

Identificación y distribución de especies de *Meloidogyne* en Baja California Sur, México

Mirella Romero Bastidas^{1§}
Manlet Guadalupe Macías Curiel¹
Armando Carrillo Fasio²
Maurilia Rojas Contreras¹
José Saúl Hernández Rubio¹
Juan de Dios Duarte Osuna¹

¹Universidad Autónoma de Baja California Sur. Carretera al sur km 5.5, Col. El Mezquitito, La Paz, Baja California Sur. Tel. 01(612) 1238800, ext. 5155. CP. 23080. (manletmacias@outlook.com; mrojas@uabcs.mx; saulhr@gmail.com; jduarte@uabcs.mx). ²Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, AC. Carretera Culiacán-Eldorado km 5.5, Culiacán, Sinaloa. Tel. 01 (667) 7605536. CP. 80110. (acarrillo@ciad.mx).

§Autor para correspondencia: miromero@uabcs.mx.

Resumen

La agricultura en Baja California Sur presenta un grave problema debido al daño provocado por el nematodo agallador *Meloidogyne* spp. La incidencia de daños provocados por este tipo de patógenos es alta, sin embargo, actualmente no se conoce su distribución ni las especies presentes en la entidad. Tomando en cuenta que esta información es clave en las estrategias para el manejo de dicho fitonemátodo, el objetivo del presente estudio fue identificar mediante caracteres morfológicos y métodos moleculares, las especies de *Meloidogyne* presentes en los cultivos muestreados, así como su distribución en el estado. Durante el ciclo agrícola 2017-2018, se realizaron muestreos de suelo y raíces de plantas con síntoma de marchitez y amarillamiento en los diferentes cultivos de cuatro municipios de la entidad. A partir de raíces colectadas, se extrajeron 50 hembras de *Meloidogyne* spp. de los cultivos muestreados, las cuales, se identificaron mediante caracterización morfológica de patrones perineales. Posteriormente se extrajo ADN genómico de dichas hembras y se amplificaron genes específicos reportados en la bibliografía para diferentes especies. Los resultados obtenidos muestran que las especies identificadas corresponden a *Meloidogyne incognita* y *Meloidogyne enterelobii*, donde la incidencia de las poblaciones fue 30% y 70% respectivamente. De las dos especies identificadas *M. enterelobii* fue la que predominó en las áreas agrícolas de Baja California Sur. Mientras que *M. incognita* solo se encontró en dos municipios. Esta información será útil en la implementación eficaz de medidas de control contra las diferentes especies de *Meloidogyne* en el Estado.

Palabras clave: *Meloidogyne* spp., hortalizas, nematodo agallador.

Recibido: diciembre de 2018

Aceptado: febrero de 2019

Introducción

En Baja California Sur, la agricultura representa una de las actividades económicas de gran relevancia, la cual se lleva a cabo bajo sistemas de producción orgánicos o convencionales. Actualmente, existen 44 167 ha de cultivo, con más de 50 tipos de productos hortícolas y más de 12 especies de frutales distribuidas a lo largo de toda la entidad, considerados de alta prioridad estratégica, dada su elevada competitividad y su importancia socioeconómica (SAGARPA, 2017). Dentro de los principales problemas fitopatológicos, se encuentra el nematodo agallador (*Meloidogyne* spp.).

Su principal síntoma en las plantas, es la generación de numerosas agallas en las raíces, impidiendo la absorción y transporte de agua y nutrientes hacia el follaje, lo que se traduce en amarillamiento de hojas, retraso en el crecimiento y posteriormente la muerte de la planta, generando pérdidas en la producción de 20-50% (Zeng *et al.*, 2017). Actualmente, la aplicación de productos químicos y el uso de variedades resistentes, son las estrategias más comunes para el control de este patógeno (Beira *et al.*, 2016).

Sin embargo, no han mostrado la eficacia esperada. Las principales especies reportadas a nivel mundial son *M. incognita*, *M. arenaria*, *M. hapla* y *M. javanica* (Kaur y Attri, 2013). Aunque, continuamente aparecen nuevas especies relacionadas a este género, donde su severidad es mayor, ya que poseen la capacidad de romper la resistencia de los cultivos utilizados y reaccionan de manera diferente a los grupos químicos utilizados en campo, lo que dificulta el éxito de los métodos de control.

La identificación precisa de microorganismos patógenos y el uso de mapas de distribución de las especies, son una de las herramientas útiles en el diseño de programas para la implementación de estrategias efectivas de manejo (Nicol *et al.*, 2011), que evita la aplicación indiscriminada de agroquímicos y propician la generación de especies resistentes a éstos, así como la contaminación ambiental y la eliminación de fauna y flora benéfica del suelo (Kloepper *et al.*, 1991).

Actualmente, en distintos estados de México, se han realizado diversos estudios de identificación de especies de *Meloidogyne*. Sin embargo, en Baja California Sur, no existe registro de las especies asociadas a los cultivos, así como tampoco su localización en las diferentes áreas de producción, lo que sería de gran importancia para el sector agrícola. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue identificar, mediante métodos moleculares y morfológicos, las especies de *Meloidogyne*, asociadas a los cultivos de importancia económica. Así como su distribución en las principales zonas agrícolas del estado.

Materiales y métodos

Área de estudio

Este estudio se realizó durante el ciclo agrícola 2017-2018, en el laboratorio de fitopatología del Departamento Académico de Agronomía, de la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS), localizado en las coordenadas geográficas 24° 06' 03'' latitud norte 110° 18' 54'' longitud oeste, en La Paz, Baja California Sur.

