

EVALUACIÓN DE TOMATE TIPO CEREZA (*Solanum spp.*) CONTRA TIZÓN TARDÍO *Phytophthora infestans* (MONT.) de Bary Y EL NEMATODO NODULADOR (*Meloidogyne spp.*) EN DOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN*

Ana María Gómez Duque¹, Jairo Castaño Zapata², Nelson Ceballos Aguirre³

¹ Ingeniera agrónoma, Universidad de Caldas.

² Profesor Titular del Departamento de Producción Agropecuaria, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Caldas.

³ Profesor Asistente del Departamento de Producción Agropecuaria, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Caldas.

* Autor para correspondencia: ana.gomez.duque@gmail.com

Recibido: ; aprobado:

RESUMEN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es la hortaliza de mayor importancia en el mundo. Esta especie generalmente es afectada por nemátodos fitoparásitos a los que se les atribuye pérdidas en el rendimiento del cultivo que oscilan entre un 25 y 50 %; de igual forma es afectado por patógenos como el cromista *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, reconocido en todo el mundo por los efectos devastadores que ha producido a lo largo de la historia y su difícil manejo. Se evaluó la resistencia de 15 introducciones de tomate silvestre tipo cereza contra el tizón tardío (*P. infestans*) y el nemátodo nodulador (*Meloidogyne spp.*) en dos sistemas de producción en la granja Montelindo de la Universidad de Caldas bajo un diseño experimental de parcelas divididas, donde las variables evaluadas fueron: severidad y tasa de desarrollo del tizón tardío, índice de daño causado por el nemátodo nodulador y estimación del rendimiento (t/ha). Los resultados permitieron observar que las introducciones presentaron susceptibilidad al tizón tardío y al nematodo nodulador; con severidades promedios para tizón tardío de 41,5 % y para *Meloidogyne spp.* de 8,3%; equivalente a un promedio de 30,4 agallas por planta. A pesar de presentar las sintomatologías de las enfermedades evaluadas, todas las introducciones llegaron a producción; entre las más destacadas se encontraron IAC 421, IAC 1621, IAC 391 e IAC 1688 con rendimientos de 14, 13, 12 y 12 t/ha, respectivamente.

Palabras clave: patógenos, diversidad, resistencia, rendimiento.

EVALUATING CHERRY TOMATO TYPE (*Solanum spp.*) AGAINST LATE BLIGHT TOMATO *Phytophthora infestans* (Mont.) De Bary AND ROOT-KNOT NEMATODE (*Meloidogyne spp.*) IN TWO PRODUCTION SYSTEMS

ABSTRACT

Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) is the most important vegetable in the world. This species is generally affected by parasitic nematodes which are responsible for crop yield losses ranging between 25% and 50%. Similarly, tomato is affected by pathogens such as the Chromista *Phytophthora infestans* (Mont.) De Bary, known worldwide by the devastating effects it has produced throughout history and its difficulty to control. The resistance of 15 introductions of wild cherry tomato against late blight (*P. infestans*) tomato and the root-knot nematode (*Meloidogyne spp.*) was evaluated in two production systems at the Montelindo farm of Universidad de Caldas using a split-plot experimental design in which the variables evaluated were: Late blight severity and rate of development, index of damage caused by the root-knot nematode and estimated yield (t/ha). The results showed that the introductions evaluated presented susceptibility to both, late blight and root-knot nematode, with average severity of 41,5% for late blight and 8,3% for *Meloidogyne spp.*, equivalent to an average of 30.4 galls per plant. Despite presenting the symptomatology of the diseases evaluated, all the introductions reached production being among the most prominent IAC 421, IAC 1621, IAC 391 and IAC 1688 with yields of 14, 13, 12 and 12 t/ha, respectively.

Key words:

* Proyecto de investigación adscrito al grupo de investigación GIPPA, Vicerrectoría de investigaciones y postgrados de la Universidad de Caldas.

INTRODUCCIÓN

Los tomates silvestres tipo cereza (*Solanum* spp.) tienen un potencial subexplotado debido a la falta de conocimiento sobre su valor y uso, ya que este germoplasma posee genes de resistencia a plagas y enfermedades como *Phytophthora infestans* y *Meloidogyne* spp; objeto de este estudio. En un alto porcentaje, estos se encuentran en algunas especies estrechamente emparentadas con el tomate actual como *Solanum lycopersicum* var. *Cerasiforme* (FAOSTAT, 2009); el cual constituye un enorme reservorio de variabilidad genética, por lo que su utilización ha permitido avances significativos en el mejoramiento genético del tomate cultivado, en especial en el incremento de la resistencia a enfermedades y plagas (Darwin *et al.*, 2003).

