

# TOLERANCIA DE 26 COLECTAS DE TOMATES NATIVOS DE MÉXICO AL NEMATODO *Meloidogyne incognita* (KOFOID Y WHITE) CHITWOOD

Raquel Cervantes-Moreno<sup>1</sup>; Juan Enrique Rodríguez-Pérez<sup>1\*</sup>;  
Calixto Carrillo Fonseca<sup>2</sup>; Jaime Sahagún-Castellanos<sup>1</sup>;  
Eduardo Rodríguez-Guzmán<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia. km 38.5 Carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México, MÉXICO. C.P. 56230.

Correo-e: erodriguezx@yahoo.com.mx (\*Autor para correspondencia)

<sup>2</sup>Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Parasitología Agrícola. km 38.5 Carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México, MÉXICO. C.P. 56230.

<sup>3</sup>Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Camino Ramón Padilla Sánchez # 2100. Nextipac, Zapopan, Jalisco, MÉXICO. C.P. 45200.

## RESUMEN

Se determinó la tolerancia de 26 colectas de tomates nativos de México a *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White) Chitwood, con el fin de identificar aquellas con potencial para su empleo en el mejoramiento genético o como portainjertos. Para ello, plantas de 30 días de edad fueron establecidas en hidroponia bajo invernadero. Diez días después del trasplante (ddt) fue aplicada al sustrato una solución con 100,000 huevecillos-larva por planta. Se registraron caracteres de la parte aérea de plantas y a los 210 ddt se cuantificó el desarrollo de poblaciones de nematodos en raíces. *M. incognita* disminuyó el diámetro de frutos y el porte de planta (altura al primer racimo, peso seco de tallo y número de nudos), e incrementó el número de frutos y flores. Además, redujo la longitud de raíces y aumentó el volumen de éstas por la formación de nódulos. Mediante análisis multivariados (agrupamiento y discriminante) se definieron cinco grupos de colectas en función de la cantidad de agallas pequeñas y grandes, así como el total de éstas (82 % de variación) y por la cantidad de larvas en raíz y huevecillos en sustrato (13 % de variación). Se identificaron tres colectas tolerantes con bajos índices de agallas y menor presencia de huevecillos-larva en raíz y en sustrato. Ocho colectas fueron moderadamente tolerantes; nueve, moderadamente susceptibles, y seis, susceptibles. No se detectaron asociaciones entre orígenes de colectas o forma de fruto con respecto a la tolerancia al nematodo.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: *Solanum lycopersicum*, agallas, huevecillos-larva.

## TOLERANCE OF 26 NATIVE TOMATO COLLECTIONS FROM MEXICO TO NEMATODE *Meloidogyne incognita* (KOFOID AND WHITE) CHITWOOD

### ABSTRACT

The tolerance of 26 native tomato collections from Mexico to *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White) Chitwood was studied to identify those with potential for use in breeding or as rootstock. To do this, 30-day-old plants were established in a hydroponic system under greenhouse conditions. A solution with 100,000 eggs-larvae per plant was applied to the substrate 10 days after transplantation (dat). Characters of the above-ground part of the plants were recorded and at 210 dat the development of nematode populations in roots was quantified. *Meloidogyne incognita* reduced fruit diameter and plant size (first truss height, stem dry weight, and node number), and increased the number of fruits and flowers. Additionally, it reduced root length and increased root volume due to nodule formation. By means of multivariate analysis (cluster and discriminant), five collection groups were defined based on the number of small and large galls, as well as total galls (82 % variation), and by the number of larvae in roots and eggs in the substrate (13 % variation). Three tolerant collections with low gall indices and a lower number of eggs-larvae in the roots and substrate were identified. Eight collections were moderately tolerant, nine moderately susceptible and six susceptible. No associations were detected between collection origins or fruit shape and tolerance to nematode.

ADDITIONAL KEYWORDS: *Solanum lycopersicum*, galls, eggs-larvae.

## INTRODUCCIÓN

El tomate está considerado como la segunda especie hortícola más importante en México, debido a su superficie sembrada (53,780 ha), por el valor de la producción de \$ 10,336,853,070.00 (Anónimo, 2012) y por la ser la primera generadora de divisas gracias a su exportación y a su alto precio en ciertas ventanas de comercialización, por lo que genera importantes ganancias al productor.

Uno de los factores que limitan el cultivo de tomate, principalmente en campo, aunque es común en sistemas de invernadero, son los nematodos. En México se han reportado en varios estados productores y pueden causar mermas en la producción que van desde 30 hasta 100 % (Sosa-Moss, 1985). Las principales especies que afectan a este cultivo son *Nacobus aberrans*, *Meloidogyne arenaria*, *Meloidogyne javanica* y *Meloidogyne incognita* (Carrillo et al. 2000). Esta última es la de mayor importancia y presenta cuatro razas patógenas, las cuales atacan al tomate (Eisenback et al., 1983). Asimismo, la presencia de diferentes especies del mismo género es común (Karman, et al., 2010; Carrillo et al., 2000).

La distribución de nematodos ocurre en regiones tropicales, subtropicales y en lugares con temperaturas bajas. Su amplia distribución se atribuye a factores como capacidad para tolerar condiciones ambientales adversas, potencial reproductivo y diseminación a través del agua de riego, maquinaria, implementos agrícolas y material vegetal infestado (Anwar y McKenry, 2002). Además, varias especies vegetales (maleza entre ellas) son hospederos alternativos (Nuez, 2001).

La respuesta de las plantas a la infección de *Meloidogyne* sp. ocurre en dos niveles. El primero afecta toda la planta con una reducción en la fotosíntesis, el crecimiento y el rendimiento, debido a que se interfiere la síntesis y traslocación de reguladores de crecimiento producidos por las raíces. La segunda forma ocurre a nivel celular en raíces y modifica su morfología y fisiología, y las transforma en células gigantes multinucleadas, altamente especializadas, llamadas sincitias o células de transferencia (Bird, 1974).

Un mecanismo de resistencia a nematodos se considera como excelente cuando restringe o previene la reproducción de éstos. Desafortunadamente, la búsqueda de este tipo de plantas requiere varios años de investigación, aspecto que ha limitado la disponibilidad de variedades resistentes (Anwar y McKenry, 2002). No obstante, alternativas como el gen de resistencia *Mi* ha permitido desarrollar portainjertos y variedades tolerantes, ya que bloquea la reproducción de nematodos de manera significativa, gracias a una respuesta de hipersensibilidad que genera una necrosis de las células localizadas en la zona de infección (alrededor de la cabeza del nematodo invasor) que impide el crecimiento de las larvas, lo que causa su muerte. Su eficacia disminuye con temperaturas superiores a 27 °C. (Riggs y Winstead, 1959). Sin embargo, se ha reportado ruptura de esta resistencia,

## INTRODUCTION

Tomato is considered the second most important horticultural species in Mexico due to its cultivated area (53,780 ha) and its production value of MX\$10,336,853,070.00 (Anónimo, 2012). Moreover, it is the most important currency generator due to its export and high price in certain marketing windows, which generates significant profits for producers.

One of the limiting factors for the tomato crop, mainly in the field, although it is also common in greenhouse systems, is nematodes. They have been reported in various tomato-producing states in Mexico and can cause production losses ranging from 30 to 100 % (Sosa-Moss, 1985). The main species affecting this crop are *Nacobus aberrans*, *Meloidogyne arenaria*, *Meloidogyne javanica* and *Meloidogyne incognita* (Carrillo et al., 2000). The last is the most important and has four pathogenic races that attack tomatoes (Eisenback et al., 1983). Similarly, the presence of different species of the same genus is usual (Karman et al., 2010; Carrillo et al., 2000).

Nematodes are found in tropical and subtropical regions, as well as in low-temperature locations. Their wide range is attributed to factors such as their ability to tolerate adverse environmental conditions, their reproductive potential and their dissemination through irrigation water, machinery, agricultural implements and infested plant material (Anwar and McKenry, 2002). In addition, several plant species (including weeds) are alternative hosts (Nuez, 2001).