Muestreo en campo

Un total de 16 cultivos, fueron muestreados en los cuatro municipios de mayor importancia agrícola en Baja California Sur: Mulegé (26° 53' 30'' latitud norte 111° 58' 51'' longitud oeste), Comondú (25° 30' latitud norte 112° 00' longitud oeste), La Paz (24° 08' 32'' latitud norte 110° 18' 39'' longitud oeste) y Los Cabos (22° 52' 52'' latitud norte 109° 54' 49'' longitud oeste). En cada campo, se obtuvieron 10 muestras de plantas al azar dirigido únicamente en aquellas que mostraban síntomas de amarillamiento, marchitez foliar y reducción en el crecimiento. Además, 10 submuestras de suelo de la rizósfera, obtenidas a una profundidad de 30 cm con la ayuda de una pala, mediante el método de zig-zag propuesto por Shurtleff y Averre III (2000).

Las sub-muestras se homogenizaron para formar una sola muestra (2 kg), se depositaron en bolsas plásticas y posteriormente se llevaron al laboratorio para el análisis correspondiente. Las coordenadas geográficas de los diferentes lugares se determinaron mediante un dispositivo de posicionamiento global (navegador, Etrex, Garmin®) y se tomó la información de campo respectiva (cultivo, etapa fenológica y tipo de manejo).

Frecuencia de ocurrencia, incidencia e índice de agallamiento en los campos muestreados

En cada área muestreada, se determinó la frecuencia de ocurrencia, incidencia e índice de agallamiento provocado por el nematodo agallador. La frecuencia de ocurrencia, se obtuvo mediante la prevalencia de *Meloidogyne* al calcular el número de campos con nematodos agalladores/número total de campos evaluados. Asimismo, se determinó el porcentaje de incidencia de la enfermedad, al obtener el número de plantas con agallamiento/número total de plantas evaluadas. El índice de agallamiento (IG), se evaluó de acuerdo la escala propuesta por Taylor y Sasser (1978), donde: 0= 0 agallas, 1= 1-2 agallas, 2= 3-10 agallas, 3=11-30 agallas, 4= 31-100 agallas y 5= más de 100 agallas.

Extracción de individuos para la determinación de poblaciones en suelo y raíz

La extracción de machos y juveniles se llevó a cabo, mediante la técnica de tamiz-embudo de Baerman como lo describe Southey (1986). 100 g de suelo, fueron obtenidos de cada muestra original previamente homogenizada y diluidos en 200 ml de agua destilada. Posteriormente, la suspensión se pasó; a través, de tamices (marca Fiicsa) de 200 y 325 mesh. De este último, se recuperó la suspensión y se vació a un embudo con la ayuda de una pizeta. La determinación de juveniles en raíces, se realizó mediante el método de macerado y filtrado (Hooper *et al.*, 2005), donde 25 g de raíces se diluyeron en 200 ml de agua, y se licuaron por 30 s.

La suspensión se decantó a través de tamices de 200 y 325 mesh. Con la ayuda de una pizeta, los nematodos retenidos en el tamiz de 325 se transfirieron a un embudo. Después de 48 h de reposo, se extrajeron 20 ml de la solución, de donde se tomó una alícuota de 1ml y se depositó sobre un vidrio de reloj. Bajo un microscopio compuesto (Labomed modelo Lx 400), se realizaron 5 conteos de cada muestra para obtener el valor promedio de nematodos fitoparásitos.

Prueba de patogenicidad

Posterior al método de extracción, se determinó la patogenicidad de cada población. Semillas de tomate cv 'Río Grande' fueron sembradas en charolas plásticas conteniendo sustrato comercial terralite®. Al presentar la cuarta hoja verdadera, 30 plántulas se trasplantaron a macetas plásticas de 4 kg, que contenían suelo de cada sitio de muestreo. El grupo control, contenía suelo esterilizado. Las plantas se colocaron en una casa de malla sombra (40% de sombreo), bajo una temperatura promedio de 18-30 °C y humedad relativa 40-80%.

Se realizaron dos riegos por semana, y una fertilización por mes con Triple 17® (17-17-17 de nitrógeno, fósforo y potasio, respectivamente). Tres meses después, todas las raíces se examinaron para determinar la presencia de agallas y confirmar la patogenicidad de *Meloidogyne* spp.

Identificación morfológica de *Meloidogyne* spp.

La identificación de especies de *Meloidogyne* colectadas en cada localidad, se llevó a cabo mediante comparación de patrones perineales (Eisenback y Hirschmann, 1981). 50 hembras globosas maduras, se extrajeron al azar de raíces con agallas y se sometieron a disección de la parte posterior de su cuerpo con ayuda de una navaja fina. Posteriormente se prepararon montajes sobre portaobjetos y se examinaron bajo un microscopio compuesto a 45X (Carl Zeiss). Las especies se identificaron en base a la distribución y forma de las estrías longitudinales y transversales de la región perineal y fueron comparadas con las características de patrones perineales propuesto por Taylor y Sasser (1983); Yang y Eisenback (1983).

Identificación molecular de *Meloidogyne* spp.

La identificación molecular de cada una de las poblaciones de *Meloidogyne*, se realizó a través del método de extracción de DNA genómico de 50 hembras adultas, las cuales se obtuvieron con una aguja de disección y se depositaron en un tubo de microcentrifuga de 1.5 ml, posteriormente, se añadió una alícuota de 45 µl de buffer de lisis (NaOH 50 mM), se sometió a lisis por calor a 95 °C por 10 min, se agregó una alícuota de 45 µl de Tris-HCl (pH 8) y se centrifugó por 3 min a 10 000 rpm (Hu *et al.*, 2011), se recuperó el sobrenadante, para proceder con la PCR. Los primers usados para el análisis del DNA genómico de las especies de nematodos se enlistan en el Cuadro 1.

