

**ALTERACIONES HISTOLÓGICAS
CAUSADAS POR EL NEMATODO
AGALLADOR *Meloidogyne incognita*
EN RAÍCES DE BETABEL
(*Beta vulgaris* L.).**

**HISTOLOGICAL CHANGES FOR
ROOT-KNOT NEMATODE
Meloidogyne incognita IN BEETROOT
ROOTS (*Beta vulgaris* L.)**

Medina-Molina, C.O.; M.G. Medina-Canales, R. Torres-Coronel, A. Carvajal-Sandoval, y A. Tovar-Soto

ALTERACIONES HISTOLÓGICAS CAUSADAS POR EL NEMATODO AGALLADOR *Meloidogyne incognita* EN RAÍCES DE BETABEL (*Beta vulgaris* L.).

HISTOLOGICAL CHANGES FOR ROOT-KNOT NEMATODE *Meloidogyne incognita* IN BEETROOT ROOTS (*Beta vulgaris* L.).

**ALTERACIONES HISTOLÓGICAS CAUSADAS POR EL NEMATODO AGALLADOR
Meloidogyne incognita EN RAÍCES DE BETABEL (*Beta vulgaris* L.).**

**HISTOLOGICAL CHANGES FOR ROOT-KNOT NEMATODE
Meloidogyne incognita IN BEETROOT ROOTS (*Beta vulgaris* L.).**

C.O. Medina-Molina

M.G. Medina-Canales/magameca@yahoo.com.mx

R. Torres-Coronel

*Departamento de Parasitología, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas
Instituto Politécnico Nacional. CDMX, México.*

A. Carvajal-Sandoval

*Departamentos de Botánica, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas
Instituto Politécnico Nacional. CDMX, México.*

A. Tovar-Soto

*Departamento de Parasitología, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas
Instituto Politécnico Nacional. CDMX, México.*

Medina-Molina, C.O.;
M.G. Medina-Canales,
R. Torres-Coronel,
A. Carvajal-Sandoval,
y A. Tovar-Soto

ALTERACIONES
HISTOLÓGICAS CAUSADAS
POR EL NEMATODO
AGALLADOR *Meloidogyne
incognita* EN RAÍCES DE
BETABEL (*Beta vulgaris* L.).

HISTOLOGICAL CHANGES
FOR ROOT-KNOT
NEMATODE *Meloidogyne
incognita* IN BEETROOT
ROOTS (*Beta vulgaris* L.).

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 46: 155-164. Julio 2018

DOI:

10.18387/polibotanica.46.11

RESUMEN: En 2011 se efectuó una exploración nematológica a la zona agrícola del Valle de Tepeaca, municipio de Acatzingo en el estado de Puebla, México. En una parcela cultivada con betabel ubicada en la localidad de Santa María Actipa, municipio de Acatzingo se encontraron, en las raíces del cultivo, agallas prominentes. Se tomó una muestra (suelo + plantas) en dicha parcela, detectándose, en el laboratorio hembras de *Meloidogyne* en las raíces, se procedió a la identificación de la especie utilizando la prueba de fenotipos isoenzimáticos de esterasa (EST) y malato deshidrogenasa (MDH) y se estudiaron los patrones perineales de las hembras. Adicionalmente se evaluaron las alteraciones histológicas causadas por el nematodo en el interior de las raíces. Los fenotipos isoenzimático para EST y MDH fueron I1 y N2a, respectivamente, correspondientes a la especie *Meloidogyne incognita* y los patrones perineales de las hembras mostraron arco dorsal alto y cuadrado, sin líneas laterales claramente visibles, característicos de la misma especie. Por su parte, el estudio histológico mostró hiperplasia. **Palabras clave:** *Beta vulgaris*, células gigantes, histología, *Meloidogyne incognita*, nematodo agallador.

ABSTRACT: In 2011, a nematological exploration was carried out in the agricultural area of the Tepeaca Valley, Municipality of Acatzingo, in the state of Puebla, where a plot planted with beet was found in the town of Santa María Actipa, municipality of Acatzingo, Puebla, Mexico, where a high percentage of the roots presented prominent galls. A sample (soil + plants) was taken, in the laboratory females of *Meloidogyne* was detected, the identification of the nematode was carried out by the isozyme phenotype test using the enzymes esterase (EST) and malate dehydrogenase (MDH) and confirmed by morphological characters of the female perineal models. Additionally, the histological alterations were evaluated. The results showed that the isoenzymatic phenotype for EST corresponded to type I1; while for the MDH it was the N2a phenotype both associated with the specie *Meloidogyne incognita*. Likewise, perineal females models showed a high and square dorsal arch, with no clearly visible lateral lines those are characteristics of this species. On the other hand, the histological study showed hyperplasia and cellular hypertrophy that caused the formation of five to seven multinucleated giant cells, with thickened cell walls and dense and granular cytoplasm. Four to six piriform females per

gall, embedded in the parenchymal tissue, were also observed near the vascular cylinder. The presence of these females provoked the displacement of the xylem vessels and the lignification of neighboring cells.

Key words: *Beta vulgaris*, Giant cells, histology, *Meloidogyne incognita*, root-knot nematode.