El nematodo nodulador (*Meloidogyne* spp.) es un patógeno importante no solo por su distribución cosmopolita y por los daños que ocasiona, sino también porque puede asociarse con otros microorganismos y crear complejos etiológicos agresivos que afectan considerablemente el cultivo del tomate y a las hortalizas en general (Roldi *et al.*, 2013). De igual forma *Phytophthora infestans* agente causante del tizón tardío es considerado también de gran importancia puesto que destruye gran parte de la producción de esta hortaliza, causando pérdidas a los agricultores y escasez en el mercado; su potencial de daño, como lo demuestran los ensayos de campo, oscila entre el 40 y el 70 % en función de la variedad y las condiciones ambientales (Tian *et al.*, 2015). Se calcula que los daños económicos producidos por *P. infestans* ascienden a 2700 millones de dólares en los países en desarrollo (Nuninger *et al.*, 1995).

De acuerdo con Herrera *et al.* (2015), Colombia, en los últimos años, se ha caracterizado por un buen ritmo de crecimiento como resultado

del mejoramiento de los circuitos comerciales y la tecnificación de los cultivos que se ve representada en la producción bajo invernadero, mecanismo de manejo integrado de plagas, implementación de buenas prácticas agrícolas, manejo de los estándares fitosanitarios para la exportación. El cultivo del tomate se está desarrollando cada día más, bajo sistemas controlados y semicontrolados, con el fin de evadir el riesgo de factores climáticos adversos; estos factores externos pueden afectar positiva o negativamente el rendimiento, la calidad del fruto, así como la susceptibilidad a insectos y a enfermedades.

Teniendo en cuenta la ventaja de la variabilidad genética inherente a las especies silvestres de tomate, y a la posibilidad de encontrar soluciones a muchos de los problemas patológicos que afronta hoy en día la especie cultivada, se planteó este trabajo con el objetivo de evaluar el comportamiento de 15 introducciones de tomate silvestre tipo cereza contra el tizón tardío *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary y el nematodo nodulador (*Meloidogyne* spp. Goeldi) en dos sistemas de producción.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

La investigación se llevó a cabo en la granja Montelindo de la Universidad de Caldas, situada en la vereda Santágueda, municipio de Palestina (Caldas), con una temperatura media de 22,8 °C y una altura de 1010 msnm, una precipitación promedio anual de 2200 mm y una humedad relativa de 76 %. Se evaluaron 15 accesiones provenientes del banco de germoplasma de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira y se utilizó como testigo comercial a Sweet million (Tabla 1).

Tabla 1. Descripción de los materiales de tomate tipo cereza evaluados

No.	Código	Procedencia	Descripción	No.	Código	Procedencia	Descripción
1	IAC 391*	Brasil	T. red cereza	9	LA2076 **	Bolivia	T. cereza
2	IAC 424	Brasil	T. cereja	10	LA 1480	Ecuador	T. cereza
3	IAC 426	Brasil	T. cereja Juliet	11	LA 2131	Ecuador	T. cereza
4	IAC 445	Brasil	T. cereja Jundiai	12	IAC 421	Brasil	T. cereza
5	IAC 1621	Brasil	T. cereja aleman	13	LA2640	Perú	T. cereza
6	IAC 1624	Brasil	T. cereja	14	LA 2692	Perú	T. cereza
7	IAC 1688	Brasil	T. "Lili" cereja	15	IAC 1686	Brasil	T. cereja
8	IAC412	Brasil	T. cereza				
	Testigo	Tomate cereza comercial Sweet million					

*IAC: Introducciones procedentes del Instituto Agronómico de Campinas, Campinas, Brasil. **LA: Introducciones procedentes del Tomato Genetics Resources Center (TGRC), Universidad de California- Davis.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental de parcelas divididas (sistemas de producción) con un arreglo de bloques completos al azar al interior de cada parcela (introducciones). Con cuatro repeticiones y un tamaño efectivo de la unidad experimental de cuatro plantas, sembradas a 1,50 m entre surcos y 0,50 m entre plantas para una densidad de población de 13333 plantas/ha.

Sistemas de producción evaluados

Semitecho + cobertura del suelo con plástico: el semitecho se realizó básicamente con una estructura en guadua, cubierta en plástico transparente tipo AgrocLEAR calibre 6 a una distancia entre surcos de 1,5 m y entre guadas para tutorado de 3 m. La cobertura de plástico utilizada fue de tipo blanco-negro calibre 1,2.

Libre exposición + cobertura del suelo con plástico: la estructura consistió de guadas para el tutorado de las plantas en el surco a una distancia de 3 m y una distancia entre surcos de 1,5 m, la

cobertura del suelo fue con plástico tipo blanco-negro calibre 1,2.

Establecimiento del experimento: los materiales fueron sembrados en bandejas de germinación flexibles de 72 lóculos con turba Sphagnum enriquecida. