas de los suelos cultivados (Sorribas y Verdejo, 2011).



**Ilustración 1. a) Retraso en la floración y maduración en papas (IAFR), b) Quistes de *G. rostochiensis* en raíz de papa ( Central Science Laboratory), c) Quistes en raíces de lechuga, d) Agallas por el nematodo *Meloidogyne* (Dominio público).**

## 2.6 Nemátodos fitoparásitos asociados al cultivo de papa

Hasta el momento se han registrado más de 140 especies de nematodos fitoparásitos a nivel mundial que infectan los cultivos de papa (Flores *et al.*, 2017). Entre los principales se encuentran *Globodera pallida*, *Globodera rostochiensis*, *Meloidogyne spp.*, *Nacobbus aberrans*, *Pratylenchus spp.*, *Ditylenchus destructor*, *Ditylenchus dispasci*, *Heterodera spp.*, *Longidorus spp.*, *Paratrichodorus spp.*, *Trichodorus spp.* y *Xiphimena* (Talavera, 2003; García, *et al.*, 2009; Ortuño, *et al.*, 2013; Choque *et al.*, 2017). (Tabla 1).

**Tabla 1. Principales nematodos fitoparásitos en cultivo de papa.**

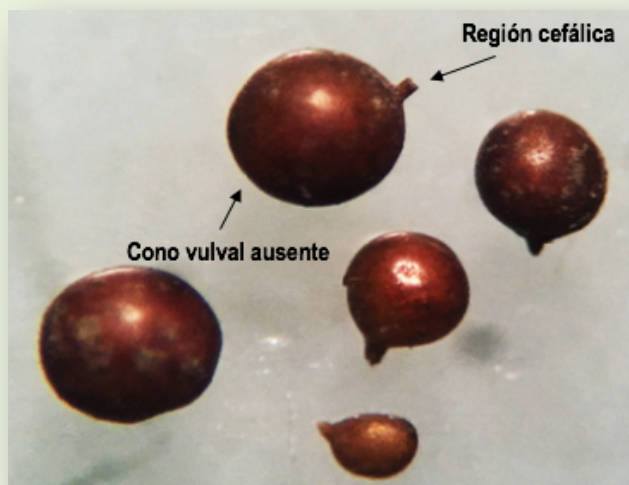
*Globodera pallida*

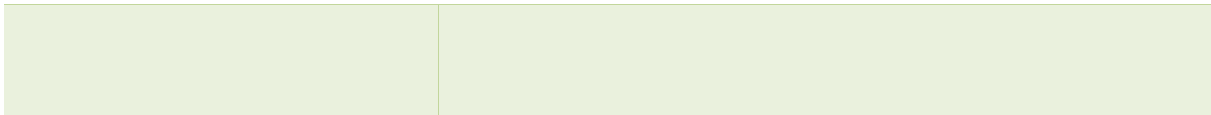
Fuente: SENASICA



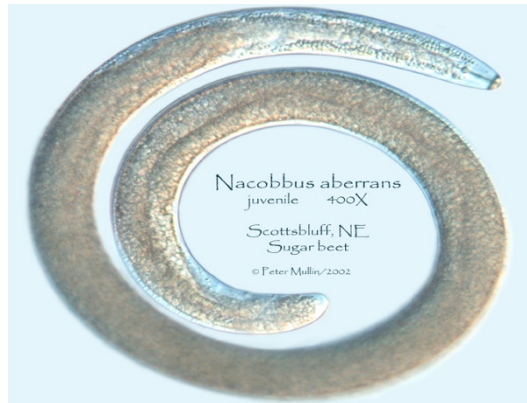
*Globodera rostochiensis*

Fuente: Propia

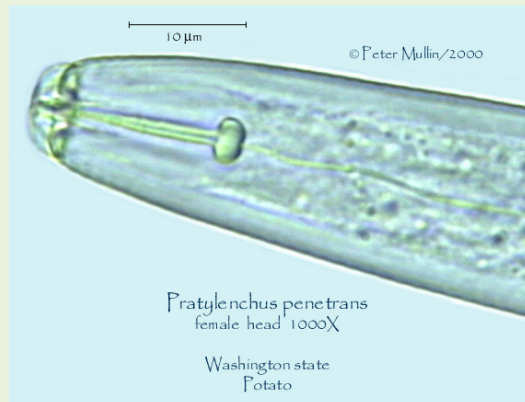




*Nacobbus aberrans*  
Fuente: UNL Nematology  
Lab

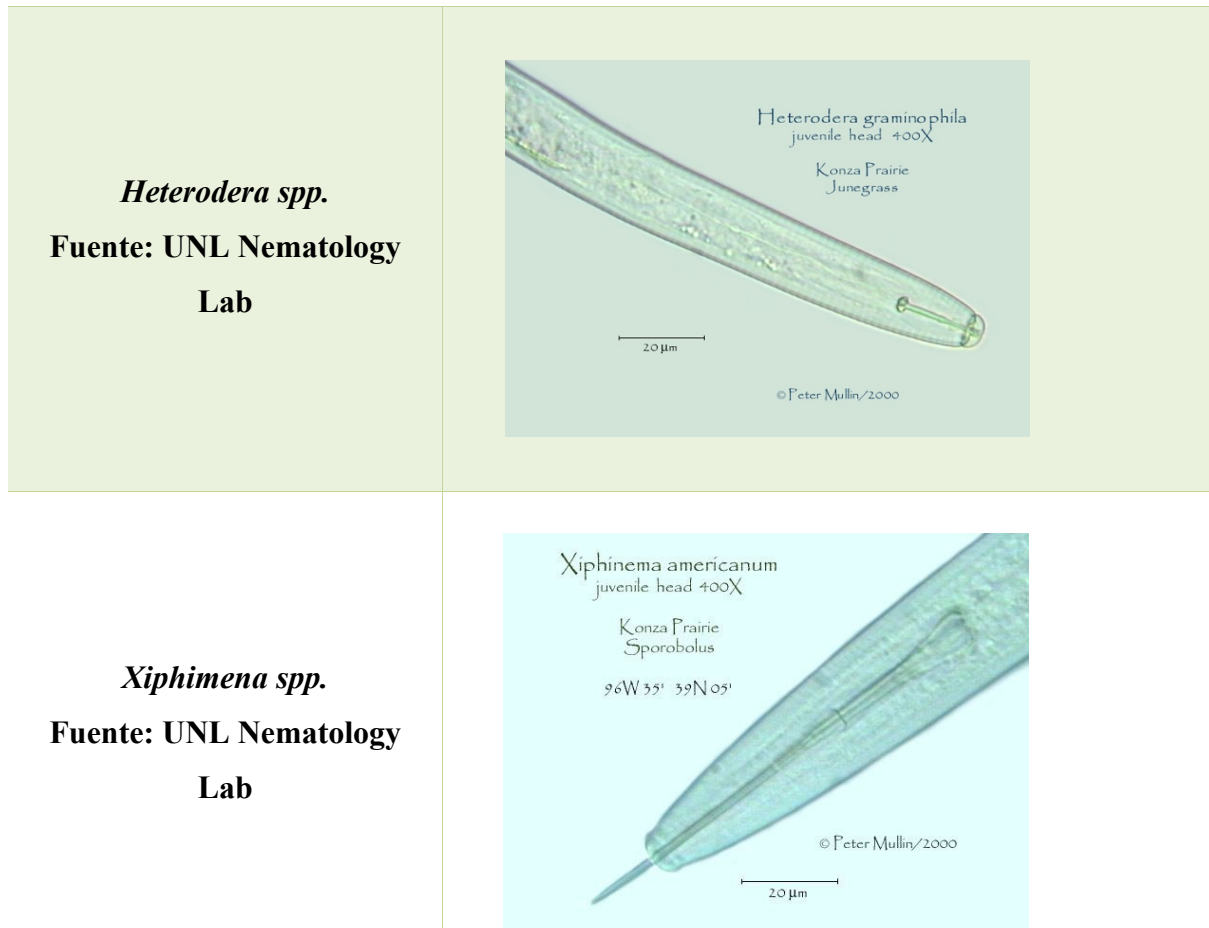


*Pratylenchus spp.*  
Fuente: UNL Nematology  
Lab



*Ditylenchus destructor*  
Fuente: UNL Nematology  
Lab





En particular los nematodos del quiste *Heterodera spp.*, *Globodera spp.* y *Meloidogyne spp.* son considerados como uno de los mayores limitantes de la industria de la papa en todo el mundo. Su importancia radica en el alto índice de reproducción, la capacidad de permanecer viable en el suelo hasta por 30 años y a la facilidad con la que puede ser dispersado en el suelo, mediante maquinaria agrícola y restos vegetales (SENASICA, 2013; Ebrahimi *et al.*, 2015; Tirchi *et al.*, 2016; Flores *et al.*, 2017).

En México, se han registrado géneros de importancia económica en el cultivo de papa como *Globodera rostochiensis*, *Pratylenchus*, *Paratylenchus*, *Meloidogyne chitwoodi*, *Nacobbus aberrans* y *Ditylenchus dipsaci* (Manzanilla *et al.*, 2002; Desganneres *et al.*, 2009; Ramirez, 2014; SAGARPA, 2016).

## **2.7 Factores físicos y químicos del suelo esenciales para el desarrollo de los nematodos**

Algunos de los factores fisicoquímicos del suelo más importantes para el desarrollo de los nematodos son: pH, humedad, Materia orgánica (M.O.) y textura.

### **2.7.1 pH**

La acidez o basicidad del suelo está relacionada con la disponibilidad de nutrientes para el crecimiento de plantas y microorganismos. Los suelos tienden a tener una gran variación en su pH y diversos microorganismos suelen tener un estrecho margen de tolerancia (Arevalo *et al.*, 2016). Se ha reportado que un pH entre 5 y hasta 7.6 del suelo no tiene una relación importante sobre las poblaciones de fitonematodos (González, 2013; Martínez *et al.*, 2015).

### **2.7.2 Humedad**

Las condiciones óptimas de humedad para el desarrollo y sobrevivencia de los nematodos se encuentra entre el 40% al 60% de la capacidad de campo en los suelos. Una disminución o aumento considerable en estas condiciones puede provocar una reducción en el número de nematodos. Sólo los huevos de algunos géneros como *Globodera* y *Meloidogyne* pueden mantenerse viables en condiciones totalmente adversas (González, 2013; Díaz, 2016).

### **2.7.3 Materia Orgánica (M.O.)**

La materia orgánica tiene efecto sobre las propiedades físicas del suelo, formando agregados y dando estabilidad estructural, permitiendo así la penetración del agua y su retención, previniendo la erosión y favoreciendo el intercambio gaseoso (Julca *et al.*, 2006). En suelos con buen contenido de materia orgánica, el ciclo de vida de los nematodos fitoparásitos es afectado debido al desarrollo de organismos antagónicos como virus, bacterias y hongos nematófagos; así mismo, aumenta la competencia por espacio y alimento con los nematodos de vida libre (Guzmán y Castaño, 2010; Martínez *et al.*, 2015)

#### **2.7.4 Textura**

La actividad, los movimientos, reproducción e infectividad de los nematodos va a depender del tamaño de los poros. Poros pequeños restringen el movimiento del aire y del agua, provocando que los niveles de oxígeno sean bajos (Jalata, 1986). Las texturas a las que mejor están adaptados son aquellas porosas como las texturas arenosas, arenoso franca y franco arenosas. Lo contrario son las arcillosas o muy gruesas ya que inhiben su movimiento y su ciclo de vida se ve limitado (Muñoz, 2011; González, 2013; Martínez *et al.*, 2015).

### 3. JUSTIFICACIÓN

El cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) tiene un rol fundamental en las comunidades del ANP Nevado de Toluca, Estado de México, ya que brinda empleos, recursos económicos y alimento a los pobladores de la región. No obstante, el conocimiento sobre los problemas nematológicos es escaso; sólo se tiene registro de la presencia del nematodo dorado (*Globodera rostochiensis*), pero se desconoce su densidad y los posibles géneros y/o especies de nematodos fitoparásitos que pueden estar asociados al cultivo de papa en esta región, limitando las acciones orientadas hacia un mejor manejo y control de dicho nematodo con la finalidad de contribuir a conservar el recurso suelo para garantizar la generación y provisión de diversos beneficios.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo general**

Determinar la densidad de fitonematodos asociados a dos tipos de cultivo (semi-intensivo y tradicional) de papa, en las comunidades de Raíces y Loma Alta del ANP Nevado de Toluca, Estado de México.

#### **4.1.1 Objetivos particulares**

- Identificar morfológicamente los nematodos fitoparásitos asociados a dos tipos de cultivo (semi-intensivo y tradicional) de papa.
- Estimar y comparar la densidad poblacional de los fitonematodos en cultivos semi-intensivos y tradicionales de papa.
- Evaluar los parámetros físico-químicos de suelo (pH, textura, humedad y materia orgánica) en cultivos semi-intensivos y tradicionales de papa.
- Asociar los parámetros físico-químicos del suelo con la densidad de los nematodos fitoparásitos.



## **5. HIPÓTESIS**

Existen nematodos fitopatógenos asociados al cultivo de papa en las comunidades de Raíces y Loma Alta del ANP Nevado de Toluca, Estado de México, por lo que se espera que en cultivos tradicionales de papa la densidad poblacional de los nematodos sea mayor en comparación con los cultivos semi-intensivos.

## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1 Ubicación y descripción del área de estudio

Se consideraron dos comunidades: Raíces y Loma Alta, del municipio de Zinacantepec en el Área Natural Protegida Nevado de Toluca, Estado de México (Figura 5). La región se localiza entre los 19° 04' y 19° 20' N, 99° 42' y 99° 55' O, a una altitud de 4,680 msnm.

El clima predominante es templado subhúmedo a semifrío, con una temperatura de 28°C en verano y de -5°C en invierno. La temperatura media anual oscila entre los 12°C y posee una precipitación de 1,225.6 mm (INEGI, 2009; CEPANAF, 2019).

La vegetación está conformada principalmente por bosques de pino (*Pinus pseudostrobus*, *Pinus hartwegii* y *P. Montezumae*), oyamel (*Abies religiosa*), encino (*Quercus sp.*), Alie (*Alnus sp.*), zacatonales alpinos y páramos de altura (Franco y Regil, 2006). La riqueza faunística está representada aproximadamente por 235 especies, entre las que destacan el Teporingo (*Romero lagus diazi*), Venado cola blanca mexicano (*Odocoileus virginianus mexicanus*), Ajolote (*Ambystoma mexicanum*), Salamandra de pie plano común (*Chiropteroriton chiropterus*), Rana de árbol plegada (*Hyla eximia*, *Hyla plicata*), Colibrí magnifico (*Eugenes fulgens*), Culebra (*Thamnophis cyrtopsis*, *T. Eques*), Víbora de cascabel (*Crotalus triseriatus*) y Ocelote (*Leopardus pardalis*) (CEPANAF, 2019).

Las principales actividades económicas de la región se basan en la agricultura con cultivos de maíz, avena forrajera y papa, así como actividades ganaderas, piscícolas, forestal, recreativas, turísticas y de aprovechamiento de recursos naturales (CEPANAF, s.f.)

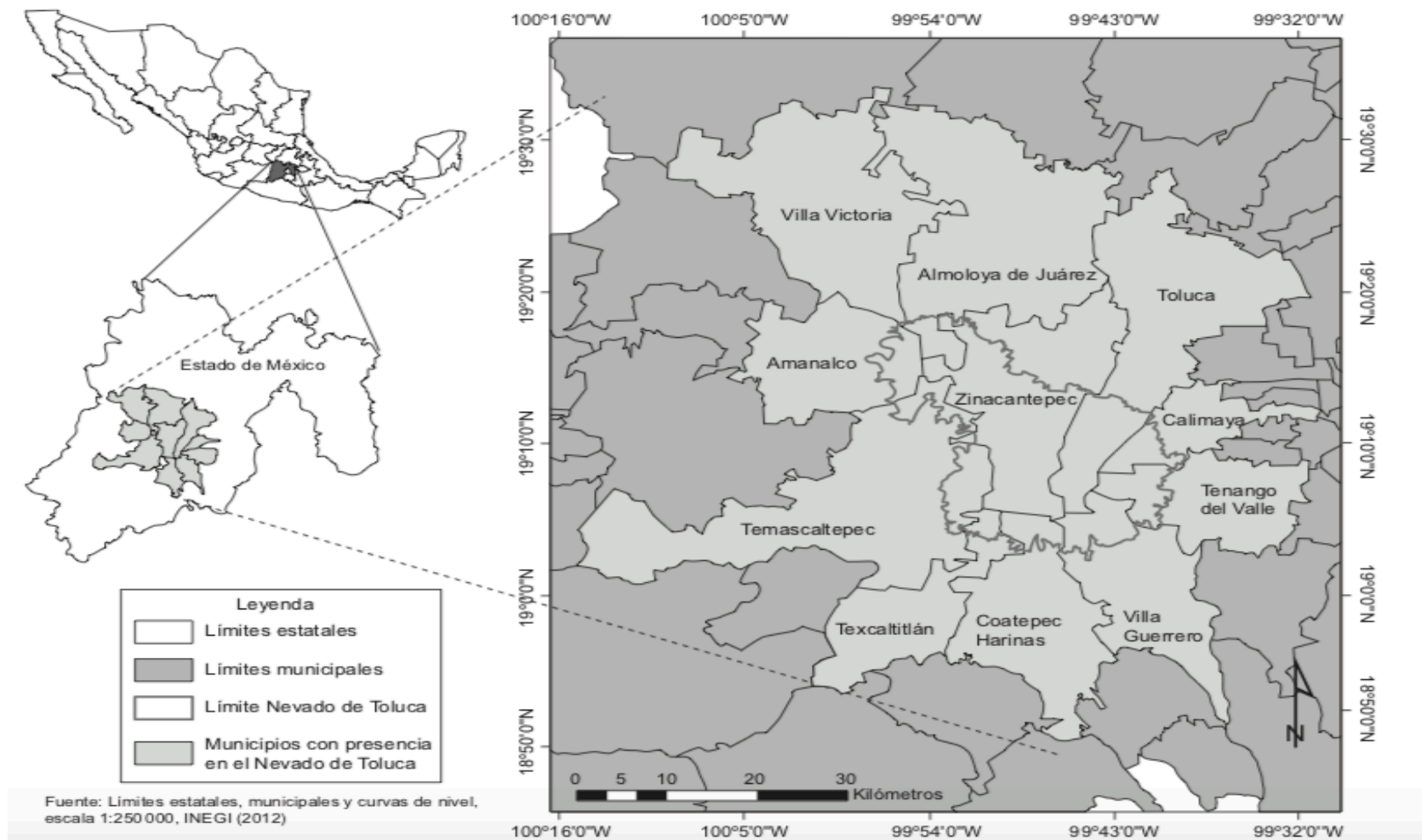


Figura 6. Ubicación del municipio de Zinacantepec dentro del ANP Nevado de Toluca, Estado de México. Tomado de Martínez *et al.*, (2015).

Las muestras de suelo fueron recolectadas en los cultivos de papa de dichas comunidades del Nevado de Toluca: Raíces y Loma Alta. Los análisis de suelo se realizaron en los laboratorios de la Facultad de Ciencias, del Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR) y del Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento (laboratorio de Mejoramiento Genético y Sanidad Vegetal) de la Universidad Autónoma del Estado de México, así como en el laboratorio de Agentes de Control Biológico del Instituto de Ecología (INECOL) en Xalapa, Veracruz.

### **Raíces**

Se sitúa a 3,498 msnm; sus coordenadas geográficas son 09° 94' 81'' longitud y 19° 09' 39'' latitud. Esta localidad es considerada como la más alta del país y comparte las características biofísicas del Nevado de Toluca (Rodríguez, 2015). La principal actividad económica es el cultivo de papa que se rota con avena forrajera. La enfermedad de la papa más importante es el tizón tardío causado por el hongo *Phytophthora infestans* (Abasolo, 2006). El consumo de plaguicidas es considerado como casi nulo.



**Ilustración 2. Áreas de muestreo en la comunidad de Raíces.**

### **Loma Alta**

Se ubica al sur poniente del municipio de Zinacantepec, Estado de México, en la ladera norte, con las coordenadas 99° 48' 23''O y 19° 10' 17''N, a una altitud de 3,431msnm (Sotero *et al.*, 2016). El principal cultivo es la papa y se rota con avena forrajera. Esta es la actividad económica más importante. El consumo de plaguicidas es considerado como moderado.



**Ilustración 3. Áreas de muestreo en la comunidad de Loma Alta.**

## 6.2 Caracterización de las prácticas agrícolas en las parcelas de estudio

Se realizaron entrevistas (Anexo 2) a los productores de papa con la finalidad de conocer las prácticas agrícolas y poder caracterizar las parcelas de estudio, tomando como base seis elementos propuestos por Martínez *et al.*, (2015) (Tabla 1). Siendo que en la comunidad de raíces los cultivos son de tipo tradicional, mientras que los de Loma Alta semi-intensivos

**Tabla 2. Elementos clave para la caracterización de las prácticas agrícolas**

<i>Característica</i>	<b>Semi-intensivo</b>	<b>Tradicional</b>
1. Tipo de laboreo	Mecanizado y manual	Tracción animal y/o manual
2. Rendimiento agrícola	1.8 ton/ha Hernández <i>et al.</i> , (2011)	>
3. Riego o temporal	Temporal	Temporal
4. Incorporación de MO	Ocasionalmente	Siempre
5. Uso de agroquímicos	Se respeta la dosis establecida	Nula o casi nula incorporación
6. Rotación de cultivo	Ocasionalmente	Siempre

## 6.3 Toma de muestras

Para el estudio se seleccionaron tres plantaciones de cultivo de papa en Raíces y dos en Loma Alta. En cada plantación se tomaron 25 sub-muestras durante un ciclo de cultivo, siguiendo un patrón zigzag (Haydock y Perry, 1998). Las sub-muestras se tomaron de los primeros 20 cm de profundidad, con pala recta, eliminando la materia orgánica superficial. Cada muestra se etiquetó con los datos de la localidad, municipio, predio, nombre del productor, variedad de papa y fecha de colecta. En el laboratorio, las muestras se homogeneizaron y se obtuvieron cinco muestras compuestas. Una parte del suelo se utilizó para la extracción de J2 y quistes; la otra parte se utilizó para la evaluación del pH,

humedad, materia orgánica y textura. El suelo empleado para los análisis físico-químicos se colocó en charolas de poliuretano para su secado a la sombra.

#### **6.4 Extracción de nematodos juveniles J2 de suelo**

Para la extracción de los J2 se empleó la técnica de tamizado-centrifugado (s'Jacob y van Bezooijen, 1984). Se tomaron 100cc de suelo homogenizado; se eliminaron las raíces, piedras y otros desechos. La muestra de suelo se colocó en una cubeta y se lavó directamente bajo un chorro de agua a presión. La suspensión resultante se agitó perfectamente y se dejó reposar alrededor de 30 segundos. Posteriormente, se decantó la solución sobre un juego de tamices de 100 y 400 mallas. Con la ayuda de una pizeta los residuos retenidos en el tamiz de 400 mallas se transfirieron a tubos de centrifuga de 50 ml. Se procedió a centrifugar 5 minutos a 3000 r.p.m. Se decantó el sobrenadante y se agregó solución azucarada (484 g de azúcar aforada en un litro de agua destilada). Se re-suspendió nuevamente el suelo y se centrifugó a la misma velocidad durante 3 minutos. El sobrenadante que contenía a los nematodos fue vertido sobre un tamiz de 400 mallas, y el exceso de azúcar fue lavado con suficiente agua.

#### **6.5 Fijación, aclarado y montaje de nematodos**

Para la conservación y observación de las estructuras de los nematodos obtenidos de las muestras de suelo, se fijaron utilizando el método de Seinhorst (1962), que consiste en colocar a los nematodos en cajas Petri con 10 ml de agua; después se le agregó el doble del volumen de formol al 4% en ebullición. Los nematodos se mantuvieron en esta solución de 8 a 10 días. Posteriormente, se retiró una tercera parte del líquido que contenía la caja Petri y se agregó una solución llamada Seinhorst 1(S1), elaborada con etanol al 96% (20 mL), glicerina anhidra (1 mL) y agua destilada (79 mL). Se dejaron en esta solución durante dos horas a temperatura ambiente para deshidratar los nematodos. Posteriormente se colocaron en un recipiente hermético con alcohol al 96% a un tercio de su capacidad y se mantuvieron a 40°C durante 16 horas en una incubadora. Transcurrido el tiempo se le adicionó la solución Seinhhorst 2 (S2), elaborada con alcohol al 96% (93 mL) y glicerina anhidra (7 mL) y se mantuvieron nuevamente a 40°C durante 72-120 horas añadiendo la solución S2

cada 24 horas, hasta que el alcohol se evaporara completamente y los nematodos estuvieran en glicerina pura para posteriormente ser montados.

Una vez fijados y aclarados los nematodos se montaron en portaobjetos con una gota de glicerina anhidra y se sellaron con anillos de parafina (s'Jacob y van Bezooijen, 1984).

### **6.6 Extracción y cuantificación de quistes del nematodo dorado de la papa**

La extracción de quistes se realizó mediante el método del embudo de Fenwick (1940). Se colocó un tamiz de 850  $\mu\text{m}$  en la parte superior del embudo y un tamiz de 150  $\mu\text{m}$  bajo la salida del rebosadero. Posteriormente se colocaron 100 cc de suelo en el tamiz de 850  $\mu\text{m}$  y se lavó la muestra con agua corriente hasta que la totalidad del suelo pasó por el tamiz. El material obtenido en el tamiz de 150  $\mu\text{m}$  fue vertido en un vaso de precipitado, el cual en su interior contenía una tira de papel filtro húmedo. Posteriormente, se agregó un poco de detergente en polvo para romper la tensión superficial y favorecer la adhesión de los quistes al papel filtro.

### **6.7 Densidad de la población de J2 y quistes**

Las soluciones que contenían a los J2 se colocaron en cajas Petri y se observaron en un microscopio invertido (Zeiss ®) a 40x para su conteo. De igual forma, los quistes obtenidos se cuantificaron con ayuda de microscopio estereoscópico (ZE-2040 Milenium) a 10x y se expresaron como número de quistes/kg de suelo; para cada localidad de estudio. Así mismo, se determinó la viabilidad de los quistes mediante el conteo de huevos y larvas por quiste/100 ml de agua en un microscopio óptico (Velab VE-B2).