INTRODUCCIÓN Y MÉTODOS

En el estado de Puebla, México, el cultivo de hortalizas tiene gran impacto socioeconómico, ya que anualmente se dedican más de 802, 000 ha a esta actividad con un valor de producción de 10, 204, 455.35 millones de pesos (SIAP, 2015). Las de mayor importancia son: brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica* L.), lechuga (*Lactuca sativa* L.), col (*Brassica oleracea* L.), zanahoria (*Daucus carota* L.) y betabel (*Beta vulgaris* L.); todas, demandan gran cantidad de mano de obra (7-10 jornales por hectárea), durante las etapas de cultivo, acopio, empaque y comercialización, generando un número elevado de empleos (SIAP, 2015). En el 2015 en Puebla se sembró una superficie aproximada de 500 ha con betabel, obteniéndose una producción cercana a las 10,000 toneladas (SIAP, 2016). Algunas zonas de cultivo se encuentran seriamente afectadas por el nematodo agallador *Meloidogyne* sp., este patógeno produce un gran número de agallas en las raíces del betabel (Medina-Molina, 2013). La presencia de estos nematodos provoca alteraciones graves ya que obstruyen el trasporte de agua y nutrientes al resto de la planta, lo que ocasiona que el betabel presente síntomas como: poco desarrollo de la parte aérea, marchitez parcial, deformación de la raíz y en algunos casos la muerte de las plantas mismos que provocan pérdidas de consideración a los rendimientos (Medina-Molina, 2013).

Estas alteraciones traen como consecuencia que la cosecha se devalúe, lo que genera pérdidas económicas para los agricultores de la zona (Medina-Canales, Carvajal-Sandoval, Alejandre-Aguilar, & Tovar-Soto, 2011; Medina-Canales, Ramirez-San Juan, Torres-Coronel, & Tovar-Soto, 2012). Se desconoce la especie de *Meloidogyne* asociada a betabel en la zona hortícola del Valle de Tepeaca, Puebla; así mismo, se desconocen las alteraciones histológicas que el nematodo agallador *Meloidogyne* sp. induce en las raíces de betabel. El objetivo del presente estudio fue identificar la especie de *Meloidogyne* asociada a betabel en un campo hortícola del, municipio de Acatzingo, localidad de Santa María Actipa, Puebla; así como, describir las alteraciones histológicas inducidas por este nematodo en las raíces de esta hortaliza.

En el 2011 se llevó a cabo una exploración nematológica en un predio (una hectárea) sembrado con betabel var. conditiva en la zona agrícola del Valle de Tepeaca, en el estado de Puebla, México, localidad de Santa María Actipa (18° 97' 429" N; 97° 79' 848" O). Se encontró que un 70% de las raíces de las plantas presentaban agallas muy similares a las inducidas por el nematodo agallador *Meloidogyne* spp. En dicho predio se efectuó un muestreo en zig-zag, cada 20 pasos se tomó una submuestra de suelo (200-250 g) y una planta con y sin agallas por submuestra. Se tomaron 10 submuestras (10 plantas con agallas y 10 plantas sin agallas) y se colocaron en una bolsa de polietileno de 40 × 40 cm, esto conformó la muestra representativa (2.0-2.5 kg de suelo) (De la Jara-Alcocer, Zeron-Bravo, Torres-Coronel, & Tovar-Soto, 1994).

a) Identificación del nematodo agallador *Meloidogyne* sp. asociado a betabel:

En el laboratorio se separaron las raíces de cinco plantas con agallas, se lavaron con agua corriente para eliminar el suelo adherido. De las raíces de estas plantas con ayuda de agujas de disección y un estereomicroscopio se obtuvieron 30 hembras maduras, las que sirvieron para llevar a cabo la identificación del nematodo, por las pruebas de fenotipos isoenzimáticos de esterasa (EST) y malato deshidrogenasa (MDH) y por el estudio de los caracteres morfológicos del patrón perineal en hembras (Esbenshade & Triantaphyllou, 1985).

a1) Fenotipos isoenzimáticos:

A las 30 hembras obtenidas, se les retiró la cutícula, para lo cual una hembra se colocó sobre un portaobjetos nuevo y estéril junto con 10 µL del buffer de extracción de proteínas (20 g de sacarosa, 2 mL de tritón X-100, 100 mL agua bidestilada) (Janete A. Brito et al., 2008). El portaobjetos se colocó bajo un microscopio estereoscópico (Motic) y con ayuda de una jeringa de insulina nueva se hizo una

incisión en la mitad del cuerpo de la hembra, liberando así su contenido, el cual se macero con la jeringa de insulina, se transfirió a un tubo Eppendorf de 0.2 mL estéril, se le adicionó 10 μ L más de buffer de extracción y se mantuvo a -20°C (Alquicira Jiménez, 2013).