The response of plants to infection by *Meloidogyne* sp. occurs in two ways. The first way affects the whole plant with a reduction in photosynthesis, growth and yield, because it interferes with the synthesis and translocation of growth regulators produced by the roots. The second way occurs at the cell level in roots, as it modifies the morphology and physiology of the cells, transforming them into giant, highly-specialized, multinucleated cells called syncytia or transfer cells (Bird, 1974).

A resistance mechanism to nematodes is considered excellent when it restricts or prevents nematodes from multiplying. Unfortunately, the search for this type of plant requires several years of research, a fact that has limited the availability of resistant varieties (Anwar and McKenry, 2002). Nevertheless, alternatives have been developed, such as the *Mi* resistance gene that has enabled the development of rootstocks and tolerant varieties. It works by significantly blocking nematode reproduction, thanks to a hypersensitive response that generates necrosis of the cells located in the infection area (around the head of the invading nematode), which impedes larvae growth and thus causes their death. Its effectiveness decreases with temperatures above 27 °C (Riggs and Winstead, 1959). However, a breakdown in this resistance has been reported, attributed to the selection pressure exerted on the pathogen due to the repeated

atribuida a la presión de selección ejercida sobre el patógeno debido al uso reiterado de genotipos resistentes en terrenos con monocultivo (Piedra *et al.*, 2005).

Un aspecto importante a considerar con respecto al empleo de genes de resistencia a nematodos es su efecto en las dinámicas de poblaciones del patógeno, ya que al incrementar la presión de selección, se modificará el grado de virulencia, lo que causa la pérdida de efectividad de este mecanismo (Sorribas y Verdejo, 1999).

Otras formas de resistencia involucran mecanismos de pre o post infección. La primera ocurre en la superficie de la raíz o en la rizosfera. De este modo se disminuye la penetración del nematodo. Los exudados radicales de las plantas pueden también atraer o repeler a los nematodos. Los mecanismos de resistencia pos infección involucran procesos en las raíces que pueden disuadir la alimentación del nematodo, cambiar el establecimiento de sitios de alimentación, retrasar o prevenir el desarrollo del nematodo o inhibir su reproducción (Huang, 1985; Anwar y McKenry, 2002).

El ciclo de vida del nematodo nodulador, *Meloidogyne incognita*, especialmente su duración, es influenciada principalmente por la temperatura. Inicia con la formación de un huevo, seguido de cuatro etapas juveniles y por último la etapa adulta. Las larvas del segundo estado o etapa infectiva generalmente penetran la raíz en la punta o caliptra, se mueven entre las células no diferenciadas y se alojan cerca de los haces vasculares donde completan su ciclo. Con los estiletes perforan las paredes de las células, se alimentan e inyectan secreciones a la planta (Taylor y Sasser, 1983).

El síntoma más común producido por la hembra es la formación de engrosamientos radiculares conocidos como nódulos. Su tamaño y número depende del número de hembras incrustadas. Una vez infectadas las raíces se produce engrosamiento e hiperplasia celular causados por la obstrucción de los vasos, se acortan y se deforman las raíces principales, se reduce el número de raíces laterales y el desarrollo de pelos radiculares. Esto causa la disminución de la absorción de agua y nutrientes y, en consecuencia, se detiene el crecimiento general del sistema radicular y la planta se debilita, aparece clorosis en las hojas o bien manifiestan marchitez reversible (epinastia). En el caso de ataques severos ocurre la muerte de la planta. Adicionalmente, el nematodo interacciona con otros patógenos, ya sea como vector de virus o de forma pasiva, facilitando la entrada de bacterias y hongos por las heridas que han provocado (Taylor y Sasser, 1983; Nuez, 2001).

Dado que México es el centro de origen del tomate, los materiales nativos son considerados como una fuente de variación genética, útil en el mejoramiento genético, a través de la mejora de algunas características de cultivares comerciales, ya sea mediante el empleo de injertos o bien por medio de transferencia de caracteres de interés. Es por ello que la ca-

use of resistant genotypes in monoculture fields (Stone *et al.*, 2005).

An important element to consider with respect to the use of nematode resistance genes is their effect on the dynamics of pathogen populations, because increasing the selection pressure will change the degree of virulence, causing this mechanism to lose effectiveness (Sorribas and Verdejo, 1999).

Other resistance forms involve pre- or post-infection mechanisms. The first occurs on the root surface or in the rhizosphere. Thus, nematode penetration decreases. The root exudates of plants can also attract or repel nematodes. The post-infection resistance mechanisms involve processes in roots that may deter nematodes from feeding, change the location of feeding sites, delay or prevent nematode development or inhibit their reproduction (Huang, 1985; Anwar and McKenry, 2002).

The life cycle of the root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*, especially its duration, is mainly influenced by temperature. It begins with the formation of an egg, followed by four juvenile stages and finally the adult phase. Infective or second stage larvae usually penetrate the root at the tip or calyptra, move between undifferentiated cells and stay close to vascular bundles where they complete their cycle. Using their stylet they perforate cell walls, feed and inject secretions into the plants (Taylor and Sasser, 1983).

The most common symptom produced by the female is the formation of root thickenings known as nodules. Their size and number depend on the number of embedded females. Once the roots are infected, thickening and cell hyperplasia caused by the obstruction of the vessels occurs, the main roots are shortened and deformed, and the number of lateral roots and root hair development decrease. This causes decreased water and nutrient absorption and, consequently, the overall growth of the root system stops and the plant weakens, chlorosis occurs in the leaves or they manifest reversible wilting (epinasty). In the case of severe attacks, plant death occurs. Additionally, the nematode interacts with other pathogens, either as virus vector or passively, facilitating the entry of bacteria and fungi through the injuries it has caused (Taylor and Sasser, 1983; Nuez, 2001).

Since Mexico is the tomato's center of origin, native materials are considered a source of genetic variation, useful in breeding, through the improvement of some characteristics of commercial cultivars, either by using grafts or by transferring traits of interest. For this reason, the characterization of these genetic resources is important (Bai and Lindhout, 2007).

Based on the above, the aim of this research was to characterize 26 native tomato collections from Mexico according to their tolerance attributes to the *Meloidogyne incognita* nematode.

racterización de estos recursos fitogenéticos es importante (Bai y Lindhout, 2007).

Con base en lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue caracterizar 26 colectas de tomate nativo de México de acuerdo con atributos de tolerancia al nematodo *Meloidogyne incognita*.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el ciclo primavera-verano de 2008, en un invernadero del Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, localizado a 19° 19' 29" latitud norte y 98° 52' 25" de longitud oeste, con altitud de 2,269 msnm y clima C(w<sub>0</sub>)(w)b(i')g (García, 1986). La extracción y conteo de nematodos se llevaron a cabo en el laboratorio de Nematología de la misma Universidad.

Se evaluaron 26 colectas de tomate silvestre, de las que 13 de ellas, originarias del estado de Puebla, fueron proporcionadas por el Banco Nacional de Germoplasma de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), y las restantes provinieron de diferentes estados de la República Mexicana (Cuadro 1).

Las semillas de las colectas se establecieron en charolas de poliuretano de 200 cavidades. A los 40 días se trasplantaron en macetas de PVC de 2 litros de capacidad con sustrato inerte (arena volcánica). La nutrición se aplicó en riego con solución nutritiva. A los 10 días después del trasplante (ddt) fue aplicada al sustrato una solución de 100,000 huevecillos-larva por planta. Adicionalmente, las colectas se establecieron en ausencia del nematodo. El inóculo de *Meloidogyne incognita* fue extraído mediante el método macerado-tamizado obtenido de un cultivo comercial de tomate procedente del estado de Morelos, México. La identificación del patógeno se realizó en el laboratorio de Nematología de la Universidad Autónoma Chapingo.

La unidad experimental consistió de una maceta con una planta. El diseño experimental usado fue completamente al azar con cuatro repeticiones.

Durante el desarrollo del cultivo se registraron, en plantas con nematodos y en testigos, la altura al primer racimo (A1R, en cm), diámetro basal de tallo (DT, en cm), número de flores (NF3R) y número de frutos (NF) en el tercer racimo. Al finalizar el experimento, a los 210 ddt, a partir de diez frutos se cuantificó su peso (PF, en g) y diámetro (DF en cm). Adicionalmente se registró la altura de planta (AP, en cm), el número de nudos en 1 m de tallo (NNm) y peso seco del tallo (en g, secado a 70 °C hasta peso constante). En raíces, después de lavarse, se determinó su longitud (LR, en cm) y su volumen (VR, en cm<sup>3</sup>) por desplazamiento de agua.

Las plantas inoculadas con nematodos, fueron llevadas a laboratorio donde sus raíces fueron lavadas. Posteriormente se

## MATERIALS AND METHODS

The experiment was conducted in the 2008 spring-summer cycle in a greenhouse at the Universidad Autónoma Chapingo (UACH), located at 19° 29' 23" North latitude and 98° 52' 25" West longitude, at 2,269 meters above sea level and C (w<sub>0</sub>)(w)b(i')g climate (García, 1986). Nematode extraction and counting were conducted in the university's nematology laboratory.

Twenty-six collections of wild tomato were evaluated. Out of these, 13 originated in the state of Puebla and were provided by the UACH Banco Nacional de Germoplasma, and the rest in different states in Mexico (Table 1).

The collection seeds were established in 200-cavity polyurethane trays. At day 40, they were transplanted into two-liter PVC pots with inert substrate (volcanic sand). Nutrition was applied through irrigation with nutrient solution. At 10 days after transplanting (DAT), a solution of 100,000 eggs-larvae per plant was applied to the substrate. Additionally, the collections were established in the absence of nematodes. The *Meloidogyne incognita* inoculum, which was extracted by the mashing-sieving method, was obtained from a commercial tomato crop in the state of Morelos, in Mexico. The pathogen was identified in the UACH nematology laboratory.

The experimental unit consisted of a potted plant. The experimental design was completely randomized with four replications.

During crop development, the following characteristics were recorded for both plants with nematodes and in the controls: first truss height (1RH, in cm), stem basal diameter (SD, in cm), number of flowers (NF3R) and number of fruits (NF) in the third truss. At the end the experiment, at 210 dat, fruit weight (FW, in g) and diameter (D in cm) were measured in plants with at least 10 fruits. Additionally, plant height (PH, in cm), number of nodes in 1 m of stem (NNm) and stem dry weight (in g, dried at 70 °C until constant weight) were recorded. In roots, after rinsing them, their length (RL, in cm) and volume (RV, cm<sup>3</sup>) by water displacement were measured.

Plants inoculated with nematodes were taken to the laboratory where their roots were rinsed. Subsequently, egg masses were stained with Phloxine B (0.15 g-liter<sup>-1</sup>) for 20 minutes (Barker, 1985) and were quantified using the small gall index (smaller than 5 mm) and the large gall index (larger than 5mm) (Taylor and Sasser, 1983, Table 2).

The mashing-sieving method was used for extracting eggs and larvae from the roots. Ten grams of chopped roots were placed in a mixer with a solution containing 180 ml of distilled water and 20 ml of sodium hypochlorite at 5 %, for three minutes. Subsequently, it was filtered in a two-sieve column of 20 and 400 meshes, and again in the 400 mesh

CUADRO 1. Colectas evaluadas y su procedencia.

TABLE 1. Collections evaluated and their origin.

Nombre / Name	Origen / Origin	Tipo de fruto / Fruit Type	Nº Colecta / Collection Nº
Cereza 1	Banco Germoplasma UACH / UACH Germplasm Bank	Cereza / Cherry	1
Cereza 2	Banco Germoplasma UACH / UACH Germplasm Bank	Cereza / Cherry	3
Cereza 4	Banco Germoplasma UACH / UACH Germplasm Bank	Cereza / Cherry	4
Cimarrona 1	Banco Germoplasma UACH / UACH Germplasm Bank	Cereza / Cherry	10
Cimarrona 2	Banco Germoplasma UACH / UACH Germplasm Bank	Cereza / Cherry	11
Cimarrona 3	Banco Germoplasma UACH / UACH Germplasm Bank	Cereza / Cherry	12
Cimarrona 4	Banco Germoplasma UACH / UACH Germplasm Bank	Cereza / Cherry	13
Cimarrona 5	Banco Germoplasma UACH / UACH Germplasm Bank	Cereza / Cherry	14
Totonaca 1	Banco Germoplasma UACH / UACH Germplasm Bank	Riñón / Kidney	5
Totonaca 2	Banco Germoplasma UACH / UACH Germplasm Bank	Riñón / Kidney	6
Totonaca 3	Banco Germoplasma UACH / UACH Germplasm Bank	Riñón / Kidney	7
Totonaca 4	Banco Germoplasma UACH / UACH Germplasm Bank	Riñón / Kidney	8
Totonaca 5	Banco Germoplasma UACH / UACH Germplasm Bank	Riñón / Kidney	19
Arriñonado 1	Huautla, Hgo. 11-03-06	Riñón / Kidney	18
Arriñonado 2	Huautla, Hgo. 11-03-06	Riñón / Kidney	17
Arriñonado 3	Necaxa, Pue. 05-11-05	Riñón / Kidney	16
Arriñonado 4	Chamaquico Mochitla, Hgo. 08-03-06	Riñón / Kidney	22
Arriñonado 5	Chamaquico Mochitla, Hgo. 08-03-06	Riñón / Kidney	9
Arriñonado 6	Ixcatlán, Hgo. 01-03-06	Riñón / Kidney	20
Arriñonado 7	Palenque, Chiapas 01-12-05	Riñón / Kidney	26
Cereza 1	Huautla Hgo. 11-03-06	Cereza / Cherry	2
Cereza 2	Comitán, Chiapas 01-05-06	Cereza / Cherry	24
Cereza 3	Martínez de la Torre, Ver. 01-05-06	Cereza / Cherry	25
Cereza 4	Independencia, Chiapas 01-05-06	Cereza / Cherry	23
Cereza 5	Huautla Hgo. 11-03-06	Cereza / Cherry	21
Cuautomate	Xilotepec de Juárez, Pue. 31-10-05	Cereza / Cherry	15



tiñeron las masas de huevos con Phloxina B ( $0.15 \text{ g-litro}^{-1}$ ) durante 20 minutos (Barker, 1985) y se cuantificaron mediante el índice de agallas pequeñas (menores de 5 mm) y el índice de agallas grandes (mayores de 5 mm) (Taylor y Sasser, 1983, Cuadro 2).

CUADRO 2. Escala del grado de infección (índice de agallas) del nematodo *Meloidogyne* spp en raíces de plantas de tomate.

TABLE 2. Scale of infection degree (gall index) of nematode *Meloidogyne* spp in tomato plant roots.

Número de masas de huevos (número de agallas) / Number of egg masses (number of galls)	Índice de masas de huevos (índice de agallas) / Egg mass index (gall index)
0	0
1-2	1
3-10	2
11-30	3
30-100	4
100+	5

Fuente: Taylor y Sasser (1983)

Source: Taylor and Sasser (1983)

Para la extracción de huevos y larvas en raíces se empleó el método de macerado-tamizado. Diez gramos de raíces trozadas se colocaron en batidora con una solución de 180 ml de agua destilada y 20 ml de hipoclorito de sodio al 5 % durante tres minutos. Posteriormente se filtró en una columna de dos tamices de 20 y 400 mallas, y nuevamente en el tamiz de 400 mallas, donde quedaron retenidos los huevecillos-larva que fueron almacenados en frascos. Bajo el microscopio, con ayuda de las cuadrículas de una caja contadora de disección, se determinó el número de huevecillos-larva por mililitro y, consecuentemente, el número de huevecillos-larva por gramo de raíz.

La extracción de huevos y larvas en sustrato se realizó con el método de macerado-tamizado-centrifugado. Para ello se pesaron 200 g de sustrato homogeneizado y se colocó en 10 litros de agua. Posteriormente la solución se filtró en tamices de 20, 60, 100, 200 y 400 mallas. El material obtenido en el último tamiz se pasó a un recipiente para evitar pérdidas de nematodos. Esta solución se homogenizó mediante agitación y transfirió a tubos de centrifugación, se agregó 1 g de caolín, se centrifugó durante 5 minutos a 3,500 revoluciones por minuto (rpm) y se llenaron los tubos con solución de 450 g de azúcar aforados a un litro. Posteriormente se realizó una segunda centrifugación a 3,500 rpm por 3 minutos. La solución azucarada se vertió en el tamiz de 400 mallas, el cual se lavó para eliminar el excedente de azúcar. Por último, se recolectaron los nematodos del tamiz y se realizó el conteo de la misma forma que el caso anterior.

Para determinar los efectos en los caracteres evaluados debido a la inoculación de nematodos, a las colectas y a su inte-

sieve, where the eggs-larvae were retained and then stored in jars. Under a microscope, using the grids of a dissection counting dish, the number of eggs-larvae per milliliter was determined and, consequently, the number of eggs-larvae per gram of root.

Extraction of eggs and larvae from substrate was performed with the mashing-sieving-centrifugation method. For this, 200 g of homogenized substrate were placed in 10 liters of water. Then the solution was filtered in sieves of 20, 60, 100, 200 and 400 meshes. The material obtained in the 400-mesh sieve was transferred to a container to avoid nematode losses. This solution was homogenized by stirring and transferred to centrifugation tubes, 1 g of kaoline was added, centrifuged for 5 minutes at 3,500 revolutions per minute (rpm) and the tubes were filled with a solution of 450 g of sugar gauged at one liter. Subsequently, a second centrifugation at 3,500 rpm was performed for 3 minutes. The sugar solution was poured into the 400-mesh sieve, which was washed to remove the excess sugar. Finally, nematodes were collected from the sieve and counted in the same way as the previous case.

To determine the effects on the evaluated traits due to nematode inoculation, collections and their interaction, analyses of variance and mean comparisons (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ) were performed. For some variables the square root transformation of the data was applied prior to analysis of variance.

Subsequently, a cluster analysis was performed using the squared Euclidean distances, obtained from standardized data. The dendrogram was built using Ward's minimum variance technique and the cutting height was determined with the cubic clustering criterion (Anónimo, 1983) and Hotelling's (1951) pseudo  $t^2$  distribution.

To corroborate the relevance of the groups and determine the variables responsible for this clustering, discriminant analysis was performed. Finally, analysis of variance (square-root transformation was done beforehand) and Tukey's mean comparison ( $\alpha = 0.05$ ) were performed.

## RESULTS AND DISCUSSION

Through the analysis of variance of morphological traits evaluated in both the control and inoculated treatments, significant differences were detected in the collections for plant height, first truss height, stem diameter, fruit weight and diameter, and number of nodes in a meter of stem (Table 3). *Meloidogyne incognita* inoculation (treatments) significantly affected first truss height, stem dry weight, number of fruits, number of flowers, fruit diameter, and root volume and length. The collection-treatment interaction was not significant.

*Meloidogyne incognita* caused significant differences with respect to the control in plant size (Table 4), since

racción, se realizaron análisis de varianza y comparaciones de medias (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ). En algunas variables se realizó la transformación raíz cuadrada antes de realizar los análisis de varianza

Posteriormente, se efectuó un análisis de agrupamiento con empleo de las distancias euclidianas elevadas al cuadrado, obtenidas a partir de datos estandarizados. La construcción del dendrograma se realizó con la técnica de mínima varianza de Ward y la altura de corte se determinó con el criterio cúbico de agrupamiento (Anónimo, 1983) y la pseudoestadística  $t^2$  de Hotelling (1951).

Para corroborar la pertinencia de los grupos y determinar las variables responsables de esta agrupación, se realizó un análisis discriminante. Finalmente, se realizaron análisis de varianza (previa transformación raíz cuadrada) y comparación de medias de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mediante los análisis de varianza (Cuadro 3) de caracteres morfológicos evaluados tanto en testigos como en tratamientos inoculados, se detectaron diferencias significativas en el factor colectas en altura de planta, altura al primer racimo, diámetro de tallo, peso y diámetro de frutos, y número de nudos en un metro de tallo. La inoculación de *Meloidogyne incognita* (tratamientos) afectó significativamente la altura al primer racimo, peso seco de tallo, al número de frutos, número de flores, diámetro de frutos, así como volu-

it decreased both first truss height and stem dry weight. In addition, it reduced fruit diameter but increased the number of fruits and flowers. Nematodes reduced root length, but increased their volume (symptoms commonly produced by the female nematode). Root thickenings (nodules) caused by the formation of giant cells and galls were also observed. This caused necrosis in highly infested roots, shortening and diminishing of lateral roots and scarce root hairs (Cepeda, 1996).

In order to describe the behavior of collections inoculated with *Meloidogyne incognita*, with small, large and total gall indices, and the number of eggs-larvae in root and substrate, a cluster analysis was performed with Ward's minimum variance technique using the standardized data matrix, the dendrogram of which is shown in Figure 1. The cubic clustering criterion (Anónimo, 1983) and Hotelling's pseudo  $t^2$  distribution (Johnson, 2000) indicated that the number of clusters to be generated is four.

In order to identify the variables that determined cluster formation in the previous analysis, discriminant analysis, which considered the clusters generated as the categorical variable, was performed. Two discriminant functions described 93 % of the variability in the data used, with individual variation of 66 and 27 %, both of them different from zero ( $\alpha \leq 0.01$ ), and eigenvalues of 4.86 and 1.98, respectively.

Table 5 shows the relative importance of the characters included in the analysis of each of the two discriminating vari-

CUADRO 3. Cuadrados medios de los análisis de varianza de caracteres morfológicos evaluados en tomates nativos con y sin inoculación de nematodos.

TABLE 3. Mean squares of the analyses of variance of morphological traits evaluated in native tomato collections, with and without nematode inoculation.

FV / SV	GL / DF	AP / PH	AIR <sup>2</sup> / IRH <sup>2</sup>	DT / SD	PST / SDW	NFR <sup>2</sup> / NF3R <sup>2</sup>	NFL <sup>2</sup>	PF <sup>2</sup> / FW <sup>2</sup>	DF <sup>2</sup> / FD <sup>2</sup>	VR <sup>2</sup> / RV <sup>2</sup>	LR <sup>2</sup> / RL <sup>2</sup>	NNm
Colecta / Collection	25	3530**	3.97**	3.9**	211	1.45*	0.48	20.80**	1.37**	1.09	1.29	64.3**
Tratamiento/ Treatment	1	1107	3.34**	5.9	1300*	5.55**	10.31**	20.79	6.48**	318.67**	164.29**	4.5
Col x Trat / Coll x Treat	25	717	0.41	0.9	247	0.62	0.13	1.82	0.39	0.71	1.21	7.1
Error	156	694	0.47	1.8	287	0.75	0.38	6.93	0.75	1.21	0.54	9.31
Total	207											
CV		15	14.7	15.7	39	18.62	25.31	30.10	18.21	21.33	11.79	11.3
Media / Mean		168	22.8	8.6	44	4.33	6.57	48.71	23.71	29.74	40.02	27.0

<sup>2</sup>Análisis correspondiente a transformación raíz cuadrada; \*\* Significativo con  $\alpha \leq 0.01$ ; \* Significativo con  $\alpha \leq 0.05$ ; FV: fuentes de variación; GL: grados de libertad; CV: coeficiente de variación; AP: altura de planta; AIR: altura al primer racimo; DT: diámetro de tallo; NF3R: número de frutos del tercer racimo; NFL: número de flores del tercer racimo; PF: peso de frutos; DF: diámetro de frutos; VR: volumen de raíz; LR: longitud de raíz; NNm: número de nudos por metro de tallo.

<sup>2</sup>Analysis for square root transformation; \*\* Significant at  $\alpha \leq 0.01$ ; \* Significant at  $\alpha \leq 0.05$ ; SV: sources of variation; DF: degrees of freedom; CV: coefficient of variation; PH: plant height; IRH: first truss height; SD: stem diameter; SDW: stem dry weight; NF3R: number of fruits of the third truss; NFL: number of flowers of the third truss; FW: fruit weight; FD: fruit diameter; RV: root volume; RL: root length; NNm: number of nodes per stem meter.

men y longitud de la raíz. No se detectó significancia en la interacción colecta por tratamiento.

La comparación de medias de Tukey (Cuadro 4), indicó que *Meloidogyne incognita* causó diferencias significativas con respecto al testigo en el porte de planta, puesto que disminuyó la altura al primer racimo y el peso seco de tallo. Por otra parte, causó la disminución del diámetro de frutos, aunque tuvo un mayor número de éstos y de flores. El nematodo disminuyó la longitud de raíces, aunque aumentó su volumen, síntomas característicos producidos por la hembra del

ables (total canonical structure) and the discriminant functions generated. From this information, genotypes with high values of discriminating variable one (DV1) had a higher total gall number (0.95), small gall index (0.94), and large gall index (0.82), and vice versa. Relative to discriminating variable two (DV2), high values represent collections with high numbers of eggs in substrate (0.67) and root (0.54), and a high number of larvae in root (0.65), and vice versa.

The behavior of the collection clusters as a function of the discriminating variables obtained is presented in Figure 1.

CUADRO 4. Comparación de medias con y sin inoculación de los caracteres morfológicos evaluados.

TABLE 4. Mean comparison of the morphological traits evaluated, with and without inoculation.

Tratamiento / Treatment	AP / PH	A1R <sup>z</sup> / 1RH <sup>z</sup>	DT / SD	PST / SDW	NFR <sup>z</sup>	NFL <sup>z</sup>	PF <sup>z</sup> / FW <sup>z</sup>	DF <sup>z</sup> / FD <sup>z</sup>	VR <sup>z</sup> / RV <sup>z</sup>	LR <sup>z</sup> / RL <sup>z</sup>	NNm
Testigos / Control	170 a	24.0 a	8.4 a	46 b	3.2 b	5.2 b	53.2 a	25.4 a	14.8 b	48.4 a	27.2 a
Inoculado / Inoculated	165 a	21.4 b	8.7 a	41 a	5.2 a	7.7 a	44.1 a	21.9 b	44.7 a	31.4 b	26.9 a
DMSH / HSD	7	1.9	0.4	5	0.8	0.7	11.6	2.4	3.9	2.8	0.8

<sup>z</sup>Análisis correspondiente a transformación raíz cuadrada, promedios originales; cifras con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ); AP: altura de planta; A1R: altura al primer racimo; DT: diámetro de tallo; NF3R: número de frutos del tercer racimo; NFL: número de flores del tercer racimo; PF: peso de frutos; DF: diámetro de frutos; VR: volumen de raíz; LR: longitud de raíz; NNm: número de nudos por metro de tallo. DMSH=Diferencia mínima significativa honesta.

<sup>z</sup>Analysis for square root transformation, original averages; means with the same letter within columns are statistically equal (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ); PH: plant height; 1RH: first truss height; SD: stem diameter; SDW: stem dry weight; NF3R: number of fruits of the third truss; NFL: number of flowers of the third truss; FW: fruit weight; FD: fruit diameter; RV: root volume; RL: root length; NNm: number of nodes per stem meter. HSD= honestly significant difference.

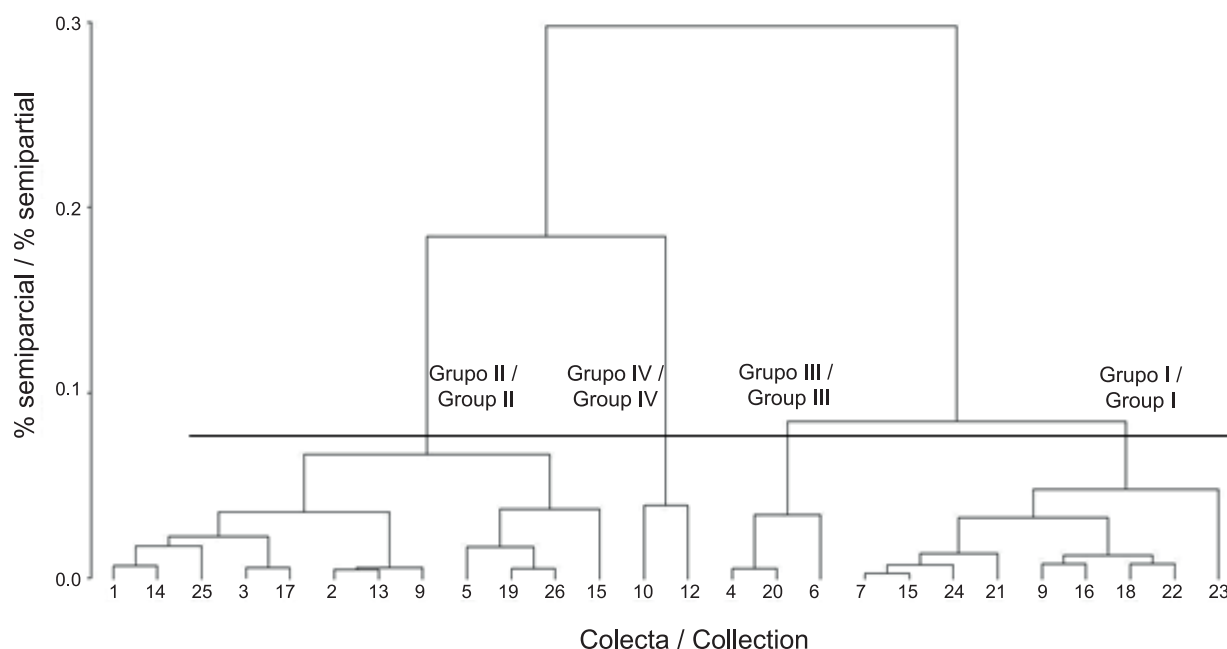


FIGURA 1. Dendrograma jerárquico de 26 colectas de tomate bajo una prueba de tolerancia a *Meloidogyne incognita*. La línea horizontal indica la altura de corte.

FIGURE 1. Hierarchical dendrogram of 26 tomato collections under a tolerance to *Meloidogyne incognita* test. The horizontal line indicates height cutoff.



nematodo, además de la formación de engrosamientos radiculares (nódulos), causados por la formación de células gigantes y agallas, lo cual provocó necrosis en raíces altamente infestadas, acortamiento y disminución de raíces laterales y escasos pelos radicales (Cepeda, 1996).

Con el fin de describir el comportamiento de las colectas evaluadas en presencia de *Meloidogyne incognita*, con los índices de agallas pequeñas, grandes y total, y la cantidad de huevecillos-larva en raíz y en sustrato, se realizó un análisis de agrupamiento con la técnica de varianza mínima de Ward mediante la matriz de datos estandarizados, cuyo dendrograma aparece en la Figura 1. El criterio cúbico de agrupamiento (Anónimo, 1983) y a la pseudoestadística  $t^2$  de Hotelling (Johnson, 2000), indicaron que el número de grupos a generar correspondió a cuatro.

Con el fin de identificar las variables que determinaron la conformación de grupos en el análisis anterior, se realizó un análisis discriminante, donde se consideró como variable categórica a los grupos generados. Dos funciones discriminantes describieron 93 % de la variabilidad de los datos empleados, con variación individual de 66 y 27 %, ambas diferentes de cero ( $\alpha \leq 0.01$ ) y valores propios de 4.86 y 1.98, respectivamente.

El Cuadro 5 muestra la importancia relativa de los caracteres incluidos en el análisis en cada una de las dos variables discriminantes (estructura total canónica), así como las funciones discriminantes generadas. A partir de dicha información, genotipos con altos valores de la variable discriminante uno (VD1) tuvieron mayor expresión en total de agallas (0.95), índice de agallas pequeñas (0.94), e índice de

In it, 66 % of the variation represented by DV1 separated the collections by their susceptibility based on the number of small and large galls and their total number, while DV2 (27 % of data variation) differentiated collection clusters as a function of the number of eggs and larvae in roots and eggs in substrate.

Two collections from cluster 4 presented a larger number of galls, eggs and larvae in roots and eggs in substrate, which is why they are considered as susceptible. Cluster two, with 12 collections, was considered as moderately susceptible. Cluster one, with three collections, was moderately tolerant, by presenting lesser gall mass development (lower values of DV1). Clusters 1, 2 and 3 presented similar presence of larvae and eggs in roots and eggs in substrate.

Analysis of variance was used to compare collection groups (Table 6), where the presence of significant variability in this variation factor in all the traits evaluated in roots was observed. It should be noted that collections within each cluster showed no statistically significant differences, that is, there was similar behavior within clusters, despite the high coefficients of variation detected.

Mean comparison (Table 7) corroborates the behavior of the collection clusters shown in Figure 2. In this table, cluster 3 had the highest tolerance to *Meloidogyne incognita*, as it presented lesser gall mass development ( $\alpha = 0.05$ ). As for the presence of larvae and eggs in roots and substrate, clusters 3, 1 and 2 were similar ( $\alpha = 0.05$ ); however, the lesser presence of galls in the cluster 3 collections, which are the most tolerant, indicates that they must have some type of resistance mechanism, as they developed the lowest gall indices

CUADRO 5. Estructura total canónica de variables discriminantes y funciones discriminantes definidas a partir de cinco grupos de genotipos de tomates nativos.

TABLE 5. Total canonical structure of discriminating variables and discriminant functions defined from five genotype clusters of native tomatoes.

Variable	Coeficiente canónico / Canonical coefficient		Función discriminante / Discriminant function	
	VD1 / DV1	VD2 / DV2	VD1 / DV1	VD2 / DV2
Constante / Constant			-29.192	-46.429
Huevecillos en raíz / Eggs in root	0.548	0.515	0.009	0.014
Larvas en raíz / Larvae in root	0.414	0.658	0.326	0.298
Huevecillos en sustrato / Eggs in substrate	0.561	0.675	-0.045	-0.047
Larvas en sustrato / Larvae in substrate	0.262	0.139	0.318	0.293
IAP / SGI	0.829	-0.177	-1.578	0.432
IAG / LGI	0.943	-0.195	12.652	15.820
Total agallas / Total galls	0.954	-0.200	4.068	5.637

IAP: índice de agallas pequeñas, IAG: índice de agallas grandes.

SGI: small gall index, LGI: large gall index, DV1: Discriminating variable 1, DV2: Discriminating variable 2.

agallas grandes (0.82), y viceversa. Con respecto a la variable discriminante dos (VD2), altos valores de ésta representan a colectas con altas cantidades de huevecillos en sustrato (0.67), y en raíz (0.54), así como alta cantidad de larvas en raíz (0.65), y viceversa.

La representación gráfica del comportamiento de los grupos de colectas en función de las variables discriminantes obtenidas se presenta la Figura 1. En ésta el 66 % de la variación representada por la VD1 separó a las colectas por su susceptibilidad en función de la cantidad de agallas pequeñas y grandes así como del total de éstas, en tanto que la VD2 (27 % de la variación de datos) diferenció a los grupo de colectas en función de la cantidad de huevecillos y larvas en raíz y huevecillos en sustrato.

Dos colectas del grupo 4 presentaron mayor cantidad de agallas, así como de huevecillos y larvas en raíz y huevecillos en sustrato, por lo que se consideraron como susceptibles. El grupo dos, con 12 colectas, se consideró como moderadamente susceptibles. El grupo 1 con tres coletas, fue moderadamente tolerante. Las tres colectas del grupo uno mostraron mayor tolerancia, al presentar menor desarrollo de masas de agallas (menores valores de VD1). Los grupos 1, 2 y 3, presentaron similar presencia de larvas y huevecillos en raíz y huevecillos en sustrato.

Se realizó un análisis de varianza para comparar los grupos de colectas (Cuadro 6), en donde se observó la presencia de variabilidad significativa en este factor de variación en todos los caracteres evaluados en raíces. Cabe mencionar que

despite the pathogen being present in the soil. This phenomenon needs to be thoroughly studied, since egg production in resistant cultivars, although low, may have important epidemiological repercussions due to the residual nematode population left in the soil after cultivation. This is greater in intensive production systems where the inoculum is increased, which causes a process of progressive adaptation or of selection of virulent populations. Under field conditions, selection of virulent populations is not a well-documented process, although indirect evidence suggests that this process could occur (Sorribas and Verdejo, 1999).

Cluster 4, which contains susceptible collections, showed the greatest pathogen development in the substrate and within roots, and had the highest gall rates.

Cluster 2 (moderately susceptible) and cluster 1 (moderately tolerant) showed egg and larva development in substrate similar to that of the tolerant collections ( $\alpha = 0.05$ ). However, they had a significant ( $\alpha = 0.05$ ) increase in gall indices with respect to the tolerant collection cluster.

Collections and description of clusters generated by the above analysis are presented in Table 8. No associations between origins or fruit shapes with respect to tolerance to *Meloidogyne incognita* were detected.

## CONCLUSIONS

*Meloidogyne incognita* modified morphological traits at the beginning of plant development, as it promoted vegetative

CUADRO 6. Cuadrados medios de análisis de varianza de caracteres asociados a poblaciones de nematodos, en cinco grupos de jitomate nativo.

TABLE 6. Mean squares of analysis of variance of traits associated with nematode populations in five native tomato clusters.

FV / SV	GL / DF	25	26	27	28	29	30	34
		HR / ERZ	LAR	HS / ES	LS	IAG / LGI	IAP / SGI	TA / TG
Grupo / Cluster	4	229.3 **	11.7**	208.7**	23.1*	1.06**	1.81 **	3.35**
Colecta / Grupo Collection / Cluster	21	50.6	2.3	35.5	8.8	0.07	0.08	0.10
Error	77	62.6	2.4	50.3	11.4	0.31	0.37	0.69
Total	102							
CV		50.6	48.0	82.0	59.5	47.18	36.4	42.86
Media / Mean		309	12	125	43	1.2	2.7	3.9

\*\*Significativo con  $\alpha \leq 0.01$ ; FV: fuentes de variación; CV: coeficiente de variación; GL: grados de libertad; HR: huevecillos en raíz; LAR: larvas en raíz; HS: huevecillos en sustrato; LS: larvas en sustrato; IAG: índice de agallas grandes; IAP: índice de agallas pequeñas; TA: total de agallas.

<sup>z</sup>All variables underwent square root transformation prior to the analyses of variance. \*\*Significant at  $\alpha \leq 0.01$ ; SV: sources of variation; CV: coefficient of variation; DF: degrees of freedom; ER: eggs in root; LAR: larvae in root; ES: eggs in substrate; LS: larvae in substrate; LGI: large gall index; SGI: small gall index; TG: total galls.

CUADRO 7. Comparación de medias de caracteres asociados a poblaciones de nematodos en cinco grupos de jitomate nativo.  
TABLE 7. Mean comparison of traits associated with nematode populations in five native tomato clusters.

Grupo / Cluster	HR / ER <sup>z</sup>	LAR	HS / ES	LS	IAG / LGI	IAP / SGI	TA / TG
3 T	193 b	8.0 b	54 b	22.2 b	0.33 c	1.25 c	1.58 c
1 MT	278 b	11.8 b	97 b	50.9 ab	0.80bc	2.27 b	3.08 b
2 MS	305 b	10.5 b	115 b	39.1 ab	1.63ab	3.21 a	4.84 a
4 S	640 a	28.6 a	419 a	58.5 a	1.75 a	3.50 a	5.25 a
DMSH	248	11.2	162	31.5	0.85	0.83	1.31

Medias con diferente letra dentro de columnas son estadísticamente diferentes (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ); T: tolerante; MT: moderadamente tolerante; MS: moderadamente susceptible; S: susceptible; HR: huevecillos en raíz; LAR: larvas en raíz; HS: huevecillos en sustrato; LS: larvas en sustrato; IAG: índice de agallas grandes; IAP: índice de agallas pequeñas; TA: total de agallas; DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

<sup>z</sup>All variables underwent square root transformation prior to the analyses of variance; original averages. Means with different letter within columns are statistically different (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ); T: tolerant; MT: moderately tolerant; MS: moderately susceptible; S: susceptible; ER: eggs in root; LAR: larvae in root; ES: eggs in substrate; LS: larvae in substrate; LGI: large gall index; SGI: small gall index; TG: total galls; HSD: honestly significant difference.