Las fotografías y medidas de los ejemplares se tomaron con un microscopio óptico (Motic BA210LED), cámara digital (5.0mpx Motic) y el software Motic ImagesPlus 2.0.

### **6.8 Análisis de las características físico-químicas del suelo**

Los análisis físico-químicos del suelo se realizaron siguiendo la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad y clasificación de suelos. Estudios, Muestreo y análisis (Tabla 2).



**Tabla 3.0 Métodos de determinación de características físico-químicas del suelo (NOM-021-RECNAT-2000)**

DETERMINACIÓN	MÉTODO Y/O FORMÚLA
Textura	Bouyocus
pH	Potenciometro 1:2
Contenido de materia orgánica	Carbón orgánico (Walkley y Black, 1934).
Contenido de humedad	Gravimetría $\theta$ g = % de humedad Pb = peso del bote con tapa (g) Psh = peso de suelo húmedo (g) PB+Psh = peso del bote + peso del suelo húmedo (g) PB+Pss = peso del bote más peso del suelo seco (g)  $\theta \text{ gr} = \frac{(PB + Psh) - (PB + Pss)}{(PB + Pss) - PB} \times 100$

### 6.9 Análisis estadístico de datos

La densidad de nematodos se calculó mediante la siguiente fórmula; Densidad poblacional= número de organismos/ m<sup>2</sup> y las posibles diferencias de densidad entre las comunidades se analizó mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis ( $P \leq 0.05$ ) mediante el programa SPSSStatistics.

La prevalencia se calculo en el programa PAST mediante la siguiente fórmula; número de organismos de un género/ total de organismos x100. Finalmente se correlaciono la densidad de nematodos fitoparásitos con las variables fisicoquímicas del suelo mediante una correlación de SPEARMAN en el programa SPSSStatistics.

## 7. RESULTADOS

### 7.1 Identificación morfológica de los nematodos fitoparásitos asociados a cultivos semi-intensivos y tradicionales de papa

Los nematodos fitoparásitos recuperados del presente estudio fueron identificados morfológicamente con ayuda de las claves taxonómicas especializadas para el orden Tylenchida y se ubicaron en niveles jerárquicos (Siddiqi, 2000).

#### 7.1.1 *Globodera rostochiensis*

##### *Clasificación Taxonómica (Siddiqui, 2000)*

**Phyllum:** Nemata

**Clase:** Secernentea

**Subclase:** Diplogasteria

**Orden:** Tylenchida

**Suborden:** Tylenchida

**Superfamilia:** Tylenchoidea

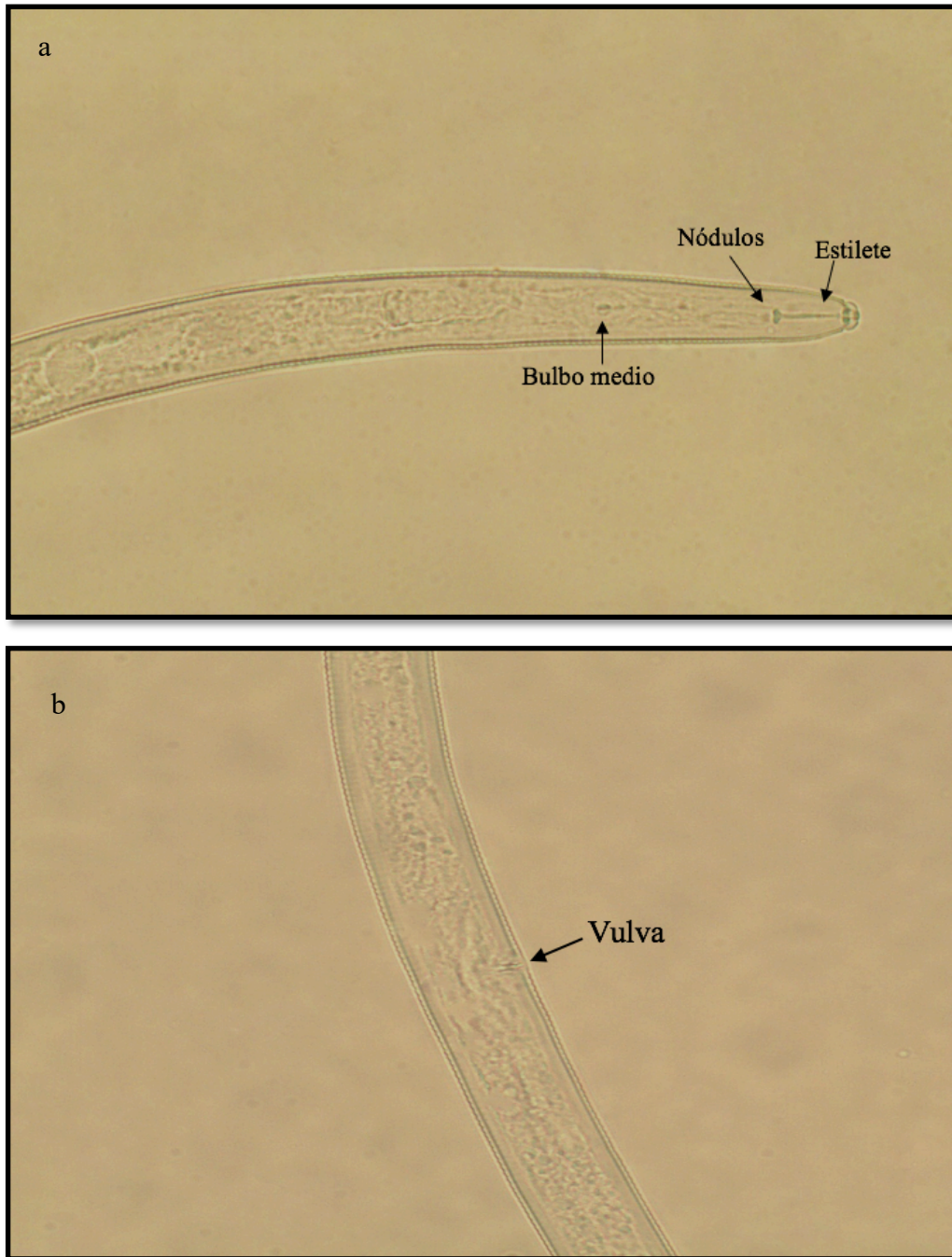
**Familia:** Heteroderidae

**Género:** *Globodera*

**Especie:** *G. rostochiensis*

##### **Descripción morfológica del nematodo**

Los juveniles de *G. rostochiensis* presentaron cuerpo vermiforme con anillos definidos, con un promedio del largo del cuerpo de  $468 \pm 660 \mu\text{m}$ . Cabeza con 4 a 6 anillos y estilete bien desarrollado (estomatoestilete) con una longitud de  $26 \pm 8 \mu\text{m}$ , con nódulos basales redondeados de  $3.5 \pm 1.5 \mu\text{m}$  de largo y una longitud de la cola de  $44 \pm 12 \mu\text{m}$ . Los machos, al igual que los juveniles, presentaron cuerpo vermiforme con estilete bien desarrollado de  $26 \mu\text{m} \pm 19 \mu\text{m}$  de longitud; nódulos basales  $5.8 \pm 4.2 \mu\text{m}$  de largo; longitud de la cola  $5.6 \mu\text{m} \pm 1.6 \mu\text{m}$  y longitud de las espículas de  $35 \pm 2.5 \mu\text{m}$  (Figura 6).



**Figura 7.0 Morfología de *G. rostochiense* a) Estilete de un adulto con nódulos basales pequeños en forma de bulbo y región cefálica b) Vulva de una hembra.**

### Quistes

Los quistes presentaron una tonalidad dorado-brillante con forma esférico-globosa (Figura 7) con un diámetro entre  $18.8 \pm 2.2 \mu\text{m}$  y ancho de  $382 \pm 60 \mu\text{m}$  con un alargamiento que corresponde al cuello de  $104 \pm 19 \mu\text{m}$ , diámetro de la fenestra:  $19 \pm 2 \mu\text{m}$ ; distancia entre el ano y fenestra:  $66.5 \pm 10.3 \mu\text{m}$  y un patrón de estrías sinuosas casi rectas. (Figura 8).

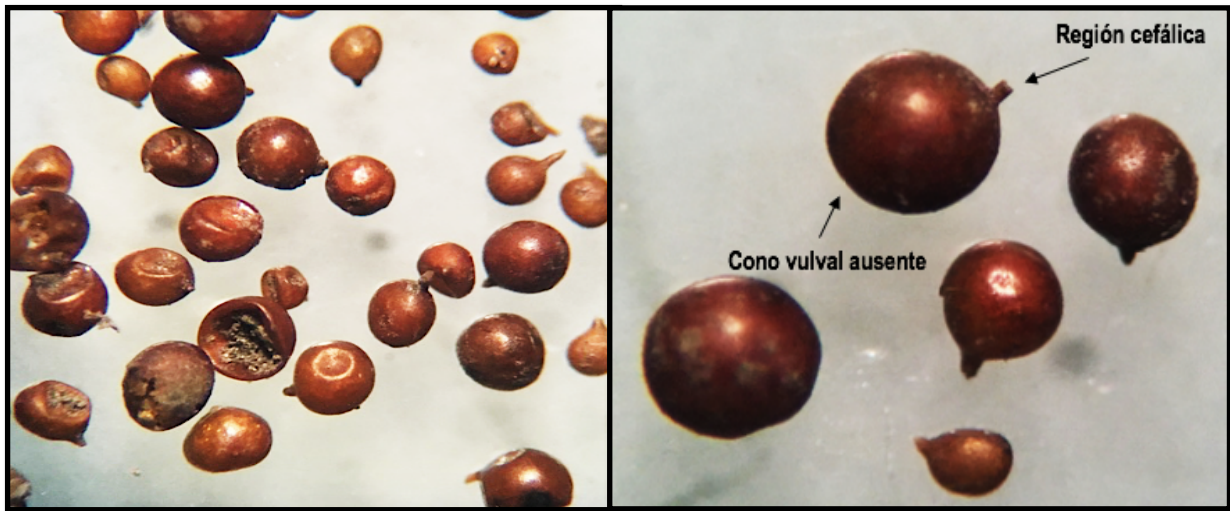


Figura 8.0 Quistes en forma esférico-globosa y tonalidad dorado-brillante de *G. rostochiensis*.

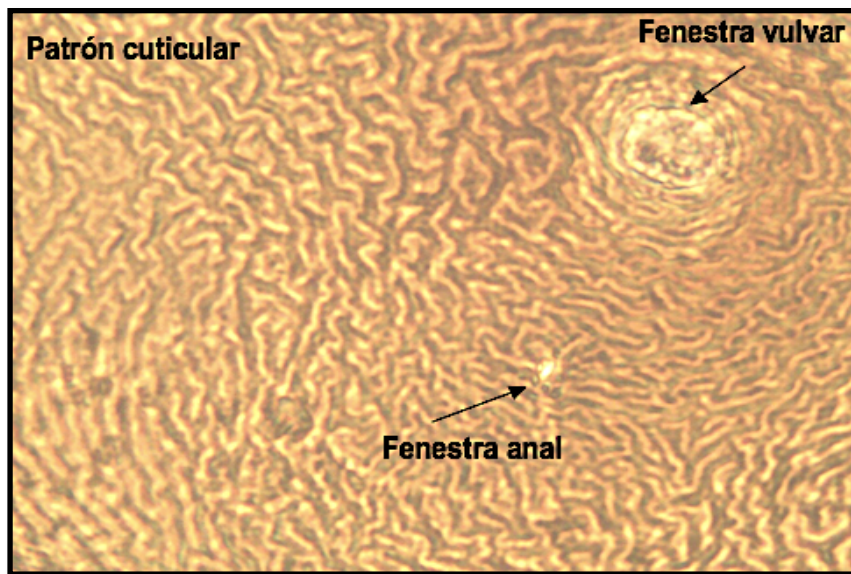


Figura 9. Patrón fenestral de *G. rostochiensis* con estrías sinuosas.