Posteriormente se realizó una electroforesis en gel de poliacrilamida, el gel separador tuvo un %T de 12.5 y el gel concentrador de 18.8. En cada uno de los pozos del gel concentrador se colocó el extracto crudo de proteínas obtenido previamente, más 5 μ L de azul de bromofenol al 0.02%. El gel se corrió durante 30 minutos a 80 volts y después 60 minutos a 250 volts. El gel se lavó con agua bidestilada y se hizo la tinción a 37°C durante 1 hora con una solución para teñir esterasa (100 mL regulador fosfatos, 30 mg EDTA, 60 mg fastblue RR, 40 mg a-naftilacetato/2mL acetona), o para teñir malato deshidrogenasa (10 mL solución A [10.6g Na_2CO_3 + 13.4g malato], 15 mL solución B [6.06 g TRIS, pH = 7.1], 50 mg NAD, 30 mg NBT, 50 mL agua, 2 mg PMS) (Alquicira Jiménez, 2013).

A partir del número de bandas y la movilidad electroforética calculada para cada muestra se determinó el fenotipo correspondiente y se identificó a la especie de *Meloidogyne* (Medina Canales, Alquicira Jiménez, Torres Coronel, & Tovar Soto, 2014).

a2) Patrones perineales de hembras de *Meloidogyne* sp.:

Con la cutícula de las hembras obtenida en el punto anterior se procedió a cortar la región perineal, después se hicieron cortes de ajuste correspondientes y se montaron en laminillas de vidrio en parafina-glicerina, para llevar a cabo el análisis al microscopio óptico (Eisenback, Hirshmann, & Sasser, 1983).

Estudio histológico:

En el laboratorio, se seleccionaron cinco plantas con raíces agalladas (problemas) (fig. 1A) y cinco sin agallas (testigos) (fig. 1B); después las cinco raíces agalladas y no agalladas se fijaron con FAA (formol, ácido acético, agua) durante 48 h, luego se lavaron con agua corriente para eliminar el exceso de fijador y deshidrataron con etanol a diferentes concentraciones (70%, 80%, 90%, 96% y 100%), posteriormente dos agallas de cada planta (10 agallas en total) se incluyeron en parafina (punto de fusión 54°C , 60°C). Después con un micrótopo de rotación (Reichester®) se hicieron cortes de 9-12 μm de espesor, cinco agallas se cortaron en el plano longitudinal y cinco agallas en el plano transversal, se tiñeron con fucsina-verde rápido, para evidenciar las alteraciones histológicas y cuantificar el número de hembras por agalla, número de células gigantes por sitio de alimentación y número de núcleos por célula gigante con ayuda de un microscopio óptico Olympus modelo CX31 (Carvajal-Sandoval, 1996).

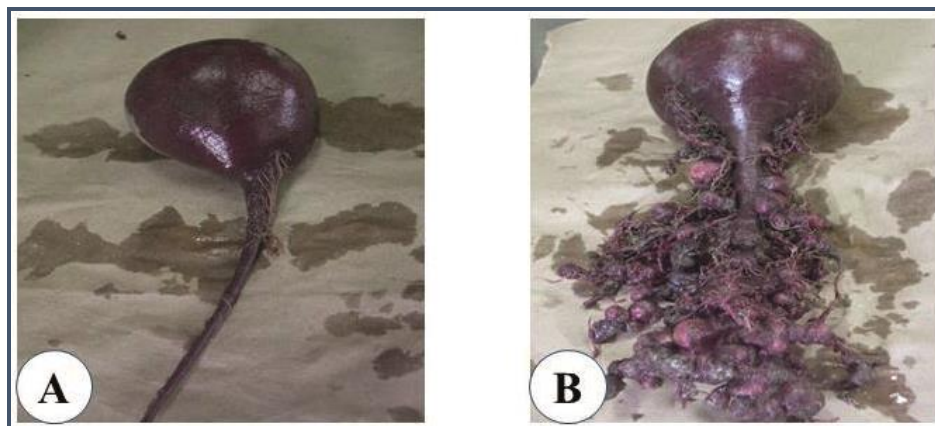


Fig. 1. Raíces de betabel (*Beta vulgaris* L.) recolectadas en un predio de la zona hortícola del municipio de Acatzingo, Puebla. A) Raíz de betabel sin agallas. B) Raíz de betabel mostrando agallas prominentes causadas por el nematodo agallador *Meloidogyne* sp.

RESULTADOS

a) Identificación del *Meloidogyne* sp.

a1) **Fenotipos isoenzimáticos:** Los corrimientos de patrones isoenzimáticos para la enzima EST mostraron en todos los casos el patrón I1 con una banda en el gel, los corrimientos para la enzima MDH mostraron el patrón electroforético N2a con dos bandas en el gel (fig. 2A), correspondiendo a la especie *Meloidogyne incognita*.

a2) **Patrones perineales:** los patrones perineales de hembras mostraron arco dorsal alto y cuadrado, sin líneas laterales claramente visibles (tabla 1) (fig. 2B); correspondiendo a la especie *Meloidogyne incognita*.

b) Estudio histológico

b1) Anatomía del tejido sano: En los cortes efectuados en el plano transversal y longitudinal de las raíces se observó una primera capa monoestratificada de células, lo que constituye la rizodermis, la cual no presenta cutícula; posteriormente se observó una capa de aproximadamente siete filas de células parenquimatosas que constituyen la corteza, seguida de una capa de células que delimitan al periciclo llamada endodermis y finalmente se observaron células acomodadas en forma de anillo conformando al periciclo, hacia la parte central de este se observaron los vasos del xilema y floema en el centro de la raíz (figs. 3A y 4A).

b2) Cortes transversales y longitudinales de raíz de betabel infectado por *Meloidogyne* sp.: En las raíces de betabel con agallas se apreció la presencia de cuatro a seis hembras por agalla. La presencia de estas hembras provocó el desplazamiento de los vasos xilemáticos (figs. 3B-E, 4B-E) y la lignificación de células aledañas a las mismas (figs. 3B, D y 4B, D). Además, hubo proliferación de células parenquimatosas, así como hiperplasia de células cercanas a la parte anterior de las hembras (fig. 3C). Cada hembra indujo un sitio de alimentación conformado por cinco a siete células gigantes con paredes engrosadas, citoplasma denso y granuloso y con 14-17 núcleos hipertrofiados (figs. 3B-E, 4B-E).