Todas las amplificaciones de PCR se desarrollaron en un total de 25 µl conteniendo 5 µl de buffer gotaq 5x, 3 µl de MgCl₂ (25 mM), 0.2 µl de Taq polimerasa, 0.5 µl de dNTP, 1 µl de cada iniciador, 2 µl de DNA genómico y se complementó con agua nanopura estéril. La amplificación del ADN se llevó a cabo en un termociclador (BIO-RAD T100), bajo las siguientes condiciones de amplificación: 94 °C por 2 min, 35 ciclos de 94 °C por 30 s, 64 °C por 30 s, 68 °C por 1 min, seguidos de una extensión final a 72 °C por 5 min. Los productos de PCR se separaron por electroforesis en buffer Tris-EDTA (TAE) en gel de agarosa al 2%, teñida con gel red a 60 V por 60 min y posteriormente se visualizó bajo la luz UV.

Cuadro 1. Primers utilizados para la identificación molecular de especies de *Meloidogyne*.

Especie	Código de primers	Secuencia de los primers 5' A 3'	Fragmento (pb)	Especificidad y fuente
<i>Meloidogyne</i> spp.	MF MR	GGGGATGTTTGAGGCAGATTTG AACCGCTTCGGACTTCCACCAG	500	28S rRNA Nunn (1992)
<i>Meloidogyne incognita</i>	Mi-F Mi-R	GTGAGGATTCAGCTCCCCAG ACGAGGAACATACTTCTCCGTCC	900	(SCAR), Meng <i>et al.</i> (2004)
<i>Meloidogyne javanica</i>	Fjav Rjav	GGTGCGCGATTGAACTGAGC CAGGCCCTTCAGTGGA ACTATAC	700	(SCAR) Zijlstra <i>et al.</i> (2000)
<i>Meloidogyne enterelobii</i>	Me-F Me-R	AACTTTTGTGAAAGTGCCGCTG TCAGTTCAGGCAGGATCAACC	256	(SCAR), Long <i>et al.</i> (2006)
<i>Meloidogyne arenaria</i>	Ma-F Ma-R	TCGAGGGCATCTAATAAAGG GGGCTGAATATTCAAAGGAA	950	(SCAR), Dong <i>et al.</i> (2001)
<i>Meloidogyne hapla</i>	Mha-F Mha-R	GGCTGAGCATAGTAGATGATGTT ACCCATTAAAGAGGAGTTTTGC	1 500	(SCAR), Dong <i>et al.</i> (2001)

Resultados y discusión

Frecuencia de ocurrencia e incidencia

Dieciseis cultivos en etapa de producción, fueron evaluados en cuatro de los cinco municipios del estado de Baja California Sur. 13 de éstos, eran hortalizas, tales como tomate saladette, bola, grape, cherry, chile bell, chile California, betabel, acelga y calabaza. Dos de tipo aromático (albahaca) y un frutal (higuera). 12 de los 16 cultivos, se producían bajo un sistema convencional, mientras que los cuatro restantes pertenecían a un sistema de producción orgánico. De éstos, se analizaron 160 muestras de raíces, así como 160 muestras de suelo, de las cuales 157 raíces (98%) y 160 (100%) muestras de suelo presentaron infestación del nematodo agallador.

La frecuencia de ocurrencia de *Meloidogyne* en Mulegé, Comondú, La Paz y Los Cabos fue de 100%, es decir, todos los campos evaluados en cada municipio, donde se realizaron los muestreos, presentaron daños por el nematodo agallador. La incidencia del nematodo agallador fue 100% en todos los cultivos evaluados excepto en higuera donde presentó 70% de daño. Esto indica que las diez plantas evaluadas de cada cultivo, mostraron presencia de agallas en sus raíces y solo siete plantas pertenecientes al cultivo de higuera presentaron agallamiento radicular.

Índice de agallamiento

Las raíces de los diferentes cultivos presentaron agallamiento diferencial (Cuadro 2). El tomate saladette tipo convencional de la zona de Mulegé, fue el cultivo con mayor índice de agallamiento presentó al mostrar una escala de 5, seguido por el tomate saladette tipo orgánico con 4.8 y uno de los cultivares de grape-1 con 4.3. Para el caso de tomate bola, grape-2 e higuera el índice de agallamiento fue menor al mostrar una escala de agallamiento de 3.3, 1.5 y 1.1, respectivamente.

Cuadro 2. Incidencia, índice de agallamiento y población de *Meloidogyne* spp.

Municipio	Hospedante	Sistema de producción	(%) de incidencia	Índice de agallamiento	Población de nematodos	
					J2/25 g de raíz	J2/100 g suelo
Mulegé	Tomate bola	Convencional	100	3.3	657	1 004
	Tomate grape-1	Convencional	100	4.3	595	448
	Tomate saladette-1	Orgánico	100	4.8	770	216
	Tomate saladette-2	Convencional	100	5	418	1 116
	Tomate grape-2	Convencional	100	1.5	44	96
	Higuera	Convencional	70	1.1	130	72
Comondú	Tomate saladette-3	Convencional	100	3.4	500	452
	Betabel	Convencional	100	2.1	35	126
	Acelga	Convencional	100	3.7	965	566
	Calabaza	Orgánico	100	2	976	260
	Tomate cherry	Orgánico	100	2.1	37	101
La Paz	Chile bell	Convencional	100	4.1	280	916
	Tomate saladette-4	Convencional	100	4.7	281	2 284
	Chile california	Convencional	100	2.7	871	1 192
	Albahaca-1	Convencional	100	3.3	753	1 028
Los Cabos	Albahaca-2	Orgánico	100	4.2	1 671	1 050

En Comondú el mayor índice de agallamiento fue de 3.7 en acelga, seguido de tomate saladette (3.4), mientras que, en betabel, tomate cherry y calabaza el daño fue menor mostrando un agallamiento en la escala de 2.1, 2.1 y 2 respectivamente. En el caso de la zona de La Paz, se observó un mayor índice de agallamiento en tomate saladette (4.7), siguiendo en orden descendente el cultivo de chile bell (4.1), albahaca (3.3) y en menor medida el cultivo de chile California (2.7). Así mismo, en Los Cabos, el cultivo de albahaca presentó un índice de agallamiento de 4.2.