### 7.1.2 *Pratylenchus spp.*

#### Clasificación taxonómica (Meza, 2017)

**Phyllum:** Nemata

**Clase:** Secernentea

**Subclase:** Diplogasteria

**Orden:** Tylenchida

**Suborden:** Tylenchida

**Familia:** Pratylenchidae

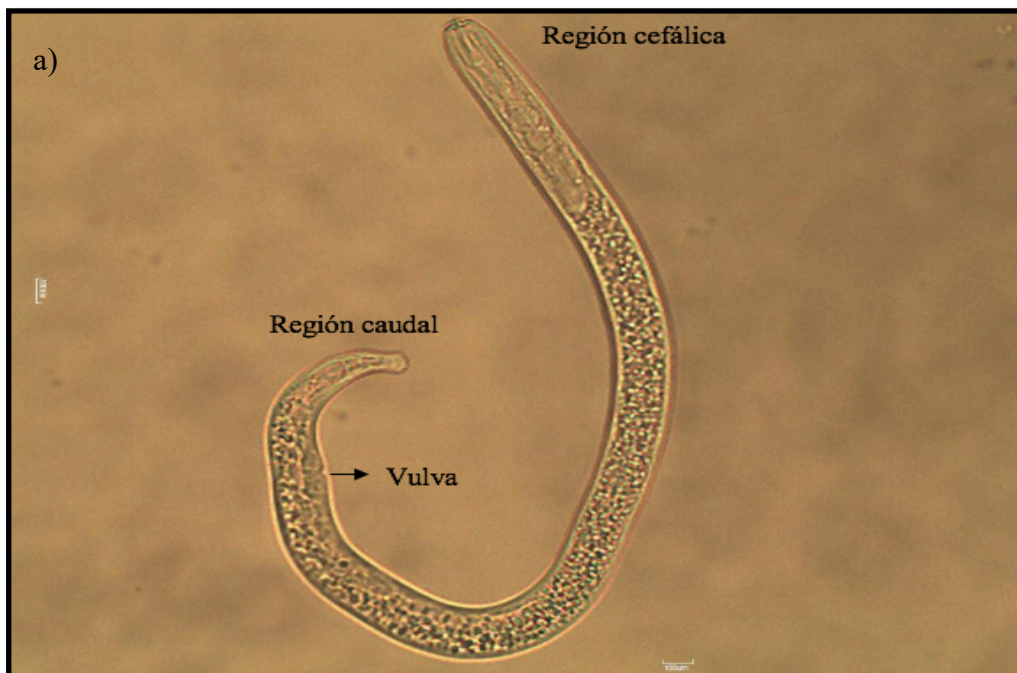
**Subfamilia:** Pratylenchinae

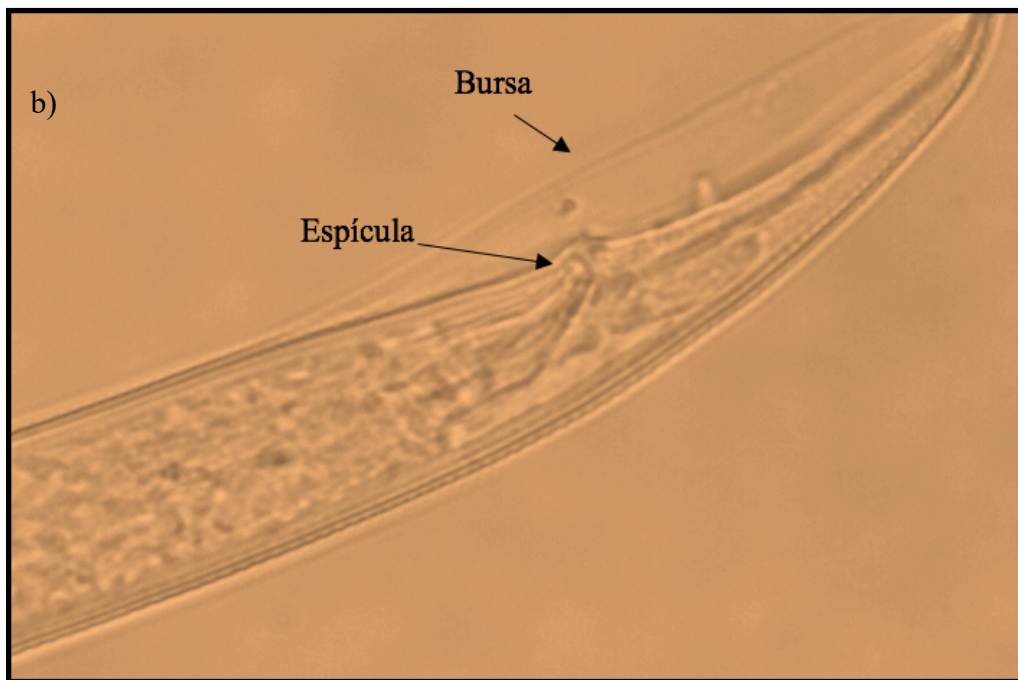
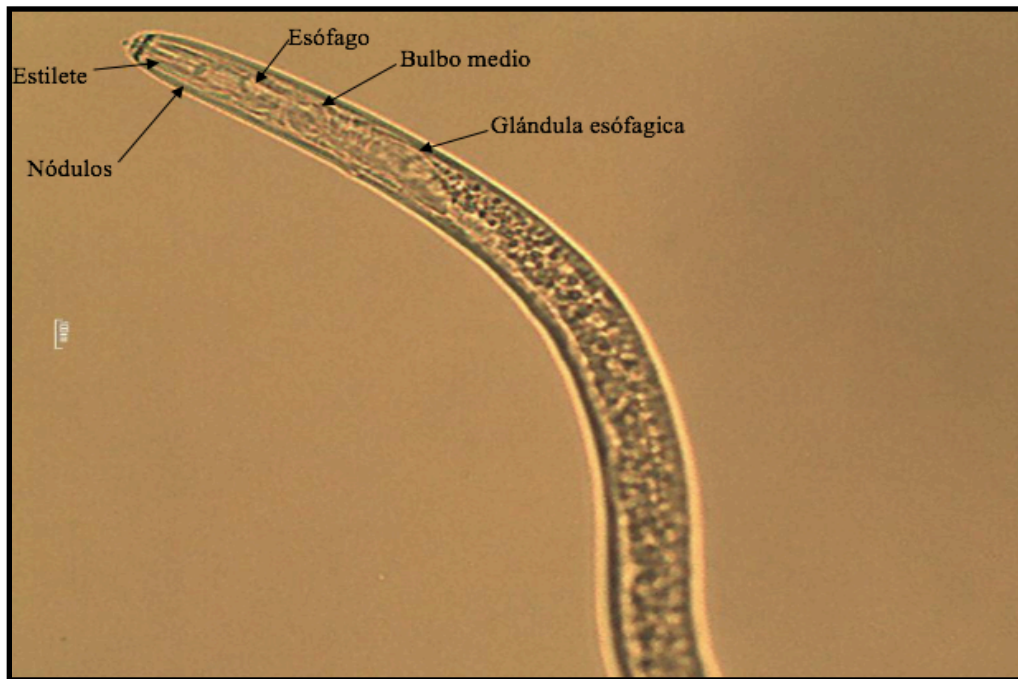
**Género:** *Pratylenchus*

**Especie:** *Pratylenchus spp.*

#### Descripción morfológica del nematodo

Los organismos presentaron cuerpo vermiforme con una longitud aproximada de  $345 \pm 680$   $\mu\text{m}$  y anulación cuticular fina. La región cefálica casi plana en el frente con estilete de  $13 \pm 18$   $\mu\text{m}$  y con nódulos basales redondeados y grandes. Las hembras presentaron un sólo ovario dirigido hacia la parte anterior y la región caudal de machos y hembras generalmente redondeada (Figura 9).





**Figura 10. a) Región cefálica y caudal de una hembra de *Pratylenchus*; se observa la vulva. b) Región cefálica de un adulto con estilete y lóbulos c) Vista caudal de un macho; se observa espícula y bursa.**

### 7.1.3 *Helicoylenchus* spp.

#### **Clasificación taxonómica (Siddiqui, 2000)**

**Phyllum:** Nemata

**Clase:** Secernentea

**Subclase:** Diplogasteria

**Orden:** Tylenchida

**Suborden:** Tylenchida

**Familia:** Hoplolaimidae

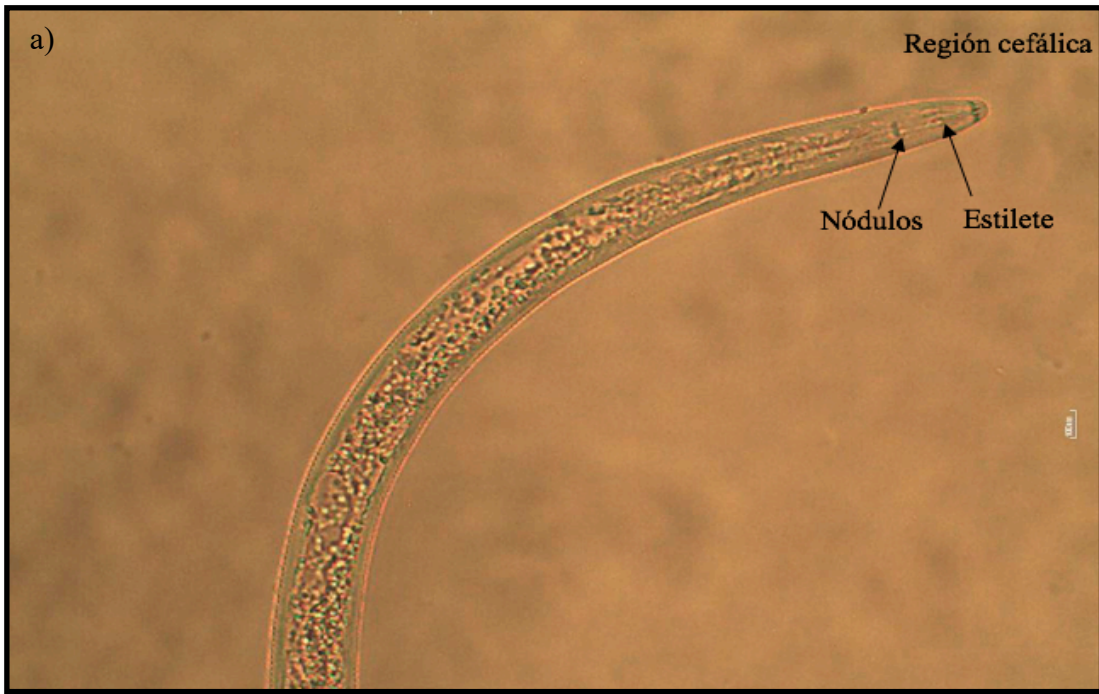
**Subfamilia:** Hoplolaiminae

**Género:** *Helicotylenchus*

**Especie:** *Helicotylenchus* spp.

#### **Descripción morfológica del nematodo**

Los organismos pertenecientes al género *Helicotylenchus* presentaron una forma enrollada o arqueada después de la fijación con formol caliente al 4%. La región cefálica cónica y redondeada con 3 a 4 anulaciones. Estilete robusto de  $18 \pm 24 \mu\text{m}$ , bulbos basales redondeados y prominentes. La longitud promedio del cuerpo fue de  $540 \pm 740 \mu\text{m}$ . Bulbo medio del esófago ovalado con aparato vulvar en el centro. Las hembras presentaron una vulva bien desarrollada con forma de T invertida. Cola corta y semiesférica curvada dorsalmente con una proyección en el extremo (mucrón) (Figura 10).





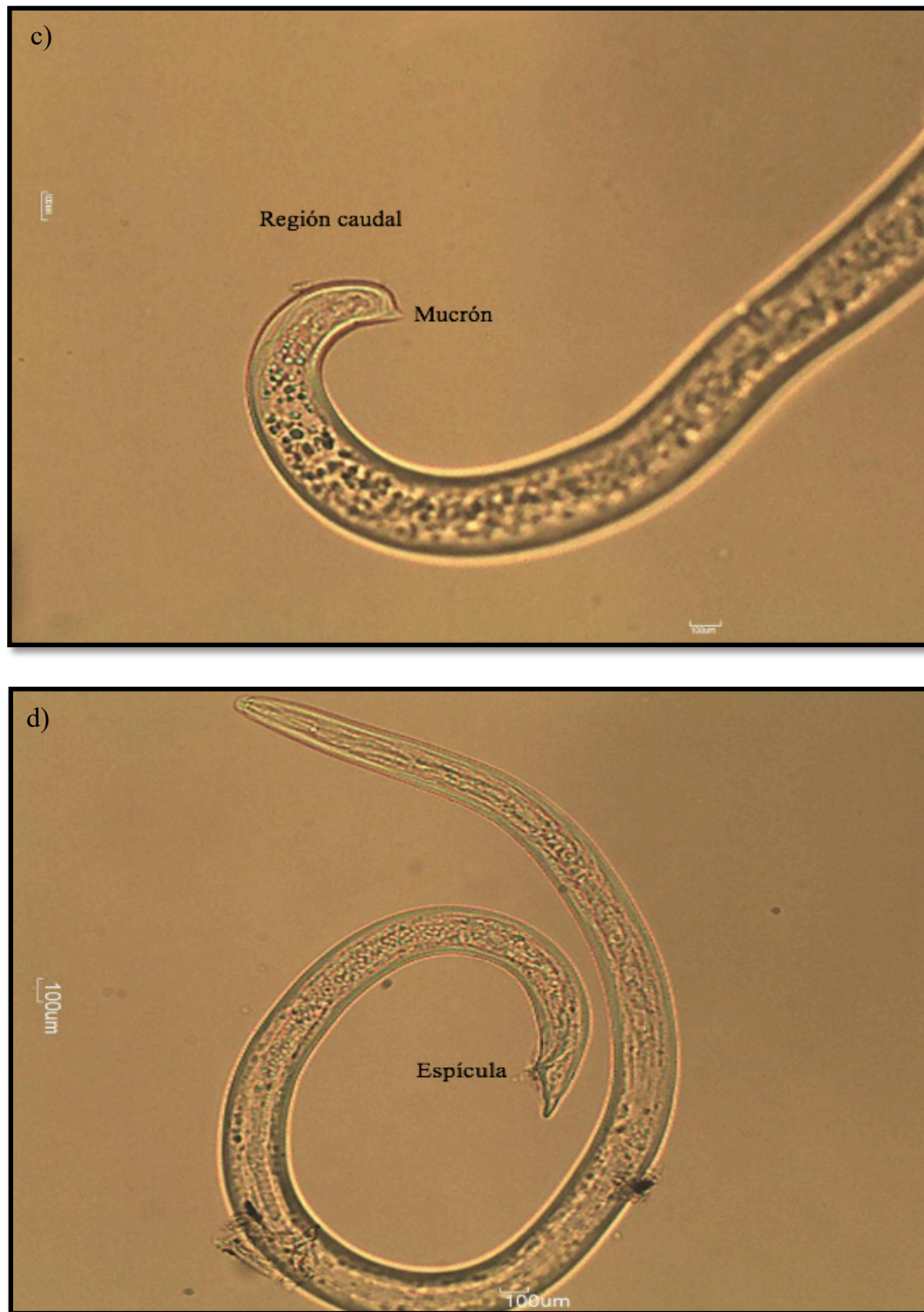


Figura 11. a) Región cefálica de *Helicotylenchus*. Se aprecia el estilete y los nódulos basales. b) Vulva de una hembra. c) Región caudal curvada con una proyección en el extremo (mucrón). d) Cuerpo completo de un macho, con forma enrollada y espícula en la región caudal .