En algunos casos solo se observaron espacios vacíos los cuales correspondieron a células gigantes (figs. 3B, 3E y 4B). Las células gigantes ocasionaron la interrupción de los vasos xilemáticos (figs. 3B-D, 4B-E).

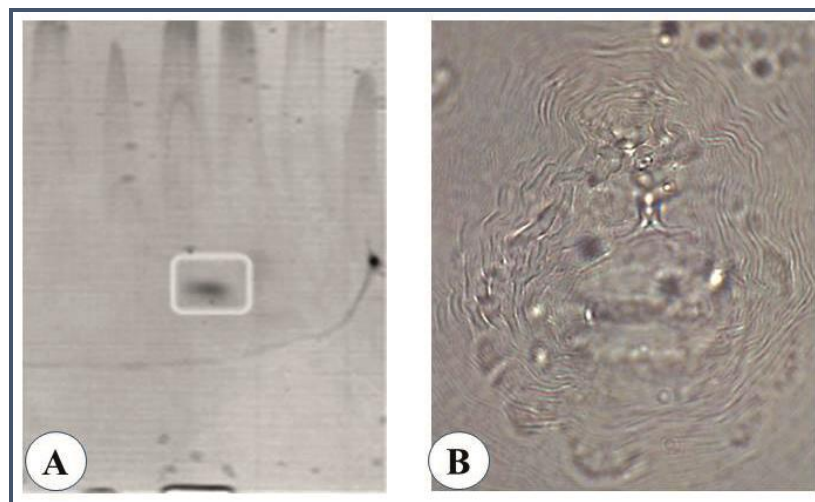


Fig. 2. Fenotipos isoenzimáticos de esterasa (EST) y patrón perineal de *Meloidogyne incognita*, asociada a betabel.
A) Patrón isoenzimático con una banda para la enzima esterasa (EST) asociado a la especie *Meloidogyne incognita*.
B) Patrón perineal de hembras adultas de *M. incognita* asociada a las raíces de betabel en la zona de estudio.

Tabla 1. Resumen de los caracteres importantes de diagnóstico de patrones perineales de las cuatro especies más comunes de *Meloidogyne* (Eisenback, Hirshmann, & Sasser, 1983; Hunt & Handoo, 2012).

	Arco dorsal	Campos laterales	Estrías	Cola terminal
<i>M. incognita</i>	alto, cuadrado	crestas laterales ausentes, marcados por rupturas y horquillas en las estrías	gruesas, lisas, onduladas y algunas en zig-zag	a menudo con formas espirales

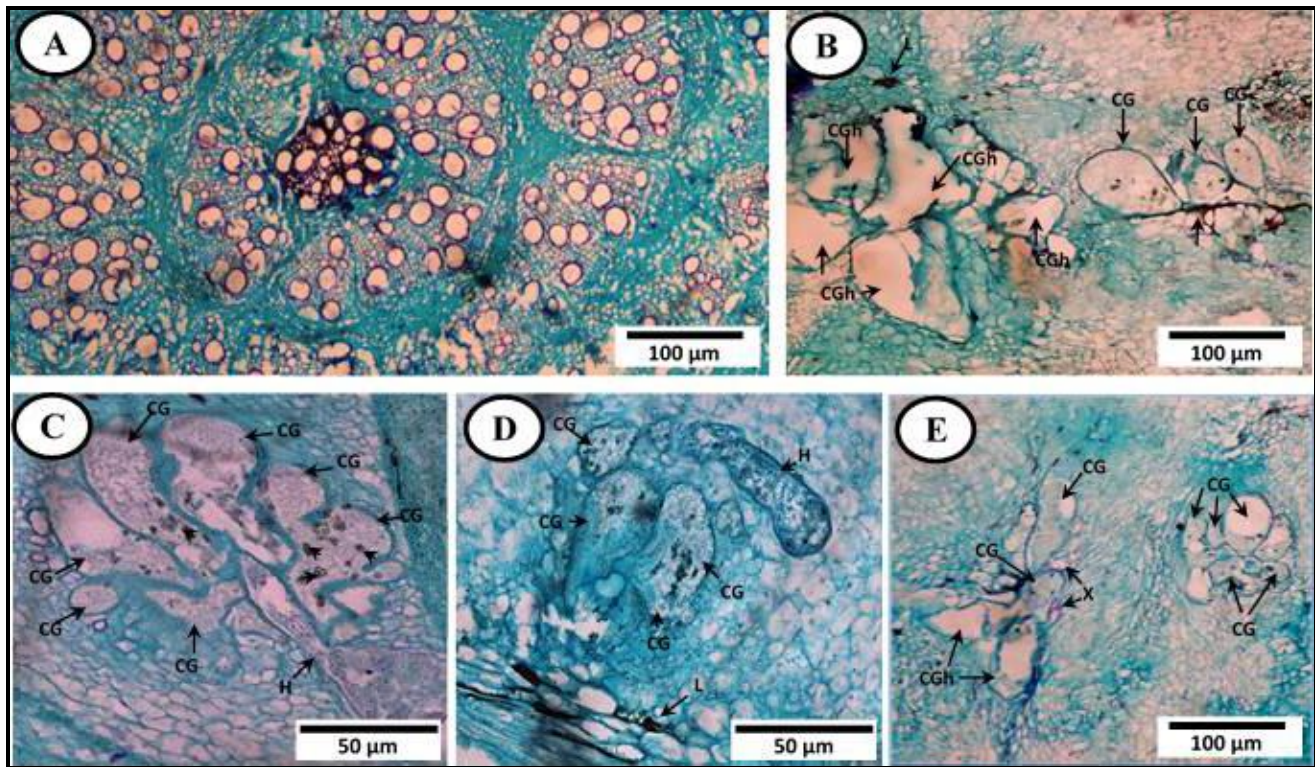


Fig. 3. Cortes histológicas en el plano transversal de raíz de *Beta vulgaris*. A) Testigo. B-E) Cortes transversales de raíz infectada con *M. incognita*, B y E) Dos sitios de alimentación cada uno con sus respectivas células gigantes. Hembras cercanas al cilindro vascular e induciendo la formación de células gigantes con citoplasma denso y paredes engrosadas. C) Parte anterior de la hembra con células gigantes interrumpiendo los vasos xilemáticos. D-E) Células gigantes multinucleadas. CG = Células gigantes, CGh = Huevo de las células gigantes, F = Floema, H = Hembra, L = Lignificación, MH = Masa de huevos, P = Parénquima, R = Rizodermis, Xi = Xilema. Las flechas solas señalan los núcleos.

DISCUSIÓN

Identificación de *Meloidogyne* sp.

Los patrones isoenzimáticos obtenidos para las enzimas EST y MDH correspondieron a los patrones II y N2a asociados a la especie *Meloidogyne incognita* en todos los casos; esta prueba es de gran sensibilidad y está indicada como una de las pruebas de elección para la identificación de las especies del género *Meloidogyne* (Brito et al., 2010).

Por su parte los modelos perineales de hembras también confirmaron la presencia de la especie *Meloidogyne incognita* en el cultivo de betabel en la zona hortícola del estado de Puebla. Los caracteres más frecuentes utilizados para la identificación de las especies de *Meloidogyne* es la morfología de los patrones perineales, los cuales están localizados en la región posterior del cuerpo de

las hembras adultas (Hunt & Handoo, 2012). Este es el primer registro en el país para esta especie en el cultivo de betabel en la zona hortícola del municipio de Acatzingo en el estado de Puebla.

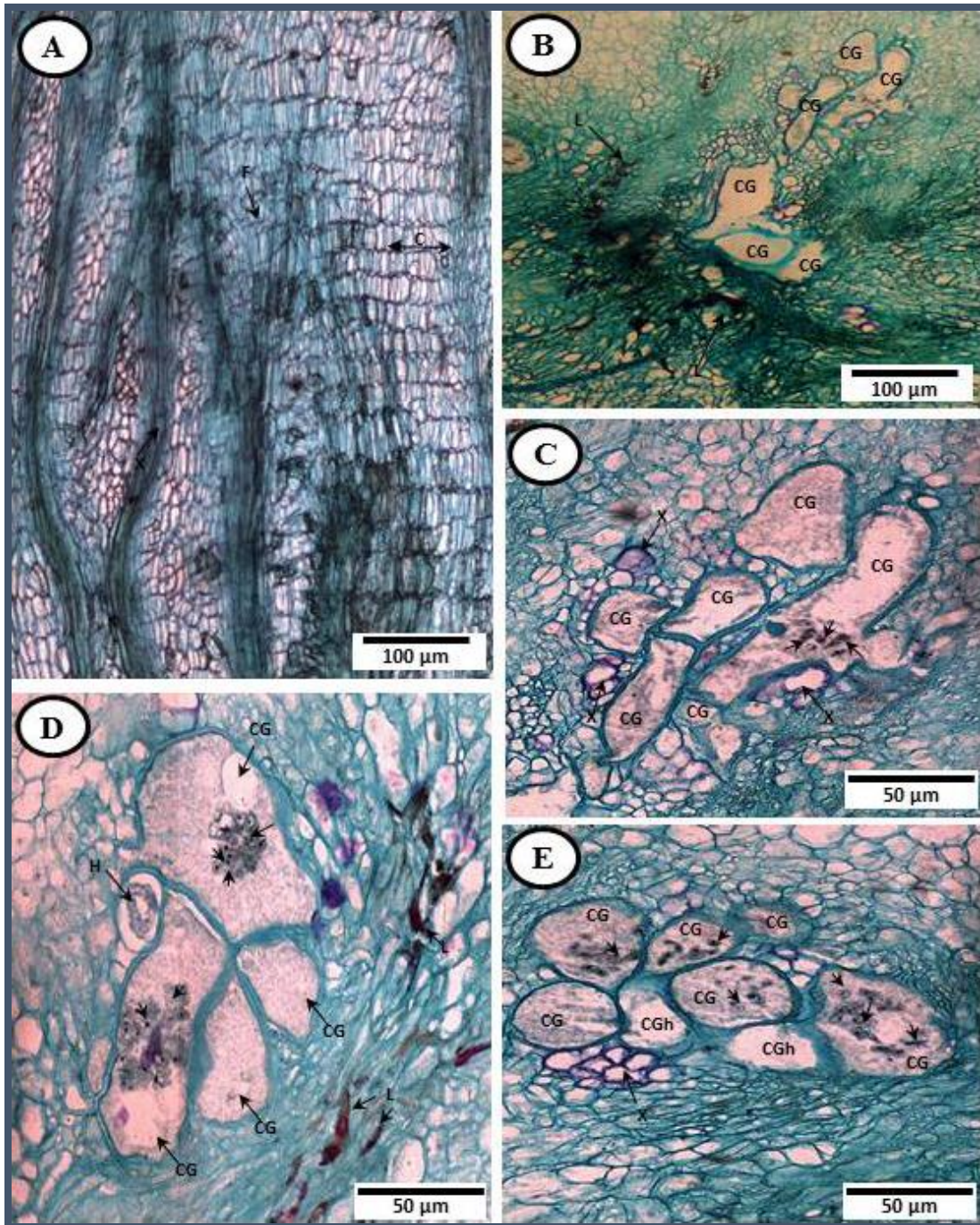


Fig. 4. Cortes histológicos en plano longitudinal de raíz de *Beta vulgaris*. A) Testigo B-E) Cortes longitudinales de raíz infectada con *M. incognita*. B) Células gigantes desorganizando el tejido vascular. C) Seis células gigantes interrumpiendo el cilindro vascular y desorganizando el tejido. D y E) Células gigantes con paredes engrosadas, citoplasma denso, granuloso y multinucleadas. BM = Bulbo medio, CV = Cilindro vascular, CG = Células gigante, F = Floema, H = Hembra, L = Lignificación, Nu = Núcleo, P = Parénquima.

Estudio histológico

El estudio histológico de las raíces de betabel mostró un contraste muy marcado entre las raíces de plantas con y sin agallas, mientras que en las primeras se observaron varias alteraciones provocadas por la presencia del nematodo, en las raíces sin agallas se pudo apreciar la anatomía normal de los tejidos. Algunas de las alteraciones histológicas encontradas en este estudio, como la presencia de células gigantes multinucleadas, número de hembras por agalla, número de núcleos por célula gigante, engrosamiento de las paredes celulares, la presencia de citoplasma denso y granuloso, hiperplasia e hipertrofia y la lignificación de tejido han sido señaladas en estudios similares realizados en otros cultivos o bien con otras especies de *Meloidogyne* (Kumar, Bellafiore, Cabasan, & De Waele, 2014; Lomelí-Rosario, Carvajal-Sandoval, Torres-Coronel, Hernández-López, & Tovar-Soto, 2009; Medina-Canales et al., 2011).

En cuanto al número de hembras por agalla, en el estudio se encontraron cuatro a seis hembras por agalla en la raíz de betabel, otros investigadores han encontrado un número diferente de hembras por agalla en otros cultivos por ejemplo: Medina-Canales et al., 2011 reportaron en zanahoria (*Daucus carota* L.) infectada con *M. arenaria* 1-3 hembra. Castillo, Vovlas, Subbotin, & Troccoli, 2003 encontraron más de una hembra de *M. baetica* en raíces de olivo (*Olea europaea* L.), al igual que Castillo, Di Vito, Vovlas, & Jiménez-Díaz, 2001 quienes estudiaron la reacción por *M. arenaria* en las raíces de mora blanca (*Morus alba* L.). Cabe señalar que la presencia de estas hembras provocó el reacomodo de los vasos del xilema y la lignificación de células aledañas a las mismas; condición confirmada en otros estudios histológicos (Castillo et al., 2001; Medina-Canales et al., 2011; Tordable, Lax, & Doucet, 2008). De acuerdo con Ride & Barber, 1987, la lignificación del tejido se debe a que la pared celular de los vegetales constituye una barrera física contra el ataque de patógenos, ya que ante la agresión de estos aumenta la formación de lignina y suberina para restringir su penetración.

El estudio mostró además la formación de cinco a siete células gigantes por hembra; así mismo, Jatala & Jensen, 1976 estudiaron la reacción de betabel ante el ataque de *M. hapla* en donde, los resultados son similares, en ambos casos el sitio de alimentación se ubicó en la proximidad del cilindro vascular, aunque *M. hapla* solo indujo la formación de cuatro a siete células gigantes. Lomelí Rosario et al., 2009 encontraron que *M. incognita* indujo la formación de 1-6 células gigantes en arrayán (*Buxus sempervirens* L.). A su vez Cabrera, Dottori, Lax, Cuello, & Doucet, 2013 reportan la presencia de 5-11 células gigantes en la ornamental gloria de la mañana (*Ipomea purpurea* L.). Vovlas, Rapoport, Jiménez Díaz, & Castillo, 2005 determinaron que *M. hapla*, *M. incognita* y *M. javanica* son capaces de inducir la formación de sitios de alimentación con cuatro a siete células gigantes en raíces de garbanzo, este número es similar a lo encontrado por sitio de alimentación en este estudio. Además, la presencia de estas células provocó un desplazamiento del tejido vascular; sin embargo, no lo obstruyó como ha sido reportado por otros investigadores en papa (*Solanum tuberosum* L.) (Finley, 1981), tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) (Sosa-Moss, Barker, & Daykin, 1983), haba (*Vicia faba* L.) y jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) (Starr, 1993), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) (Pedrosa, Hussey, & Boerma, 1996), garbanzo (Vovlas, Liébanas, & Castillo, 2004), zanahoria (Medina-Canales et al., 2011).

Otro aspecto que llama la atención es la cantidad de núcleos por célula gigante en la raíz de betabel, este varió de 14-17, mientras que en garbanzo hubo 20-25 (Vovlas et al., 2005); Medina-Canales et al., 2011 encontraron 40-60 núcleos por célula gigante en zanahoria var. Pacífico infectada por *M. arenaria*. Starr, 1993 comenta que el número de núcleos por célula gigante se debe a la diferencia en la habilidad (de cada célula) de producción de tubulina utilizada en la síntesis de las fibras de huso acromático o por la unión de las fibras del huso acromático al cinetocoro. Además, se conoce que el número de núcleos en las células gigantes inducidas por *Meloidogyne* es el resultado de una progresión matemática regular de la división nuclear sin división citoplasmática, con posibles variaciones debido a las divisiones anormales de material genético (Wiggers, Starr, & Price, 1990).

CONCLUSIONES

La técnica de patrones isoenzimáticos de EST y MDH mostraron los patrones I1 y 2Na, lo que confirma la presencia del nematodo agallador *Meloidogyne incognita* en las raíces de betabel. Así

mismo, el análisis morfológico de patrones perineales en hembras adultas de este nematodo con arco dorsal alto y cuadrado, sin líneas laterales visibles, lo que ratifica la especie asociada a betabel en la zona de estudio como *Meloidogyne incognita*. Este es el primer registro de esta especie como parásito de betabel, en la zona agrícola del municipio de Acatzingo, Puebla. El estudio histológico en las raíces de betabel mostró la formación de cinco a siete células gigantes multinucleadas ubicadas en la proximidad del cilindro vascular, cada célula gigante con 14-17 núcleos hipertrofiados, las paredes celulares mostraron engrosamiento, citoplasma denso y granuloso. Además, se observaron entre cuatro y seis hembras por agalla embebidas en el tejido parenquimatoso próximo al cilindro vascular. En la mayoría de los cortes hubo hiperplasia e hipertrofia, reacomodo de vasos xilemáticos y lignificación de células aledañas al nemátodo.

LITERATURA CITADA

- Alquicira Jiménez, A. K. (2013). *Implfiguración de fenotipos isoenzimáticos para la identificación de especies de Meloidogyne en hortalizas del Valle de Tepeaca, Puebla*.
- Brito, J. A., Kaur, R., Cetintas, R., Stanley, J. D., Mendes, M. L., McAvoy, E. J., ... Dickson, D. W. (2008). Identification and isozyme characterisation of *Meloidogyne* spp. infecting horticultural and agronomic crops, and weed plants in Florida. *Nematology*, 10(5), 757–766. <https://doi.org/10.1163/156854108785787253>
- Brito, J. A., Kaur, R., Cetintas, R., Stanley, J. D., Mendes, M. L., Powers, T. O., & Dickson, D. W. (2010). *Meloidogyne* Spp. Infecting Ornamental Plants in Florida. *Nematropica*, 40(1), 87–103.
- Cabrera, V., Dottori, N., Lax, P., Cuello, J., & Doucet, M. E. (2013). Anatomical alterations caused by *Meloidogyne incognita* in roots of *Ipomoea purpurea*, a weed of soybean crops. *Nematropica*, 43, 35–39.
- Carvajal-Sandoval, A. (1996). *Manual de Histología Vegetal* (IPN). México.
- Castillo, P., Di Vito, M., Vovlas, N., & Jiménez-Díaz, R. M. (2001). Host-parasite relationships in root-knot disease of white mulberry. *Plant Disease*, 85(3), 277–281. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2001.85.3.277>
- Castillo, P., Vovlas, N., Subbotin, S., & Troccoli, A. (2003). A New Root-Knot Nematode, *Meloidogyne baetica* n. sp. (Nematoda: Heteroderidae), Parasitizing Wild Olive in Southern Spain. *Phytopathology*, 93(9), 1093–1102. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2003.93.9.1093>
- De la Jara-Alcocer, F., Zeron-Bravo, F., Torres-Coronel, R., & Tovar-Soto, A. (1994). *Manual de Prácticas de Nematología Agrícola* (Segunda). México.
- Eisenback, J., Hirshmann, H., & Sasser, J. (1983). *Guía para la identificación de las cuatro especies mas comunes del nematodo agallador (Meloidogyne especies) con una clave pictórica*.
- Esbenshade, P. R., & Triantaphyllou, A. C. (1985). Use of enzyme phenotypes for identification of *Meloidogyne* species. *Journal of Nematology*, 17(1), 6–20.
- Finley, A. M. (1981). Histopathology of *Meloidogyne chitwoodi* (Golden et al.) on Russett Burbank Potato. *Journal of Nematology*, 13(4), 486–491.
- Hunt, D., & Handoo Z. (2012). Root-knot nematodes. In *Practical Plant Nematology* (pp. 359–409).
- Jatala, P., & Jensen, H. J. (1976). Histopathology of *Beta vulgaris* to individual and concomitant infections by *Meloidogyne hapla* and *Heterodera schachtii*. *Journal of Nematology*, 8(4), 336–341.
- Kumar, A., Bellafiore, S., Cabasan, M. T. N., & De Waele, D. (2014). Histopathology of the rice root-knot nematode, *Meloidogyne graminicola*, on *Oryza sativa* and *O. glaberrima*. *Nematology*, 16(1), 73–81. <https://doi.org/10.1163/15685411-00002746>
- Lomelí Rosario, M. G., Carvajal Sandoval, A., Torres Coronel, R., Hernández López, J. M., & Tovar-Soto, A. (2009). Alteraciones anatómicas e histológicas inducidas por *Meloidogyne incognita* (Nematoda: Heteroderidae) en raíces del arbusto urbano arrayán (*Buxus sempervirens* L.). In *Setenta y cinco años de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas-IPN* (pp. 306–313). Mexico.
- Medina-Canales, M. G., Carvajal-Sandoval, A., Alejandre-Aguilar, R., & Tovar-Soto, A. (2011). Alteraciones histológicas inducidas por *Meloidogyne hapla* y *M. arenaria* en zanahoria (*Daucus carota* L.) en el Valle de Tepeaca, Puebla, México. *Nematropica*, 41, 223–228.
- Medina-Canales, M. G., Ramirez-San Juan, E., Torres-Coronel, R., & Tovar-Soto, A. (2012).

Recibido:
21/agosto/2017

Aceptado:
26/abril/2018

- Pathogenicity of *Meloidogyne arenaria* against two varieties of carrot (*Daucus carota* L.) in Mexico. *Nematropica*, 42, 337–342.
- Medina-Molina, C. O. (2013). *Alteraciones histológicas en raíz de betabel (Beta vulgaris L.) por el nematodo agallador Meloidogyne incognita (Chitwood)*. Instituto Politécnico Nacional.
- Medina Canales, M. G., Alquicira Jiménez, A. K., Torres Coronel, R., & Tovar Soto, A. (2014). Fenotipos isoenzimáticos para la identificación de las especies de *Meloidogyne* presentes en diferentes hortalizas del Valle de Tepeaca, Puebla. In Sociedad Mexicana de Fitopatología (Ed.). Mexico.
- Pedrosa, E. M. R., Hussey, R. S., & Boerma, H. R. (1996). Cellular responses of resistant and susceptible soybean genotypes infected with *Meloidogyne arenaria* Races 1 and 2. *Journal of Nematology*, 28(2), 225–232.
- Ride, J. P., & Barber, M. S. (1987). The effects of various treatments on induced lignification and the resistance of wheat to fungi. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 31(3), 349–360. [https://doi.org/10.1016/0885-5765\(87\)90049-X](https://doi.org/10.1016/0885-5765(87)90049-X)
- SIAP. (2015). Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera. <http://www.siap.gob.mx/>
- SIAP. (2016). Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera. <http://www.siap.gob.mx/>
- Sosa-Moss, C., Barker, K. R., & Daykin, M. E. (1983). Histopathology of selected cultivars of tobacco infected with *Meloidogyne* species. *Journal of Nematology*, 15(3), 392–397.
- Starr, J. L. (1993). Dynamics of the nuclear complement of giant cells induced by *Meloidogyne incognita*. *Journal of Nematology*, 25(3), 416–421.
- Tordable, M., Lax, P., & Doucet, M. (2008). Histopathological analysis of tubers of two varieties of Andean potato (*Solanum tuberosum* subsp. *andigenum*) infected by species of the genus *Meloidogyne*. *Nematropica*, 38(1), 95–103.
- Vovlas, N., Liébanas, G., & Castillo, P. (2004). SEM studies on the Mediterranean olive root-knot nematode, *Meloidogyne baetica*, and histopathology on two additional natural hosts. *Nematology*, 6(5), 749–754. <https://doi.org/10.1163/1568541042843540>
- Vovlas, N., Rapoport, H. F., Jiménez Díaz, R. M., & Castillo, P. (2005). Differences in feeding sites induced by root-knot nematodes, *Meloidogyne* spp., in Chickpea. *Phytopathology*, 95(4), 368–375. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-95-0368>
- Wiggers, R. J., Starr, J. L., & Price, H. J. (1990). DNA Content and variation in chromosome-number in plant-cells affected by *Meloidogyne incognita* and *M. arenaria*. *Phytopathology*, 80(12), 1391–1395. <https://doi.org/10.1094/Phyto-80-1391>