Respuesta de la planta a la infección por nematodos

Las plantas de tomate desarrolladas en suelo infestado con las diferentes poblaciones de *Meloidogyne*, mostraron agallamiento radicular a los 60 días después del trasplante. Durante este tiempo, las agallas presentaban tamaños variables y crecían de manera individual. Sin embargo, al final de la evaluación (90 dds), las agallas se agrupaban para producir agallas mayores, cercanas a una escala de 4 ó 5, dentro de un índice de agallamiento. Esta respuesta de daño demuestra y confirma la capacidad infectiva que poseen las poblaciones de nematodos obtenidas en cada sitio de muestreo.

Población de nematodos en suelo

Las poblaciones del nematodo agallador por cada 100 g de suelo y 25 g de raíz variaron entre los sitios de muestreo (Cuadro 2). Las poblaciones en suelo variaron de 72 a 2 284 individuos del segundo estadio (J2), mientras que en raíces fue de 35 a 1 671 nematodos. Los cultivos que presentaron la menor población del nematodo agallador en suelo fueron higuera, tomate grape-2 y

tomate cherry con 72, 96 y 101 J2 respectivamente en 100 g de suelo. Seguido de éstos, se presentaron los cultivos con poblaciones mayores a 100 nematodos, tales como betabel (126), tomate saladette-1 (216) y calabaza (260).

Mientras que en tomate grape-1, tomate saladette-3 y acelga, la población superó 400 nematodos por muestra al presentar 448, 452 y 556 nematodos respectivamente en 100 g de suelo. Sin embargo, las poblaciones mayores se observaron en el cultivo de chile bell (916), tomate bola (1 004), albahaca (1 028 y 1 050), tomate saladette-2 (1 116) y chile California (1 192). En el tomate saladette-4, se presentó la máxima densidad poblacional con 2,284 nematodos en 100 g de suelo.

Población de nematodos en raíz

La máxima población de nematodos en raíz fue observada en albahaca-2, ubicada en Los Cabos, la cual mostró 1 671 nematodos, seguido por los cultivos de calabaza (976), acelga (965), chile California (871), tomate-1 (770) y albahaca-1 (753), presentes en los diferentes municipios muestreados. En el caso de tomate saladette-2, tomate saladette-3, tomate grape-1 y tomate bola, la población superó los 400 nematodos presentes en las muestras de raíces al obtener 418, 500, 595 y 657 nematodos respectivamente. Mientras que, en menor medida, la población de nematodos estuvo presente en tomate saladette-4 (281), chile bell (280), higuera (130), tomate grape-2 (44), cherry (37) y betabel (35).

Identificación morfológica

Al analizar microscópicamente la morfología del patrón perineal de las hembras adultas, los diferentes campos muestreados, revelaron la presencia de dos diferentes tipos de patrones perineales. El tipo de patrón 1, se caracterizó por presentar generalmente una forma alargada con un arco dorsal alto y cuadrado, con estrías suaves a onduladas con algunas bifurcaciones en las líneas laterales. Esta morfología coincidió con la descrita en la literatura para *M. incognita* (Figura 1) (Taylor y Sasser, 1983).

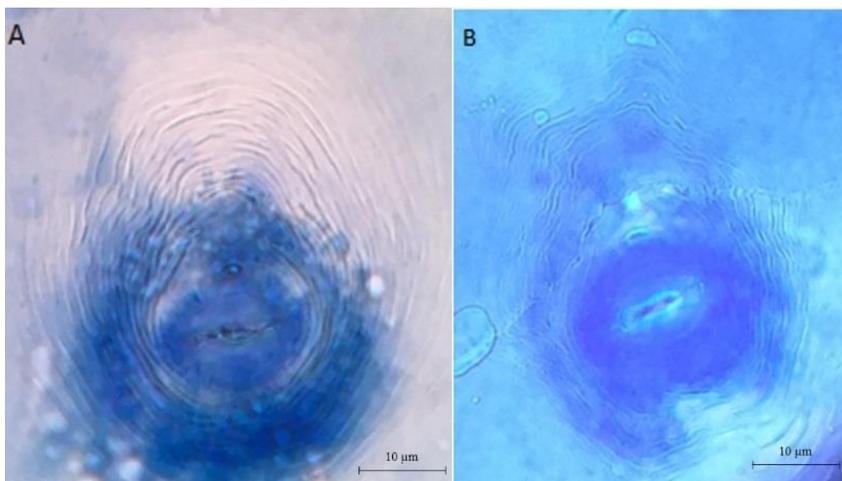


Figura 1. Microfotografía de patrones perineales obtenidos de hembras de *Meloidogyne* en cultivos agrícolas de Baja California Sur: *Meloidogyne enterelobii*: A) arco dorsal alto y redondo. *Meloidogyne incognita*; y B) arco dorsal alto y cuadrado. 40X.

El patrón tipo 2, presentó una morfología de ovoide a redondo, con arco dorsal alto ha redondeado, crestas laterales con estrías lisas a onduladas. Dichas características son típicas de *Meloidogyne enterelobii* (Yank y Eisenback, 1983).

Identificación molecular

La amplificación del DNA ribosomal, con los primers universales MF/MR produjeron un fragmento específico de 500 pb para el genero *Meloidogyne* en las muestras pertenecientes a todas las localidades. Los primers específicos se utilizaron para identificar y diferenciar las especies de *Meloidogyne* en las muestras de raíces colectadas. Una única banda específica de 256, 500 y 900 pb en tamaño se produjo; a través, de la amplificación en PCR solo para los primers específicos de *M. enterelobii* Me-F/Me-R de 11 poblaciones, primers universales MF/MR de *Meloidogyne* spp. de cuatro poblaciones y primers específicos de *M. incognita* Mi-F/Mi-R de cuatro poblaciones respectivamente (Figura 2).

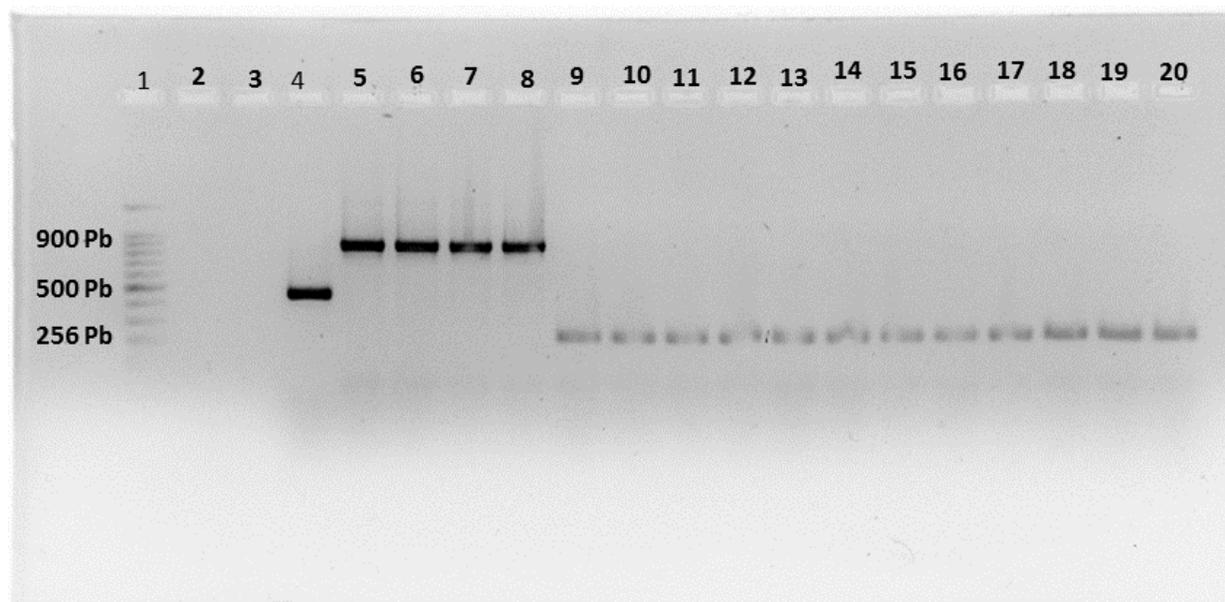


Figura 2. Producto de PCR obtenido de primers específicos y universales, a partir de DNA de poblaciones de nematodos presentes en raíces con agallas. Carril 1= marcador de DNA de 100 pb. Carril 2= control negativo. Carril 3= blanco. Carril 4= control positivo *Meloidogyne* spp. Carril 5-8= Mi-F/Mi-R. Carril 9-20= Me-F/Me-R.

El fragmento obtenido con los primers de *M. enterelobii*, coincide con Martínez *et al.* (2015) en sus investigaciones al obtener un producto de PCR de 256 pb durante su análisis de indentificación de especies de *Meloidogyne* en tomate. Mientras que en el caso de *M. incognita*, el amplicon generado fue de 900 pb, que corresponde a lo reportado por Meng *et al.* (2004). El control negativo y el blanco, como era de esperarse no amplificaron un producto de PCR con los primers utilizados.

Es importante mencionar, que la amplificación fue negativa para el resto de los primers específicos, correspondientes a las especies de *M. hapla*, *M. arenaria* y *M. javanica*. Cuatro de las muestras amplificaron para el género de *Meloidogyne*; sin embargo, no se expresó ningún amplicon para

ninguna de las especies evaluadas, lo que podría indicar una especie diferente a éstas y nueva en el género. La Figura 3, muestra el resultado obtenido del análisis en las muestras de Comondú, Mulegé, La Paz y Los Cabos, donde únicamente se presentó una banda específica de 500 pb, derivada de la amplificación en PCR solo para los primers de *Meloidogyne* spp. MF/MR. En el resto de las muestras no mostraron alguna amplificación a las especies anteriormente evaluadas.

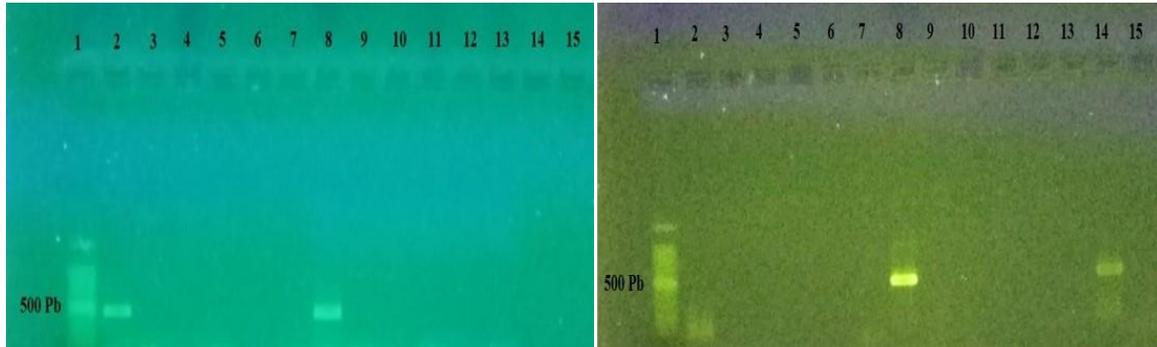


Figura 3. Producto de PCR obtenido de primers específicos y universales, a partir de DNA de poblaciones de nematodos presentes en raíces con agallas. Foto izquierda y derecha; amplificación de una única banda de 500 pb solo para MF/MR en los carriles 2, 8, 8 y 14. En el resto de los carriles no amplificó para alguna otra especie.

Distribución de especies

Meloidogyne incognita y *Meloidogyne enterelobii* se encontraron coinfectando dos (12.5%) campos de tomate evaluados, en la zona de Mulegé y Comondú. Así como dos (12.5%) de los campos fueron infestados con *M. enterelobii* y *Meloidogyne* spp. Mientras que *Meloidogyne enterelobii* se encontró en 12 (75%) campos de los 16 evaluados y *M. incognita* en cuatro (25%) únicamente. *M. enterelobii*, se determinó como la especie de nematodo agallador más común en Baja California Sur, al ser detectado en todos los distritos muestreados en la presente investigación tales como, Mulegé, Comondú, La Paz y Los Cabos, con el establecimiento de cultivos de tomate, chile, albahaca, betabel, acelga, calabaza e higuera. *Meloidogyne incognita* fue menos común y se detectó en dos distritos (Mulegé y Comondú), infectando solo tomate en cuatro campos (Figura 4).

Las especies de nematodos agalladores son morfológicamente muy similares unas de otras y la identificación a nivel de especies es difícil. Además, en diversas ocasiones más de una especie se encuentra en la misma raíz de las plantas (Devran y Sogut, 2009). Por lo tanto, la identificación rápida y precisa de estos microorganismos es necesaria para el óptimo manejo y mejoramiento de los cultivos (Powers *et al.*, 2005). Esto, solo es posible; a través, de estudios regulares y exhaustivos de la detección de las poblaciones de especies de *Meloidogyne* en las áreas agrícolas de cada región.

Con este objetivo, el presente estudio revela las principales especies de *Meloidogyne* que actualmente se encuentran presentes en las zonas productoras de diversos cultivos agrícolas en Baja California Sur. El 100% de los cultivos en estudio mostraron daño por el nematodo agallador. El mayor índice de agallamiento, lo presentó el tomate saladette al mostrar agallas grandes e irregulares en sus raíces. Esto, debido probablemente a que es una de las hortalizas más comunes y constantes en los campos, además de que es una de las principales especies hospedantes de este patógeno (Oliveira *et al.*, 2017).

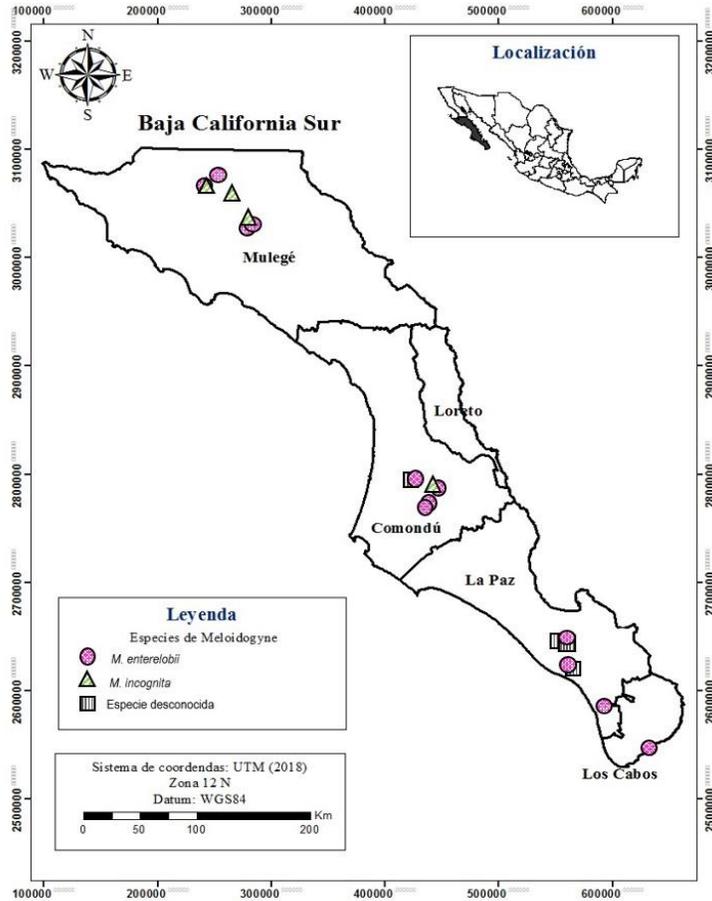


Figura 4. Distribución del nematodo agallador en Baja California Sur.

Se ha establecido que, aunque existen cultivos de tomate con el gen de resistencia *Mi*, para inhibir el daño de la especie *Meloiodgyne incognita*, éste sigue presentando daños de agallamiento considerable que impacta en el rendimiento y costos de producción de las diferentes hortalizas (Jacquet *et al.*, 2005). Diversos estudios han determinado que este tipo de respuesta, es debido al proceso de la presión de selección que da surgimiento a la aparición de biotipos virulentos de *Meloiodgyne incognita*, con la capacidad de reproducirse en los cultivos comerciales establecidos en campo (Castagnone-Sereno, 2002).

Asimismo, se ha confirmado la presencia en el suelo de diversas especies de *Meloiodgyne* (Quénéhervé *et al.*, 2011), donde algunas están exentas del efecto de resistencia por el gen *Mi* y poseen la facultad de romper dicha resistencia y facilitar el incremento de la incidencia de daño en las plantas (Ornat *et al.*, 2001; Perez-Almeida *et al.*, 2015).

Tal es el caso de este estudio, donde las principales especies encontradas fueron *M. incognita*, la cual es una de las especies más comunes con amplio rango de hospedantes, infectando diversos tipos de cultivos y de amplia distribución geográfica, al establecerse en diferentes ambientes (Taylor *et al.*, 1982). Y *M. enterelobii*, especie considerada una de las más destructivas y severas, debido a su capacidad de romper la resistencia que confiere el gen *Mi* en las plantas y a su rápido desarrollo y reproducción (Rodríguez *et al.*, 2007).

Actualmente, ésta última se ha establecido como un patógeno emergente, el cual se ha distribuido rápidamente en todo el mundo causando pérdidas en la producción de hortalizas como el tomate, de hasta 70% (Freitas *et al.*, 2017). En el presente estudio se determinó que *M. enterelobii*, esta distribuida en todo el estado, siendo esta especie la de mayor incidencia en los cultivos agrícolas de la región a diferencia de *M. incognita*.

Esta incidencia, podría estar relacionada con las características del tipo de suelo de la región y las condiciones climáticas de cada zona muestreada. Particularmente, Baja California Sur, se caracteriza por ser un estado árido y por poseer suelos arenosos, pobres en materia orgánica. Este tipo de suelo dentro de las áreas de producción, genera que se pierda rápidamente el agua en el suelo, por lo que el riego establecido en los sistemas agrícolas es constante, lo que provoca mayor humedad, facilitando estos dos factores el movimiento rápido de los nematodos hacia sus plantas hospederas, para penetrar y reproducirse rápidamente dentro de las raíces, lo que conduce al incremento de sus poblaciones en campo (Prot y Van Gundy, 1981).

La alta prevalencia e incidencia de estos nematodos sugiere su importancia como un riesgo potencial en la producción de cultivos de interés económico, principalmente hortalizas tales como tomate o chile, los cuales comúnmente se establecen como monocultivos y donde los productores señalan que éstos se han establecido de forma continua por más de 27 años en los campos evaluados.

Conclusiones

Las características en los diferentes aislados de *Meloidogyne* coincidieron con las descritas para *M. incognita* y *M. enterelobii*. Donde la distribución de esta última, fue mayor al presentarse en los cuatro municipios del estado muestreados. La alta tasa de reproducción de *M. enterelobii* y su capacidad de romper el gen de resistencia *Mi* puede afectar significativamente la producción agrícola del estado. Este es el primer reporte de las especies de *Meloidogyne* presentes en el estado de Baja California Sur. Este tipo de información puede formar una base para formular y diseñar estrategias de métodos de control contra este patógeno, con un uso racional de productos químicos y rotación de cultivos.

Agradecimientos

Al Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP), por el recurso otorgado en la convocatoria 2017, como parte de la incorporación de nuevos profesores de tiempo completo (NPTC), con carta de liberación del recurso 511-6/17-8557.

Literatura citada

- Beira, H. M.; Heinz, W. D. and Hallmann, J., 2016. Population dynamics and damage potential of *Meloidogyne hapla* to rose rootstock species. *J. Phytopathol.* 164:711-721. Doi: 10.1111/jph.12492.
- Castagnone, S. P. 2002. Genetic variability of nematodes: a threat to the durability of plant resistance genes? *Euphytica.* 124:193-199.