**7.1.4 *Criconema* sp.**

**Clasificación taxonómica (Siddiqui, 2000)**

**Phyllum:** Nemata

**Clase:** Secernentea

**Subclase:** Diplogasteria

**Orden:** Tylenchida

**Suborden:** Tylenchida

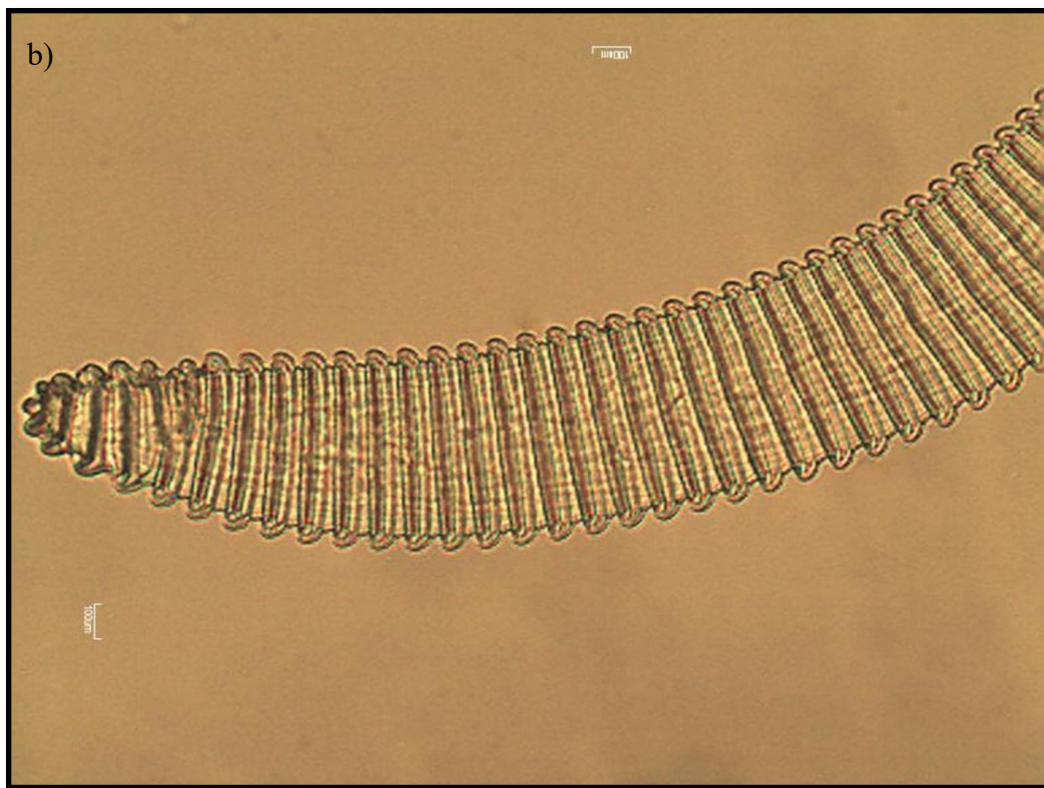
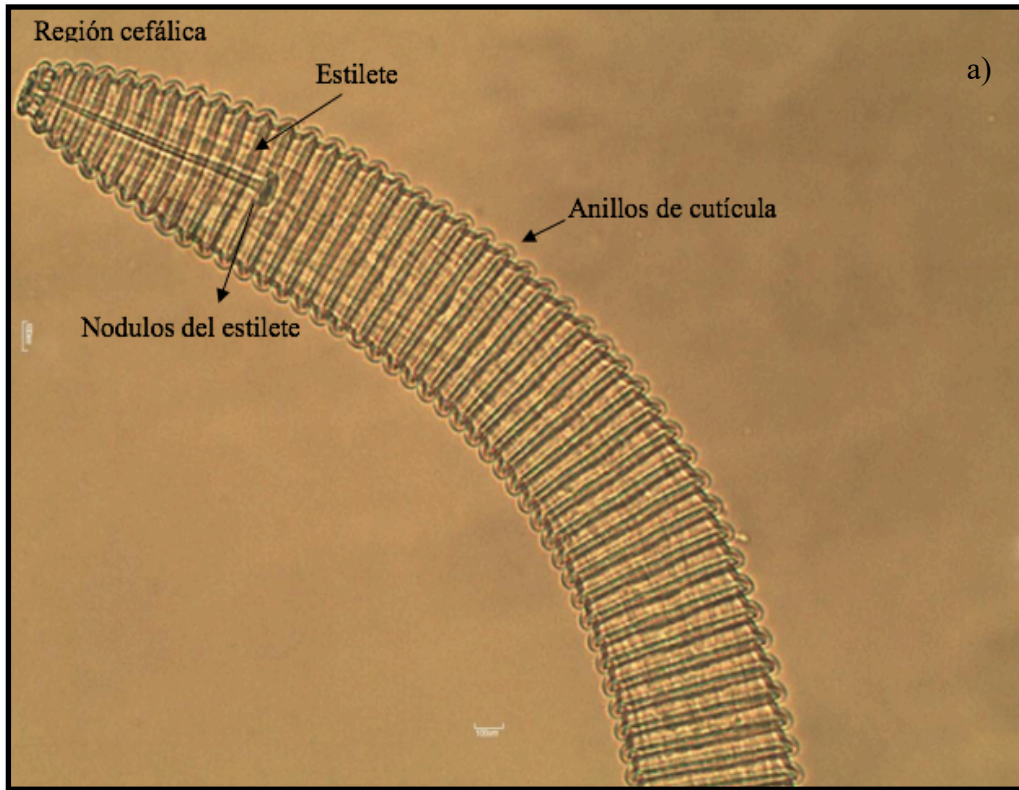
**Familia:** Criconematidae

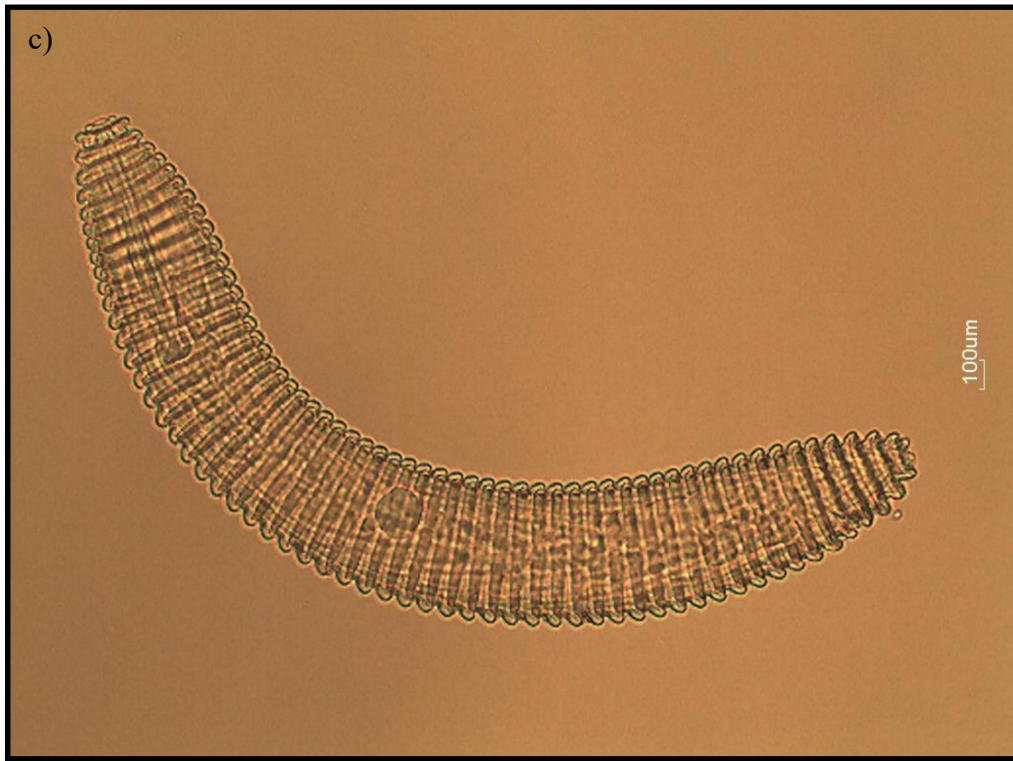
**Género:** *Criconema*

**Especie:** *Criconema* spp.

**Descripción morfológica del nematodo**

Los organismos presentaron una cutícula ornamentada con 39 a 44 anulaciones de  $2 \pm 3.6$   $\mu\text{m}$  de largo desde la base, redondeadas dirigidas hacia atrás. Una longitud total de  $410 \pm 600$   $\mu\text{m}$ . La región cefálica con dos anulaciones de igual tamaño, pero más pequeños que el resto de los anillos del cuerpo. Estilete robusto de  $39 \pm 76$   $\mu\text{m}$  de largo y nódulos incurvados hacia adelante con un promedio de 7.3  $\mu\text{m}$  de largo. Las hembras con vulva situada aproximadamente a 88% de distancia de la cabeza a un promedio de 7 anillos de la punta de la cola. La región caudal conoide a redondeada, con anillos que van disminuyendo progresivamente el diámetro hasta la punta de la cola. No se observaron machos (figura 11).





**Figura 12. Morfología general de *Criconema* a) Región cefálica con los dos primeros anillos diferenciados del resto del cuerpo y estilete con los nódulos basales incurvados hacia enfrente b) Región caudal redondeada a cónica c) Cuerpo completo.**

## **7.2 Nematodos fitopatógenos (J2) encontrados en cultivos semi-intensivos y tradicionales**

Se identificó 1 especie y 3 géneros de nematodos fitoparásitos asociados al cultivo de papa extraídos de muestras de suelo en dos tipos de cultivo de dos comunidades del municipio de Zinacantepec del ANP Nevado de Toluca, Estado de México. Todos los géneros de nematodos estuvieron presentes en las dos zonas de estudio a excepción de *Criconema spp.* que sólo se encontró en cultivos semi-intensivos (Tabla 3).

**Tabla 4. Características geográficas y nematodos fitoparásitos asociados al cultivo de papa en el ANP Nevado de Toluca, México.**

Código	Comunidad	Datos geográficos	Cultivo	Diagnóstico
CT	Raíces	09° 94' 81'' O, 19° 09' 39'' N 3, 498 msnm	Cultivo de papa rotado con avena	<i>Globodera rostochiensis</i> , <i>Pratylenchus spp.</i> y <i>Helicotylenchus sp.</i>
CS-I	Loma Alta	99° 48' 23'' O, 19° 10' 17'' N 3, 431msnm	Cultivo de papa rotado con avena	<i>Globodera rostochiensis</i> , <i>Pratylenchus sp.</i> , <i>Helicotylenchus sp.</i> y <i>Criconema sp.</i>

CT= Cultivo Tradicional

CS-I= Cultivo Semi-intensivo

### 7.3 Densidad de nematodos fitopatógenos J2 en dos tipos de cultivo (semi-intensivo y tradicional) de papa.

El nematodo con mayor densidad en ambos tipos de cultivo fue *G. rostochiensis* (Tabla 4). La mayor densidad se encontró en la comunidad de Raíces con 3,184 quiste/kg de suelo y un contenido promedio de huevos y larvas de 33. En Loma Alta la densidad fue de 1,468 quistes/kg de suelo y un promedio de 13.3 huevos y larvas /quiste ( $p < 0.05$ ). No obstante, la densidad de J2 fue menor en comparación con la densidad de quistes, siendo 324 organismos/kg de suelo en Raíces y 472 en la comunidad de Loma Alta, no encontrándose diferencias entre comunidades ( $p > 0.05$ ).

Por otra parte los nematodos pertenecientes a los géneros *Pratylenchus*, *Helicotylenchus* y *Criconema* presentaron las menores densidades en ambos tipos de cultivo no superando los 100 organismos/kg de suelo. La prueba no paramétrica U de Mann Whitney mostró que la densidad poblacional de J2 de estos géneros entre los cultivos semi-intensivos y tradicionales no es estadísticamente significativa (Tabla 4).

Tabla 5. Densidad de géneros de nematodos fitoparásitos en plantaciones de papa

Cultivo	DENSIDAD DE FITONEMATODOS				
	<i>G. rostochiensis</i>		<i>Pratylenchus</i> <i>spp.</i>	<i>Helicotylenchus</i> <i>spp.</i>	<i>Criconema sp.</i>
	Larvas	Quistes	Larvas	Larvas	Larvas
<b>CT</b>	324	3,184 <sub>a</sub>	23.00	12.40	
	690 ± 140	5230 ± 1900	120 ± 0.00	70 ± 0.00	-----
<b>C-SI</b>	472.00	1,468 <sub>b</sub>	28.00	3.33	13.33
	870 ± 180	1800 ± 900	100 ± 0.00	20 ± 0.00	50 ± 0.00
<b>Estadístico</b>	H=45	H=9.00	H=65	H=61	H=30
	p=0.9	p=0.000	p=0.5	p=0.3	p=0.4

Los valores representan el promedio de cinco muestras compuestas en cada sitio de colecta=U de Mann Whitney. Letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas entre tipos de cultivo con la prueba no paramétrica ( $p \leq 0.05$ ).

#### 7.4 Prevalencia y abundancia de nematodos fitoparásitos asociados al cultivo de papa

El nematodo con mayor prevalencia en ambos tipos de cultivo fue *Globodera rostochiensis* con una presencia del 100% en todas las muestras analizadas, seguido de *Pratylenchus spp.* con el 70% y 73% en cultivos tradicionales y semi-intensivos, respectivamente, y *Criconema spp.* con el 60%, sólo en cultivos semi-intensivos. Finalmente, el género que presentó la menor prevalencia fue *Helicotylenchus spp.* con 26% y 40% presente en las muestras de estudio de cultivos tradicionales y semi-intensivos, respectivamente (Figura 14).

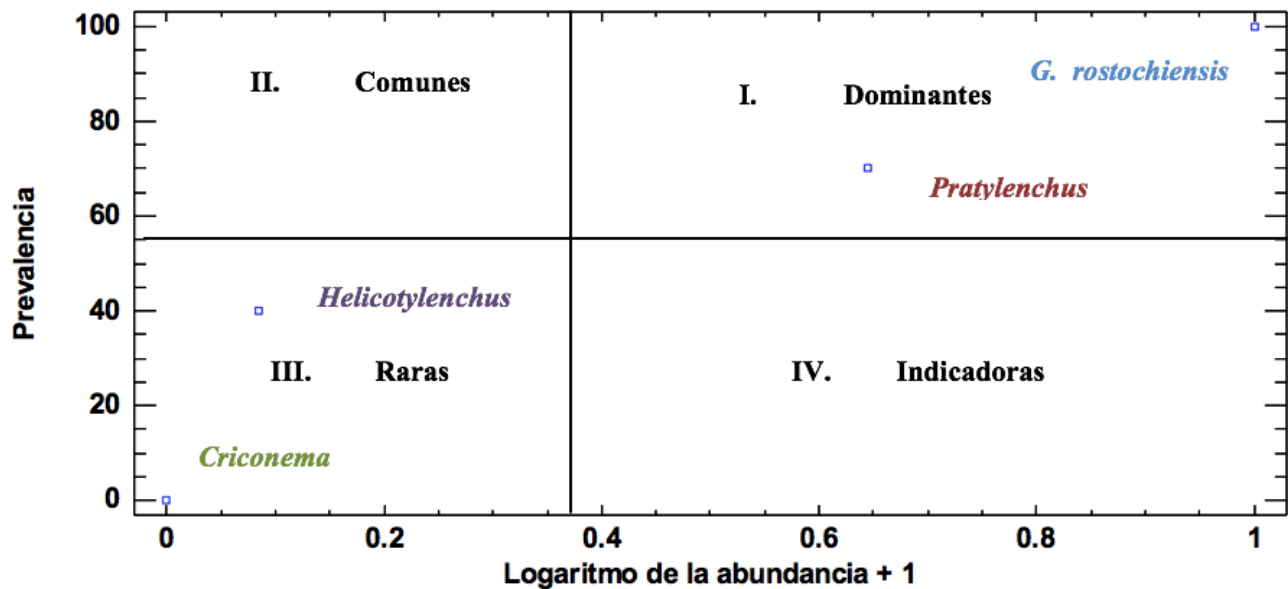
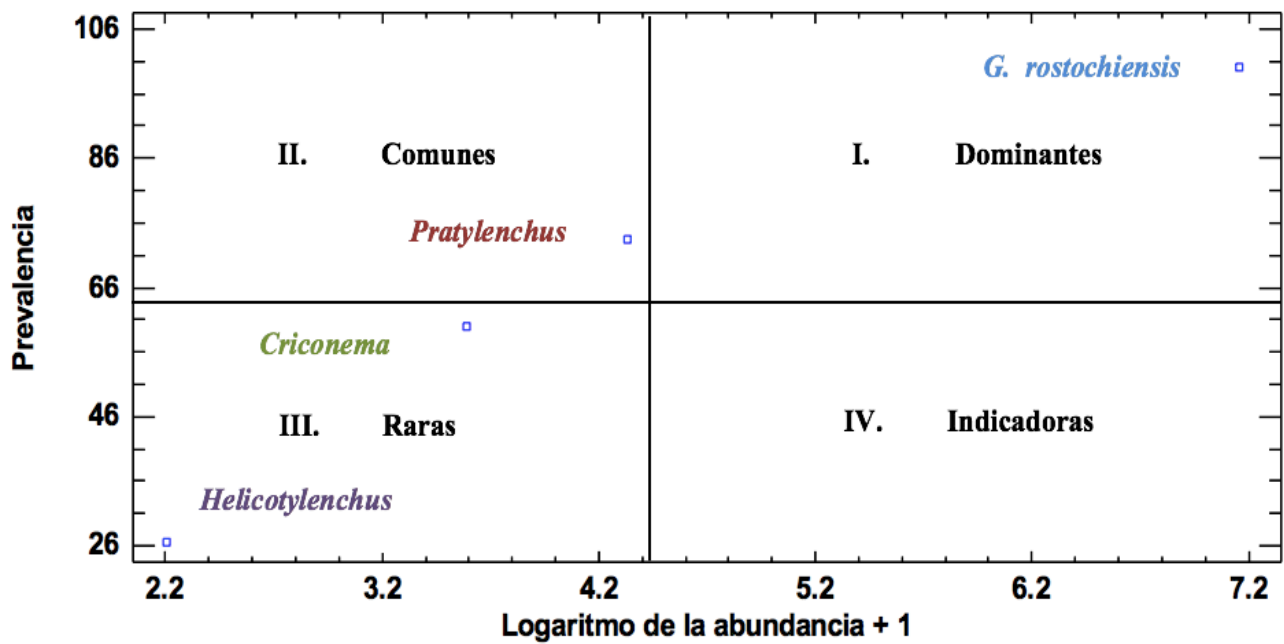


Figura 13. Análisis de prevalencia y abundancia de Olmstead-Tukey de nematodos fitoparásitos en cultivos de papa en el ANP Nevado de Toluca, Estado de México. A) Cultivos tradicionales en la comunidad de Raíces y B) Cultivos semi-intensivos en la comunidad de Loma Alta.

### 7.5 Análisis de las características físico-químicas del suelo

De las muestras de suelo de las localidades de estudio se determinó el pH, porcentaje de materia orgánica (MO), humedad y textura. El nivel de pH de suelo en ambos tipos de cultivo fue ácido. Mientras que el contenido de materia orgánica (M.O.) de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000, los valores obtenidos se encuentran dentro del intervalo medio para suelos volcánicos (Tabla 5). Por su parte el porcentaje de humedad en los dos tipos de cultivo fue de 3.3 a 4.3% en Loma Alta y Raíces, respectivamente, y la textura en ambos sitios fue Franco Arenosa (Tabla 6).

**Tabla 6. Niveles de pH y % de materia orgánica de las muestras de suelo de cultivos semi-intensivos y tradicionales.**

Tipo de cultivo	pH (H <sub>2</sub> O)	MO %
CS-I	4.89	7.7 a
	4.52 ± 4.51	10.40 ± 5.60
C-T	5.07	9.9 b
	5.53 ± 4.61	16.10 ± 2.70

CS-I= Cultivos Semi-intensivos

C-T= Cultivos tradicionales

Valores promedio (C-SI: n = 10, C-T: n= 15).



**Tabla 7. Contenido de humedad y composición mecánica de los suelos de cultivos semi-intensivos y tradicionales.**

Tipo de cultivo	Contenido de humedad %	Proporción de la composición mecánica			
		% Arena	% Arcilla	% Limo	Textura
CS-I	3.32	74.66	11.05	14.28	Franco arenosa
	4.10 ± 2.60	80.29 ± 69.14	12.86 ± 8.50	18.07 ± 9.14	
C-T	4.26	71.88	9.40	18.71	Franco arenosa
	5.80 ± 2.90	81.98 ± 62.85	17.01 ± 4.86	27.78 ± 12.14	

CS-I= Cultivos Semi-intensivos, C-T= Cultivos tradicionales

Valores promedio (C-SI: n = 10, C-T: n= 15)

### 7.6 Correlación entre los factores físico-químicos del suelo y nematodos fitopárasitos

Los resultados obtenidos en las correlaciones indican que existe una correlación entre la densidad de quistes, M.O. y humedad. Así como de los juveniles y adultos de *G. rostochiensis* con el pH. Los demás generos de nematodos no mostraron correlación con ninguna de las variables físicas y químicas del suelo.

**Tabla 8. Resultado de la correlación entre los factores físicos y químicos del suelo y la cantidad total de nematodos en las comunidades de estudio.**

Variable dependiente	Variable independiente	Coefficiente de correlación	Sig. (Bilateral)
Quistes	pH	0.359	0.078
	M.O.	0.406*	0.44
	Humedad	0.480*	0.015
	Arena	-0.058	0.783
	Limo	0.350	0.087
	Arcilla	-0.58	0.783

<b>G. rostochiensis</b>	pH	0.540**	0.005
	M.O.	-0.004	0.986
	Humedad	-0.029	0.892
	Arena	0.183	0.380
	Limo	0.043	0.839
	Arcilla	-0.094	0.656
<b>Pratylenchus</b>	pH	-0.77	0.716
	M.O.	-0.121	0.565
	Humedad	0.152	0.469
	Arena	-0.46	0.827
	Limo	0.143	0.495
	Arcilla	-0.073	0.728
<b>Helicotylenchus</b>	pH	-0.095	0.651
	M.O.	0.017	0.938
	Humedad	-0.083	0.693
	Arena	-0.178	0.395
	Limo	0.023	0.913
	Arcilla	-0.105	0.618
<b>Criconema</b>	pH	0.009	0.968
	M.O.	0.276	0.182
	Humedad	0.372	0.67
	Arena	0.046	0.828
	Limo	0.153	0.464
	Arcilla	-0.192	0.357

\*Significativo con una confiabilidad del 95%

## 8. DISCUSIÓN

El presente trabajo constituye uno de los primeros inventarios de fitonematodos asociados al cultivo de papa en la región del ANP Nevado de Toluca, México. Los fitonematodos registrados en el presente estudio ya han sido registrados previamente en cultivos asociados a papa en otros estados de nuestro país.

La presencia de los fitonematodos asociados a cultivos se debe principalmente a que se encuentra el hospedero y factores del suelo que permiten el desarrollo del ciclo de vida del nematodo; razón por la cual se encuentran huevos, larvas y quistes. La presencia del nematodo *G. rostochiensis* se debe principalmente a las condiciones ambientales favorables en las zonas de estudio considerando que es una especie originaria de las montañas de los Andes de América del Sur, tal y como lo mencionan Desgarenes *et al.* (2006).

La presencia de esta especie en la zona de estudio fue reportada por Nava en 1990; sin embargo, es probable su presencia años atrás. La densidad promedio registrada por el autor fue de 704 quistes/kg de suelo en la comunidad de Raíces. En este estudio la densidad poblacional promedio fue de 3,184 en Raíces (cultivos tradicionales) y 1,468 quistes/kg de suelo en Loma Alta (cultivos semi-intensivos). Se aprecia un incremento en el número de quistes a lo largo de los últimos años.

Con respecto a las densidades de acuerdo con Rueda *et al.*, (2006), éstas se encuentran en el nivel que causa daño al hospedero (40 quistes/kg de suelo es el límite de tolerancia). No obstante, en las zonas de estudio las plantas no mostraron síntomas y/o daños de la presencia de *G. rostochiensis*, lo que hace pensar que el daño puede verse enmascarado por el manejo del cultivo en la región, el cual consiste en la aplicación de agroquímicos organofosforados como Furadan y Counter, que de acuerdo con Ravichandra (2018) estos nematicidas tienden a afectar la actividad, desarrollo, orientación e invasión de las raíces de juveniles J2, lo cual podría explicar la baja densidad de larvas encontradas en este estudio y la falta de sintomatología en la planta huésped. Así mismo, los análisis de viabilidad mostraron porcentajes muy bajos de huevos y larvas viables dentro de las hembras de *G. rostochiensis*, lo cual también puede verse afectado por el uso de agroquímicos

organofosforados, ya que de acuerdo con Susan *et al.* (1982) la presencia de 1.0 pg de oxamil (nematicida organofosforado) perturba el comportamiento en la orientación de los machos hacia las hembras afectando la atracción sexual y por ende la fecundación. Aunque en este trabajo no se evaluó la concentración de nematicidas presentes en el suelo.