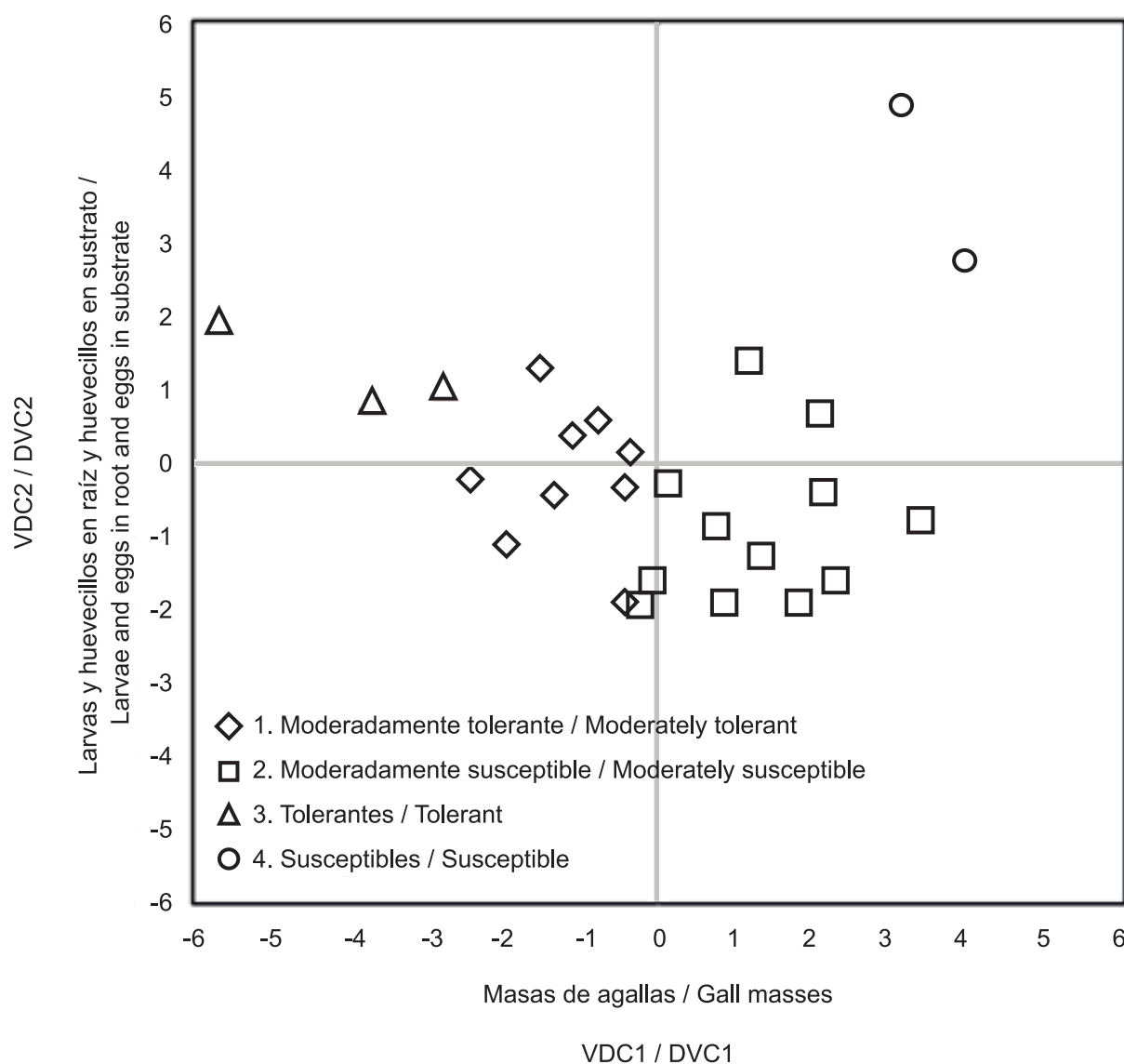


FIGURA 2. Representación gráfica de variables discriminantes de cinco grupos de colectas de tomate nativo bajo prueba de tolerancia a *Meloidogyne incognita*.

FIGURE 2. Graphical representation of discriminating variables of five collection groups of native tomato under a *Meloidogyne incognita* tolerance test.

**CUADRO 8.** Descripción de cuatro grupos de tomate nativo de México (*Solanum lycopersicon*), clasificadas de acuerdo con su tolerancia a *Meloidogyne incognita*.

**TABLE 8.** Description of four tomato (*Solanum lycopersicum*) clusters native to Mexico, classified by their tolerance to *Meloidogyne incognita*.

Grupo (frec.) / Cluster (freq.)	Núm. Col. Coll. num.	Genotipo / Genotype	Tipo fruto / Fruit type	Origen / Origin	Características / Characteristics
1 (8)	7	Totonaca-3	Arriñonado / Kidney-shaped	Puebla	Moderadamente tolerante. Tendencia a desarrollar pocas masas de agallas, a pesar de haber alta cantidad de inóculo en sustrato / Moderately tolerant. Tendency to develop few gall masses, despite having a high amount of inoculum in substrate
	9	Arriñonado 5	Arriñonado / Kidney-shaped	Mochitla, Hgo.	
	15	Cuautomate	Cereza / Cherry	Xilotepec, Pue.	
	16	Arriñonado-3	Arriñonado / Kidney-shaped	Necaxa, Pue.	
	18	Arriñonado-1	Arriñonado / Kidney-shaped	Huautla, Hgo.	
	21	Rojo	Cereza / Cherry	Huautla, Hgo.	
	22	Arriñonado-4	Cereza / Cherry	Mochitla, Hgo.	
	23	Cereza-4	Cereza / Cherry	Independ., Chis.	
2 (12)	24	Cereza 2	Cereza / Cherry	Comitán, Chis.	Moderadamente susceptible. Tendencia a desarrollar mayor cantidad de masas de agallas / Moderately susceptible. Tendency to develop a larger number of gall masses
	1	Cereza 1	Cereza / Cherry	Puebla	
	2	Cereza 1	Cereza / Cherry	Huautla, Hgo.	
	3	Cereza 2	Cereza / Cherry	Puebla	
	5	Totonaca 1	Arriñonado / Kidney-shaped	Puebla	
	8	Totonaca 4	Arriñonado / Kidney-shaped	Puebla	
	11	Cimarrona 2	Cereza / Cherry	Puebla	
	13	Cimarrona 4	Cereza / Cherry	Puebla	
	14	Cimarrona 5	Cereza / Cherry	Puebla	
	17	Arriñonado 2	Arriñonado / Kidney-shaped	Huautla, Hgo.	
3 (3)	19	Totonaca 5	Arriñonado / Kidney-shaped	Puebla	Tolerante. Bajo desarrollo de agallas, con presencia abundante de patógeno en sustrato / Tolerant. Low gall development, with abundant pathogen presence in substrate.
	25	Cereza 3	Cereza / Cherry	Martínez, Ver.	
	26	Palenque	Arriñonado / Kidney-shaped	Palenque, Chis.	
4 (2)	4	Cereza 4	Cereza / Cherry	Puebla	Susceptible. Alto desarrollo de agallas y huevecillos y larvas en raíz / Susceptible. High gall, egg and larva development in roots.
	6	Totonaca 2	Arriñonado / Kidney-shaped	Puebla	
	20	Arriñonado 6	Arriñonado / Kidney-shaped	Ixcatlan, Hgo.	
	10	Cimarrona 1	Cereza / Cherry	Puebla	
	12	Cimarrona 3	Cereza / Cherry	Puebla	

las colectas dentro de cada grupo, no mostraron diferencias estadísticas significativas; es decir, se tuvo comportamiento similar al interior de los grupos; lo anterior a pesar de los altos coeficientes de variación detectados.

La comparación de medias (Cuadro 7), corrobora el comportamiento de los grupos de colectas observado a través de Figura 2. En dicho cuadro, el grupo 3 tuvo la mayor tolerancia a *Meloidogyne incognita*, pues presentó menor desarrollo de masas de agallas ( $\alpha = 0.05$ ). En cuanto a la presencia de larvas y huevecillos raíces y en sustrato, los grupos 3, 1 y 2 fueron similares ( $\alpha = 0.05$ ); sin embargo, la menor presencia de agallas del grupo 3, las tolerantes, indica que deben poseer algún mecanismo de resistencia, ya que desarrollaron los menores índices de agallas a pesar de haber presencia del patógeno en el sustrato. Es necesario estudiar a fondo este fenómeno, ya que la producción de huevos en cultivares resistentes, aunque baja, puede tener importantes repercusiones epidemiológicas debido a la población residual del nematodo que queda en el suelo tras el cultivo. Esto es mayor en sistemas de producción intensiva, donde se incrementa el inóculo, lo que causa un proceso de adaptación progresiva o de selección de poblaciones virulentas. En situaciones de campo, la selección de poblaciones virulentas no es un proceso bien documentado, aunque la evidencia indirecta sugiere que este proceso podría ocurrir (Sorribas y Verdejo, 1999).

El grupo 4, de colectas susceptibles, mostró el mayor desarrollo del patógeno tanto en el sustrato como dentro de raíces, y presentó los mayores índices de agallas.

El grupo 2 (moderadamente susceptible) y el grupo 1 (moderadamente tolerante) presentaron desarrollo similar de huevecillos y larvas en sustrato que las tolerantes ( $\alpha = 0.05$ ). Sin embargo, tuvieron incremento significativo ( $\alpha = 0.05$ ) en los índices de agallas con respecto al grupo de colectas tolerantes.

En el Cuadro 8 se presentan las colectas y la descripción de grupos generados por los análisis anteriores. No se detectaron asociaciones entre orígenes o formas de fruto con respecto a la tolerancia a *Meloidogyne incognita*.

## CONCLUSIONES

*Meloidogyne incognita* modificó caracteres morfológicos al inicio del desarrollo de la planta, ya que promovió el crecimiento vegetativo. Sin embargo, al final del desarrollo, las raíces presentaron mayor infestación, lo que provocó la disminución del desarrollo vegetativo.

Los índices de agallas (pequeñas, grandes y totales) y la cantidad de huevecillos-larva en raíz y sustrato tuvieron diferencias dentro de los grupos identificados. No se detectó variación entre colectas dentro de grupos.

Se identificaron tres colectas tolerantes a *Meloidogyne incognita*, ocho moderadamente tolerantes, nueve moderadamente susceptibles y seis susceptibles.

growth. However, at the end of development, roots showed greater infestation, which caused a decrease in vegetative development.

Gall indices (small, large and total) and the number of egg-larvae in root and substrate had differences within the clusters identified. No variation was detected among collections within clusters.

Three collections tolerant to *Meloidogyne incognita*, eight moderately tolerant, nine moderately susceptible, and six susceptible were identified.

No associations were detected between collection origins or fruit shape and tolerance to nematode.

## End of English Version

No se identificaron relaciones entre orígenes de las colectas y forma de fruto con respecto a la tolerancia a *Meloidogyne incognita*.

## LITERATURA CITADA

- ANÓNIMO 1983. The cubic clustering criterion. SAS Technical Report A-108, Cary N. C.:SAS Institute, Inc. [http://support.sas.com/documentation/onlinedoc/v82/techreport\\_a108.pdf](http://support.sas.com/documentation/onlinedoc/v82/techreport_a108.pdf)
- ANÓNIMO 2012. Cierre de la producción agrícola por cultivo. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. <http://www.siap.gob.mx>.
- ANWAR, S. A.; MCKENRY, M. V. 2002. Penetration, development, and reproduction of *Meloidogyne arenaria* on two new grape rootstocks. Journal of Nematology 34(2):143-145. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2620547/pdf/143.pdf>
- BAI, Y.; LINDHOUT, P. 2007. Domestication and breeding of tomatoes: what have we gained and what can we gain in the future?. Annals of Botany 100(5): 1085-1094. doi:10.1093/aob/mcm150
- BARKER, K. R. 1985. Nematode extraction and bioassays, pp. 27-31. In: An Advanced Treatise on *Meloidogyne*. Volume II: Methodology. BARKER, K. R.; CARTER, C. C.; SASSER, J. N. (eds.). North Carolina State University, Raleigh, C.N., USA.
- BIRD, A. F. 1974. Plant response to root-knot nematode. Annual Review Phytopathology 12(1): 69-85. doi: 10.1146/annurev.py.12.090174.000441
- CARRILLO F, J. A.; GARCÍA E., R. S.; ALLENDE M., R.; MÁRQUEZ Z., I.; CRUZ O., J. E. 2000. Identificación y Distribución de Especies del Nematodo Nodulador (*Meloidogyne* spp.) en Hortalizas, en Sinaloa, México. Revista Mexicana de Fitopatología 18(2): 115-119. <http://www.socmexfito.org/>



- images/stories/revista\_smf/2000/002/61218208.pdf
- CEPEDA, S. M. 1996. Nematología Agrícola. Trillas. D.F., México. 303 p.
- EISENBACK, J. D.; HIRSCHMANN, H.; SASSER, J. N.; TRIANTAPHYLLOU, A. C. 1983. Guía para la Identificación de Cuatro Especies más Comunes del Nemátodo Agallador (*Meloidogyne* especies), con una Clave Pictórica. Traducido al español por SOSA-MOSS, C. International *Meloidogyne* Project. Raleigh, North Carolina, USA. 40p.
- GARCÍA, E. 1986. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen para Adaptarlos a las Condiciones de la República Mexicana. Universidad Nacional Autónoma de México. D. F., México. 215 p.
- HUANG C. S., 1985. Formation, anatomy and physiology of giant cells induced by root-knot nematodes, pp. 155-164. *In*: An Advanced Treatise on *Meloidogyne*. Vol. I. SASSER, J. N.; CARTER, C. C. (ed.). North Carolina State University. Raleigh, N.C., USA.
- HOTELLING, H. 1951. A Generalized t test and measure of Multivariate Dispersion, pp. 23-41. *In*: Proceedings of the Second Berkeley Symposium on Mathematical Statistics. NEYMAN, J. (ed.). University of California Press. Berkeley, USA. [http://projecteuclid.org/DPubS/Repository/1.0/Disseminate?handle=euclid.bsmsp/1200500217&view=body&content-type=pdf\\_1](http://projecteuclid.org/DPubS/Repository/1.0/Disseminate?handle=euclid.bsmsp/1200500217&view=body&content-type=pdf_1)
- JOHNSON, D. E. 2000. Métodos Multivariados Aplicados al Análisis de Datos. Internacional Thomson Editores. D. F. México. 556 p.
- KAMRAN, M.; ANWAR, S. A.; JAVED, N.; KHAN, S. A.; SAHI, G. H. 2010. Incidence of root-knot nematodes on tomato in Sargodha, Punjab, Pakistan. *Pakistan Journal of Nematology* 28(2): 253-262.
- NUEZ, F. 2001. El Cultivo del Tomate. Ediciones Mundi Prens. Madrid, Barcelona, México. 740 p.
- PIEDRA B., A.; DÍEZ-ROJO, M. A.; BELLO, A.; ROBERTSON, L.; LÓPEZ-PÉREZ, J. A.; ESCUER, M.; LEÓN, L. 2005. Comportamiento de *Meloidogyne incognita* sobre tomate y pimiento resistente en Uruguay. *Nematropica* 35(2):111-120. [http://digital.csic.es/bitstream/10261/14441/1/111\\_120.pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/14441/1/111_120.pdf)
- RIGGS R. D.; WINSTEAD, N. N. 1959. Studies on resistance in tomato to root-knot nematodes and on the occurrence of pathogenic biotypes. *Phytopathology* 49(11): 716-724.
- SOSA-MOSS, C. 1985. Report on the status of *Meloidogyne* research in México, Central America and the Caribbean Countries (Region 1), pp. 327-346. *In*: An advanced treatise on *Meloidogyne* Vol. 1. Biology and control. SASSER, N. J.; CARTER, C. C. (eds.). North Carolina State University. Raleigh, North Carolina, USA.
- SORRIBAS, F. J.; VERDEJO L., S. 1999. Capacidad parasitaria de *Meloidogyne* spp. en cultivares de tomate resistente. *Investigación Agraria: Producción Protección Vegetales* 14(1-2):237-247. [http://www.inia.es/gcontrec/pub/20sorribas\\_1048157051015.pdf](http://www.inia.es/gcontrec/pub/20sorribas_1048157051015.pdf)
- TAYLOR L.; SASSER, J. N. 1983. Biología, identificación y control de los nematodos de nódulo de la raíz. Universidad del Estado de Carolina del Norte-Agencia de EEUU para el Desarrollo Internacional. Carolina del Norte. USA. 111p. [http://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/pnaaq245.pdf](http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/pnaaq245.pdf)