- Devran, Z. and Söğüt, M. A. 2009. Distribution and identification of root-knot nematodes from Turkey. *J. Nematol.* 41:128-133.
- Dong, K.; Dean, R. A.; Fortnum, B. A. and Lewis, S. A. 2001. Development of PCR primers to identify species of root-knot nematodes: *Meloidogyne arenaria*, *M. hapla*, *M. incognita*, and *M. javanica*. *Nematropica* 31:271-280.
- Eisenback, J. D. and Hirschmann, H. 1981. Identification of *Meloidogyne* species on the basis of head and stylet morphology. *J. Nematol.* 12:23-32.
- Freitas, M. V.; Silva, J. G. P.; Gomes, B. C.; Castro, J. M. C.; Correa, V. R. and Carneiro, M. D. G. R. 2017. Host status of selected cultivated fruit crops to *Meloidogyne enterolobii*. *Eur. J. Plant Pathol.* 148:307-319. Doi 10.1007/s10658-016-1090-8.
- Hooper, D. J.; Hallmann, J. and Subbotin, S. A. 2005. Methods for extraction, processing and detection of plant and soil nematodes. In: Luc, M.; Sikora, R. A.; Bridge, J. (Eds.). *Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture*. 2^a (Ed.). UK, CABI. 53-86 pp.
- Hu, M.; Zhuo, K. and Liao J. 2011. Multiplex PCR for the simultaneous identification and detection of *Meloidogyne incognita*, *M. enterolobii*, and *M. javanica* using DNA extracted directly from individual galls. *Phytopathology*. 101:1270-1277.
- Jacquet, M.; Bongiovanni, M.; Martinez, M.; Verschave, P.; Wajnberg, E. and Castagnone-Sereno, P. 2005. Variation in resistance to the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* in tomato genotypes bearing the *Mi* gene. *Plant Pathol.* 54:93-99. Doi: 10.1111/j.1365-3059.2005.01143.x.
- Kaur, H. and Attri, R. 2013. Morphological and Morphometrical Characterization of *Meloidogyne incognita* from different host plants in four districts of Punjab, India. *J. Nematol.* 45(2):122-127.
- Kloepper, J. W.; Mahaffee, W.; McInroy, J. A. and Backman, P. A. 1991. Comparative analysis of methods for recovering plant growth promoting rhizobacteria from roots. *Can. J. Microbiol.* 37:953-957.
- Long, H.; Liu, H. and Xu, H. 2006. Developmet of a PCR diagnostic for the root-knot nematode *Meloidogyne enterolobii*. *Acta Phytopathol. Sinica.* 36:109-115.
- Martínez, G. J. A.; Díaz, V. T.; Allende, M. R.; García, E. R. S. y Carrillo, F. J. A. 2015. Primer reporte de *Meloidogyne enterolobii* parasitando tomate en Culiacán, Sinaloa, México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc. Pub. Esp. Núm.* 11:2165-2168.
- Meng, Q. P.; Long, H. and Xu, J. H. 2004. PCR assays for rapid and sensitive identification of three major root-knot nematodes, *Meloidogyne incognita*, *M. javanica* and *M. arenaria*. *Acta Phytopathol. Sin.* 34:204- 210.
- Nicol, J. M.; Turner, S. J. D.; Coyne, D. L.; Nijs, L. D.; Hockland, S. and Maafi, Z. T. 2011. Current nematode threats to world agriculture. in J. Jones, G. Gheysen, and C. Fenoll, eds. *Genomics and molecular genetics of plant-nematode Interactions*, Springer, Dordrecht. 21-43 pp. https://DOI.org/10.1007/978-94-007-0434-3_2.
- Nunn, G. B. 1992. Nematode molecular evolution. Ph.D. dissertation. University of Nottingham, UK. <https://ethos.bl.uk/OrderDetails.do?uin=uk.bl.ethos.334855>.
- Oliveira, S. J.; Vinícius, S. M.; Levorato, F. L.; Silva, F. B. and Rúbia, R. M. 2017. Biocontrol agents in the management of *Meloidogyne incognita* in tomato agentes de biocontrole no manejo de *Meloidogyne incognita* em tomateiro. *Ciencia Rural, Santa María, Crop Protection.* ISSNe 1678-4596 pp. <http://dx.DOI.org/10.1590/0103-8478cr20161053>.
- Ornat, C.; Verdejo, L. S. and Sorribas, F. 2001. A population of *Meloidogyne javanica* from Spain virulent to the *Mi* resistance gene in tomato. *Plant Dis.* 85:271-276.

- Perez, A. I.; Vegas, G. A.; Pérez, D.; Muñoz, J. y Malyshev, S. 2015. Presencia del marcador *Mi-23* de resistencia a *Meloidogyne incognita* como apoyo a la caracterización del germoplasma de tomate en Venezuela. *Bioagro*. 27(1):11-16.
- Powers, T. O.; Mullin, P. G.; Harris, T. S.; Sutton, L. A. and Higgins, R. S. 2005. Incorporating molecular identification of *Meloidogyne* spp. into a large-scale regional nematode survey. *J. Nematol.* 37:226-235.
- Prot, J. C. and Van Gundy, S. D. 1981. Effect of soil texture and the clay component on migration of *Meloidogyne incognita* second stage juveniles. *J. Nematol.* 13:213-217.
- Quénéhervé, P.; Godefroid, M.; Mège, P. and Marie, L. S. 2011. Diversity of *Meloidogyne* spp. parasiting plants in Martinique Island, French West Indies. *Nematropica*. 41:191-199.
- Rodríguez, M.; Gomez, L. y Peteira, B. 2007. *Meloidogyne mayaguensis* Rammah y Hirschmann, plaga emergente para la agricultura tropical y subtropical. *Rev. Protec. Veg.* 22:183-198.
- SAGARPA. 2017. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Agenda técnica agrícola de Baja California Sur[©]. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Ciudad de México. Impreso en México. 160 p.
- Shurtleff, M. and Averre, III, C. 2000. Diagnosing plant diseases caused by nematodes. Second edition. The American Phytopathological Society. Minnesota, USA. 187 p.
- Southey, J. F. 1986. Laboratory methods for work with plant and soil nematodes. Her Majesty's Stationery Office, London, UK. 202 pp.
- Taylor, A. L. and Sasser, J. N. 1978. Biology, identification and control of rootknot nematodes (*Meloidogyne* species). North Carolina State University, USAID, NC Graphics, Raleigh. 110 pp.
- Taylor, A. L.; Sasser, J. N. and Nelson, L. A. 1982. Relationship of climate and soil characteristics to geographical distribution of *Meloidogyne* species in agricultural soils. North Carolina State University Graphics. 65 p.
- Taylor, A. y Sasser, J. 1983. Biología, identificación y control de los nemátodos de nódulo de la raíz. Raleigh, USA. Universidad del Estado de Carolina del Norte. 111 p.
- Yang, B. J. and Eisenback, J. D. 1983. *Meloidogyne enterolobii* (Meloidogynidae), a root-knot nematode parasiting pacara earpod tree in China. *J. Nematol.* 15:381-391.
- Zeng, J.; Zhang, Z.; Li, M.; Wu, X.; Zeng, Y. and Li, Y. 2017. Distribution and molecular identification of *Meloidogyne* spp. parasiting Flue-cured Tobacco in Yunnan, China. *Plant Protect. Sci.* 1-7. Doi: 10.17221/82/2017-PPS.
- Zijlstra, C.; Donkers, V. D. T. H. M. and Fargette, M. 2000. Identification of *Meloidogyne incognita*, *M. javanica* and *M. arenaria* using sequence characterized amplified region (SCAR) based PCR assays. *Nematology*. 8:847-853.