Otro factor importante que puede estar influyendo en la baja viabilidad de los quistes y de J2 es la práctica de solarización, la cual consiste en exponer el suelo a altas radiaciones solares. En las zonas de estudio de esta investigación el periodo del tratamiento de solarización consta de 6 a 7 meses, que coincide con el período de descanso del suelo. De acuerdo con La Mondia y Brodie (1984), un período de 8 a 10 semanas de tratamiento ha demostrado una reducción del 96-98% de *G. rostochiensis*. El éxito de esta técnica se debe a que el rango de eclosión de esta especie va de 15-25°C y la temperatura óptima del desarrollo del ciclo de vida es de 18°C, por lo que someter el suelo a temperaturas por encima de los 40°C, ayuda a controlar las poblaciones de nematodos al interrumpir su ciclo de vida (Cid del Prado, 2015).

Otro de los manejos en los cultivos de la zona de estudio que ha contribuido al control de las poblaciones de nematodos es la rotación del cultivo con una planta no hospedante (*Avena sativa*), impidiendo la eclosión de los huevos de *G. rostochiensis*, como lo menciona López *et al.* (2013). La alta densidad de quistes encontrada en ambas comunidades se debe principalmente a su acumulación durante todos los años de cultivo (20 a 30 años), encontrándose quistes tanto viejos como jóvenes. Por lo tanto, el conjunto de las técnicas de manejo ha ayudado a la reducción y control del nematodo dorado de la papa.

En cuanto al género *Pratylenchus* también se encontró presente en todos los sitios de muestreo; su presencia se atribuye a que muchas especies han mostrado una gran adaptación tanto a temperaturas frías como cálidas, concluyéndose que el clima no representa una barrera determinante para su dispersión (OIRSA, 2013). En México ha sido reportado en cultivos de papa (Desgarenes *et al.*, 2009), papaya (Martínez, *et al.*, 2015), plátano (Adriano *et al.*, 2008), café (Cepeda *et al.*, 2018), chile (Velásquez *et al.*, 2014) y

cebolla (Belmont *et al.*, 2003). Las densidades fueron bajas respecto a lo reportado por Flores *et al.* (2017), quienes mencionan que el daño económico se encuentra por encima de 200 organismos/100 cm<sup>3</sup>. Se asume que este género no causa daños considerables en los cultivos, al no observarse síntomas y/o daños en la planta huésped.

Entre las técnicas de manejo del cultivo que han contribuido al control de este género se encuentra la aplicación de nematicidas organofosforados, lo cual coincide con lo reportado por Ravichandra (2018) quien observó que los nematicidas afectan el movimiento de los nematodos, limitando su dispersión, por lo que se considera un mecanismo importante para su control.

Otra de las técnicas que ha favorecido el control de las poblaciones de este género es la rotación del cultivo con una planta no hospedante (*Avena sativa*). Sritharan *et al.*, (2007) reportaron que esta técnica de manejo afecta significativamente los niveles poblacionales de *Pratylenchus*, ofreciendo así una alternativa ecológica de control. Así mismo, la competencia intraespecífica por espacio y/o nutrientes con *G. rostochiensis*, puede estar afectando las densidades del género, debido a que ambos tipos de nematodos son endoparásitos que penetran el sistema radical y se alimentan de las células (Torrado y Castaño, 2009; Avena *et al.*, 2016), aunque en este estudio este factor no fue evaluado.

Por otra parte, las especies del género *Helicotylenchus* y *Criconea* son consideradas de baja patogenicidad en el cultivo de papa (Obando y Oliva, 2015) y por los niveles de densidad detectados y sin sintomatología observada en el hospedero, no parecen causar daños considerables en los cultivos estudiados.

El umbral de daño para *Helicotylenchus* se encuentra entre 200 a 300 individuos/100g de suelo (Arévalo, 2012). Esta baja densidad se puede explicar a que en las comunidades de estudio el clima es templado subhúmedo a semifrío y el desarrollo óptimo del género *Helicotylenchus* se encuentra en áreas tropicales y subtropicales. En México ha sido reportado en cultivos de plátano (Lara *et al.*, 2016), maíz (González, 2013), papaya (Martínez *et al.*, 2015) y papa (Desgarenes, *et al.*, 2009). Con respecto a los nematicidas

empleados, al igual que con *G. rostochiensis* y *Pratylenchus*, su aplicación ha favorecido el control de las poblaciones de este género. Lo anterior concuerda con lo reportado por Castillo *et al.* (2010) quienes mencionan que con una sola aplicación de nematicida lograron reducir significativamente las poblaciones de nematodos fitoparásitos a menos de 10, 000 especímenes por cada 100 gr de suelo durante 6 meses.

En cuanto al género *Criconema* éste ha sido reportado en asociación con plantas no cultivadas y cultivadas en todo el mundo. Las especies del género se alimentan de las raíces y poseen un hábito ectoparásito migratorio. Sin embargo, se desconoce su rango de hospedantes y su capacidad patogénica (Crozzoli, 2002). En México únicamente se ha encontrado en relación con el cultivo de plátano (Lara *et al.*, 2015) y durazno (Luna *et al.*, 2011). Este género únicamente fue encontrado en cultivos semi-intensivos, por lo que su presencia se atribuye a la cercanía de los cultivos con zonas forestales, lo cual concuerda con lo reportado por Knobloch (1978) y Taylor (1936) quienes encontraron al género en suelos forestales. Por lo que se recomienda realizar una prueba de patogenicidad para determinar si efectivamente es un parásito del cultivo de papa, debido a que no ha sido reportado previamente en asociación a este cultivo.

De acuerdo con lo anterior, se puede inferir que la aplicación de agroquímicos esta manteniendo bajo control la acción infectiva de los nematodos, permitiendo así el desarrollo normal de las plantas de papa.

Al correlacionar estadísticamente los resultados del número de fitonemátodos con los análisis fisicoquímicos (pH, M.O, humedad, textura) del suelo, se encontró que el número de quistes de *Globodera rostochiensis* esta relacionado con los niveles de pH, lo cual difiere por lo reportado por Núñez (2002) quien no encontró correlación entre las dos variables. No obstante Chávez y Araya (2009), mencionan que los nematodos pueden tolerar rangos amplios de pH y sólo valores extremos, de muy bajo o muy alto, afectaría la población. Así mismo los juveniles y adultos de *G. rostochiensis* mostraron una correlación positiva con el pH.

Finalmente, los quistes de *G. rostochiensis* mostraron relación con la cantidad de humedad, la cual ejerce gran influencia en la vida de los fitonematodos, considerando que se trata de organismos acuáticos (Fe, 2003; Gallardo *et al.*, 2014).

A pesar de que ningún género de fitonematodo presento correlación con la textura se ha demostrado que este factor puede influir de manera significativa en la migración de los nematodos hacia las plantas, debido a que suelos con poros grandes, permiten el libre movimiento de los nematodos, así como del aire y del agua, aumentando los niveles de oxígeno en el suelo (Gallardo *et al.*, 2014). Siendo la textura franco arenosa la más apta para el ciclo de vida de los nematodos fitoparásitos. No obstante, se han reportado nematodos como *Paratrichodorus sp*, *Tylenchorhynchus sp* y *Meloidogyne spp*, *Xiphimena* etc. como plagas comunes en suelos arcillosos, por lo que se sugiere que existe un tamaño de poro ideal para cada especie de fitonematodo (Olabiyi *et al.*, 2009).

Con respecto a la cantidad de M.O. se encontró dentro de los niveles “moderado” en ambas comunidades, no encontrándose relación con el número de nematodos fitoparásitos. Sin embargo, Magunacelaya, 2005; Gallardo *et al.*, 2014), reportan que en suelos con buen contenido de materia orgánica el ciclo de vida de los fitonematodos se ve afectado por el desarrollo de microorganismos antagónicos, como hongos nematófagos y nematodos de vida libre, por lo que pueden verse afectados por la competencia por espacio y alimento.

Finalmente, no se encontraron diferencias significativas entre cultivos tradicionales y semi-intensivos y la densidad de fitonematodos, debido principalmente a las prácticas similares de sanidad en la compra de semilla que realizan los agricultores de ambos tipos de cultivo, así como las actividades culturales en el manejo y el tiempo de cultivo (20-30 años). La única diferencia entre cultivos mencionada por los agricultores durante las entrevistas, fue la dosis de agroquímicos, siendo que en cultivos semi-intensivos en ocasiones se suele aplicar más de lo indicado por el fabricante. No obstante, no parece tener un impacto considerable en la densidad de fitonematodos pero sí puede ocasionar fitotoxicidad en los cultivos y un efecto en la microbiota del suelo (AMVAC, 2019).

## 9. CONCLUSIONES

Se identificó 1 especie y 3 géneros de nematodos fitoparásitos asociados al cultivo de papa en el municipio de Zinacantepec del ANP Nevado de Toluca, Estado de México. Los nematodos fueron: *Globodera rostochiensis*, *Pratylenchus spp.*, *Helicotylenchus spp.* y *Criconea spp.*

El fitonematodo con mayor densidad tanto en cultivos semi-intensivos y tradicionales fue *G. rostochiensis*. Siendo que la densidad poblacional de quistes sobrepasó el límite de tolerancia (40 quistes/kg de suelo).

Los factores físicos y químicos del suelo no parecen afectar de manera significativa las poblaciones de nematodo fitoparásitos, a excepción del % de M.O., pH, y humedad en los que se observó una correlación con *G. rostochiensis*.

De acuerdo con los niveles de densidad detectados de los nematodos fitoparásitos y sin sintomatología observada en el hospedero, se asume que no causan daños considerables en los cultivos de las comunidades de estudio; no obstante, no se especula sobre los daños que estén ocasionando los nematodos hasta que se realicen pruebas de patogenicidad; así mismo, se recomienda ampliar la zona de estudio a las demás comunidades productoras de papa que conforman el municipio de Zinacantepec. Este es el primer estudio de densidad de fitonematodos asociados al cultivo de papa en la región del ANP Nevado de Toluca, México. En este estudio se aportan las bases para continuar con otros estudios para crear e implementar estrategias por ejemplo de control biológico.



## 8. LITERATURA CITADA

Abasolo, V. (2006). Entre el cielo y la tierra; Raíces, un pueblo de la alta montaña en el Estado de México (Tesis de doctorado). Universidad Iberoamericana, México.

Agrios, G.N. (2005). Plant pathology. E.U.A: Elsevier.

Armendáriz, I., Quiña D., Ríos, M. y Landázuri P. (2015). Nematodos fitopatógenos y sus estrategias de control. Ecuador: Comisión Editorial de la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE).

Avena, B., Ceceña, C., González, D., Grimaldo, O. y Durán, D. (2016). Conducta poblacional de fitonematodos en cultivos agrícolas en el Valle de Mexicali, Baja California. *OmniaScience* 47p.

Chávez, S. y Araya, M. (2009). Correlaciones entre las características del suelo y lo nematodos de las raíces del banano (*Musa AAA*) en Ecuador. *Notas Técnicas Agronomía Mesoamérica* 20(2):361-369 pp.

Choque Y. F., Bravo R., Lima I. y Machaca, C. (2017). Prospección de Nematodos en *Solanum tuberosum* L. de la Región Puno. Perú. *Revista de Investigación Altoandina*. 19: 11-20p.

Cid del Prado, I. (2015). Nematodo dorado *Globodera rostochiensis*. Ficha técnica. Organismo Internaconal Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA). 19p.

Claude, J. y Van Gundy, D. (1981). Effect of soil texture and the clay component on migration of *Meloidogyne incognita* second-stage juveniles. *Journal of nematology* 13(2): 213-217.

Comisión Estatal de Parques Naturales y de la Fauna. S.f. Área de protección de flora y fauna Nevado de Toluca. Gobierno del Estado de México. [https://cepanaf.edomex.gob.mx/sites/cepanaf.edomex.gob.mx/files/files/Fichas%20Tecnica%20s/2\\_%20ÁREA%20DE%20PROTECCIÓN%20DE%20FLORA%20Y%20FAUNA%20NEVADO%20DE%20TOLUCA.pdf](https://cepanaf.edomex.gob.mx/sites/cepanaf.edomex.gob.mx/files/files/Fichas%20Tecnica%20s/2_%20ÁREA%20DE%20PROTECCIÓN%20DE%20FLORA%20Y%20FAUNA%20NEVADO%20DE%20TOLUCA.pdf) (Consulta, diciembre, 2018).

Confedereación Nacional de Productores de Papa. (2010) . Comité Nacional Sistema Producto Papa. Recuperado a partir de <http://conpapa.org.mx>. (consulta Mayo de 2018].

Coyne, D., Nicol, J. y Claudius, C., B. (2007). Nematología práctica: Una guía de campo y laboratorio. Cotonú, Benin: SP-IPM Secretariat, International Institute of Tropical Agriculture (IITA).

Cristie, J. (1986). Nematodos de los vegetales: su ecología y control. México: Limusa.

Crozzoli, R. (2002). Especies de nematodos fitoparasitos en Venezuela. Asociación Interciencia 27 (2): 354-364.

Desgarenes, D., Carrión, G., Núñez, A. E., y Núñez M.C. 2006. Distribution of stages and In Vitro larval hatching in *Globodera rostochiensis* cysts. Neotropica 36 (2); 251- 260.

DOF. (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis. Publicada el 31 de diciembre del 2002.

Ebrahimi, N., Viaene, N. y Moens, M. (2015) Optimizing trehalose-based quantification of live eggs in potato cyst nematodes (*Globodera rostochiensis* and *G. pallida*). Plant Disease 99: 947–953.

EPPO. (1994). EPPO Distribution List. 1993-12. EPPO Secretariat, París.

Esquivel, A. (1996). Influencia del suelo sobre las poblaciones de nematodos. X Congreso Nacional Agronómico; II Congreso de suelos: 57-61.

Fenwick, D.M. (1940). Methods for the recovery and counting of cyst of *Heterodera schachtii* from soil. Journal of Helminthology 18:155-172.

Flores, Y., Bravo, R., Lima, I. y Machaca, C. (2017). Prospección de nematodos fitoparasitos en cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L. ) de la Región de Puno. Perú. Revista de Investigación Altoandina 19 (1); 11-20.

Franco, S. y Regil, H. (2008). Nivel de adecuación para el desarrollo de especies agrícolas y forestales en el parque Nacional Nevado de Toluca Economía, Sociedad y Territorio.El colegio Mexiquense, A.C. México 19 (31): 31pp.

Gallardo, J. Á. M., Valdés, T. D., Ruvalcaba, L. P., Molar, R. A., Torres, J. B. V., y Fasio, J. A. C.(2014). Nematodos fitoparasitos y su relación con factores edáficos de papaya en Colima, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 6 (1), 251–257.

García, D., García, C., Montero, Z., Salazar L., Brenes., A. y Gómez, L. (2009). Identificación morfológica y molecular del nematodo formador de quistes *Globodera pallida* en muestras de suelo de Costa Rica. Revista Latinoamericana de la Papa. 15: 38-45.

González, U. (2013). Diversidad de nemátodos fitoparásitos asociados al cultivo de maíz en el municipio de Guasave. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. 108p.

Guzmán, O. A., y Castaño, J. (2010). Identificación de nematodos fitoparásitos en guayabo (*Psidium guajava* L.), en el municipio de Manizales (Caldas), Colombia. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 34(130), 117–126.

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

Haydock, P. y Perry, J. (1998). The principles and practice of sampling for the detection of potato cyst nematodes. In Potato cyst nematodes, biology, distribution and control, R. J. Marks y B. B. Brodie. CAB International, Wallingford, Oxfordshire 61-74.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).(2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Zinacantepec.[http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos\\_geograficos/15/15118.pdf](http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/15/15118.pdf) (Consulta, julio 2018).

Jatala, P. (1986). Biological control of plant-parasitic nematodes. Ann. Rev. Phytopathology. 24(4): 453-89.

Knobloch, N. 1978. Ontogeny and identification of Life-Cycle stages of *Criconea octangulare* (Cobb, 1974; Taylor, 1936). Journal of Nematology. 10(3): 245-249.

LaMondi, A. (2006). Management of lesion nematodes and potato early dying with rotation crops. The Journal of Nematology 38 (4):442-448.

Lara, S., Núñez, A., López, D. y Carrión G. (2015). Nematodos fitoparásitos asociados a raíces de plátano (*Musa acuminata* AA) en el centro de Veracruz, México. Revista Mexicana de fitopatología 34: 116-130.

Lezaun, J. (2016). Nematodos fitoparásitos: una plaga mundial. Octubre, 15, 2018, de CropLife Latin America Sitio web: <https://www.croplifela.org/es/plagas/listado-de-plagas/nematodos-fitoparasitos?highlight=WyJuZW1hdG9kb3MiXQ>.

López, D. Sánchez, P., Carrión, G. y Núñez, A. (2013). 89% reduction of a potato cyst nematode population using biological control and rotation. *Agron. Sustain. Dev.* 22: 425-431. <http://dx.doi.org/10.1007/s13593-012-0116-7>.

Luna, G., Montes, R., Talavera, M., Flores, H. y L. Bravo. (2011). Preliminary study of biotic and abiotic factors associated with peach tree death in Morelos, México. *Nematropica* 41:254-262.

Magunacelaya, J.C. (2005). Control de nemátodos fitoparásitos mediante uso de materia orgánica. Santiago, Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, 2005. [http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio /lb/ciencias\\_agronomicas/montealegre\\_j/18.html](http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias_agronomicas/montealegre_j/18.html) (Consultado Diciembre, 2018).

Manzanilla, R. H., M. A. Costilla, M. Doucet, J. Franco, R. N. Inserra, P. S. Lehman, I. Cid del Prado, R. M. Souza, and K. Evans. (2002). The genus *Nacobbus* Thorne y Allen, 1944 (Nematoda: *Pratylenchidae*): Systematics, distribution, biology and management. *Nematropica* 32:149-227.

Martínez, A., Gutiérrez M., Martínez, R., Villalobos, R. y Arteaga, T. (2015). Degradación de suelos volcánicos y su relación con los elementos potencialmente tóxicos contenidos en agroquímicos y las estrategias agrícolas en el Nevado de Toluca, México. *Revista Internacional de Contaminación.* 31: 113-25.

Martínez, G., Gutiérrez, M., Martínez, A., Villalobos, R. y Arteaga, T. (2015). Concentración total y geodisponible de elementos potencialmente tóxicos en suelos volcánicos con uso agrícola del Nevado de Toluca, México. *México. Rev. Int. Contam. Ambie.* 31 (2) 113-125.

Martínez, J., Díaz, T., Partida, L., Allende, R., Valdez, J. y Carrillo, J. (2015). Nematodos fitoparásitos y su relación con factores edáficos de papaya en Colima, México. *México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.* 6(1). 7p.

Meza, P. (2017). Nematología-nematodos en frutales, hortalizas y cultivos: nemátodo lesionador. Instituto de investigaciones agropecuarias (INIA). Ficha técnica 10. Norton, C. (1979). *Annual review of Phytopathology* 17:279-299.

Morales, J., Hernández, J., Rebollar, S. y Guzmán, E. (2011). Costos de producción y competitividad del cultivo de la papa en el Estado de México. *Agronomía Mesoamericana* 22(2):339-349

Muñoz M. (2014). Composición y aportes nutricionales de la papa. *Revista Agrícola.* 36p.

Nematofauna asociado a ala rizosfera de papas (*Solanum tuberosum*) cultivadas en la zona productora del Cofre de Perote, Veracruz, México. México. Revista Mexicana de Biodiversidad 80: 611-614.

Núñez, A. E., Carrión, G., Núñez, Ma. del C. y Rebodello, O. (2003). Densidad de Población de Quistes de *Globodera rostochiensis* Woll. En el Cofre de Perote, Veracruz, México. México. Revista mexicana de Fitopatología. 21 (2); 207-213.

Olabiya, T., Olayiwola, A. y Oyediram, G. (2009). Influence of soil textures on distribution of phytonematodes in the South Western Nigeria. World Journal of Agricultural Sciences 5(5): 557-560.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación. (2008). Año internacional de la papa. Octubre, 15, 2018 de FAO Sitio web: <http://www.fao.org/potato-2008/es/lapapa/utilizacion.html>.

Ortuño, N., Rojas, B., Oros, R. y Díaz, O. (2013). *Meloidogyne sp.* atacando el cultivo de papa en zonas altas y frías de Bolivia. Bolivia. Revista latinoamericana de la papa. 17: 32p.

Ovando, V., Maceido, J., Guevara, E., y Oliva, S. (2017). Nematodos fitoparásitos asociados al cultivo de piña (*Ananas comosus*) en Amazonas, Perú. Scientia Agropecuaria 8(1): 79-84.

Ramírez, A. (2014). Nematodos de importación cuarentenaria en papa para México; Protocolos de diagnóstico. México. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). 81p.

Ramírez, A. (2014). Nematodos de importancia cuarentenaria en papa: protocolos de diagnóstico. Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria (CNRF). P 72.

Ratna S., John W., Anand K. y Om P. (2007) Crop Rotation with Forage Pearl Millet for Control of Root-Lesion Nematodes in On-Farm Trials with Potato, Journal of New Seeds, 8:3, 51-61, DOI: [10.1300/J153v08n03\\_04](https://doi.org/10.1300/J153v08n03_04)

Ravichandra N. G. (2018). Agrochemicals in Plant Disease Management. Scientific Publishers. 557p.

Rodríguez, A. (2015). Recursos forestales no maderables, aprovechamiento de los hongos silvestres en la localidad de Raíces, Zinacantepec, Estado de México (Tesis de licenciatura). Universidad Autónoma del Estado de México, México.

Román M. y Hurtado G. (2002). Guía técnica: Cultivo de papa. El Salvador. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal.

Rueda, E., Tarazón, M. García, J., Murillo, B. Holguín, R., Flores, A., Preciado, P., Barrón, J. y García, J. (2006). Presencia del Nematodo Dorado *Globodera rostochiensis* (Wollenweber) Skarbilovich, en Lotes de Papa (*Solanum tuberosum* L.) del Estado de Coahuila, México. Revista Mexicana de Fitopatología, 24, 20-26 pp.

s'Jacob, J.J. y J. van Bezooijen. (1984). A Manual for Practical Work in Nematology. Department of Nematology, Wageningen University, The Netherlands. 77 p.

Seinhorst JW. (1962). On the killing, fixation and transferring to glycerin of nematodes. Nematologica.

SENASICA (2013). Nematodo dorado de la pap (*Globodera rostochiensis*). Dirección General de Sanidad Vegetal- Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria. México, D.F. Ficha Técnica No. 19. 24p.

SENASICA (2016). Análisis de riesgo de plagas para la importación de papa fresca (*Solanum tuberosum* L.), con fines de uso previsto, consumo humano y proceso industrial, de los Estados Unidos de América a México. Dirección General de Sanidad Vegetal- Sistema Nacional de Vigilancia Fitosanitaria. Ver. 3.0. 26p.

Siddiqi MR. (2000). Tylenchida: Parasites of Plants and Insects. CAB International. United Kingdom 848p.

Sistema de Información de Agroalimentaria y Pesquera. (2013). El cultivo de la papa, *Solanum tuberosum* alimento de gran valor nutritivo, clave en la seguridad alimentaria mundial. Insumos y factores asociados a la producción agropecuaria. Boletín mensual, Insumos y Factores asociados a la producción agropecuaria 15: 92p.

Sorribas, F.J. y Verdejo L. S. (2011). Dinámica de poblaciones, epidemiología y umbrales de daño en: Enfermedades causadas por nematodos fitoparásitos en España. España. Sociedad Española de Fitopatología-Phytoma. pp 97-114.

Sotero, A., Gheno, Y., Martínez, R. y Arteaga, T. (2016). Medicinal plants used for respiratory illnesses in Loma Alta, Nevado de Toluca, Mexico. México. Acta bótanic mexicana 114: 51-68.

Spooner, D. M., Mclean, K.; Ramsay, G., Waugh, R., y Bryan, G. J. (2005). A single domestication for potato based on multilocus amplified fragment length polymorphism

genotyping. National Academy of Sciences of the United States of America 126:14694-14696.

Stone, A.R. (1973). *Heterodera rostochiensis*. C: I:H: Descriptions of Plant Parasitic Nematodes. 2(16). Commonwealth Agricultural Bureaux. CAB International UK.

Talavera, M., Andreu, M., Valor, H. y Tobar, A. (1998). Nematodos fitoparásitos en áreas productoras de patata de Motril y Salobreña. España. Invest. Agr. 13: 87-95.

Talavera, R. M. (2003). Manual De Nematología Agrícola. Introducción al análisis y al control nematológico para agricultores y técnicos de agrupaciones de defensa vegetal. Brasil: Instituto de formación agraria y pesquera.

Torrado, J., y Castaño, J. (2009). Incidencia de nematodos en plátano en distintos estados fenológicos. Agron. Colomb. 27(2): 237 – 244 pp.

Vázquez C., M.G., Rubio C., O.A., Salinas M., y Santiago R., D. (2012). Usos alternativos de la papa en el Estado de México. INIFAP. CIRSE. CEVAMEX. México. Libro Técnico No. 15. 114 p.

Walkley, A.J. and Black, I.A. (1934) Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method. Soil Sci. 37, 29-38.

Yan, G.P, Plaisance, D. y Gudmestad, N.C. (2016). First report of the root-lesion nematode *Pratylenchus scribneri* infecting potato in North Dakota. Disease notes 100 (5): 1023.

Zapata, J., Villegas, B., Guzman, O. (2011). Principales nematodos fitoparásitos y síntomas ocasionados en cultivos de importancia económica. Agronomía. 20. 38-50.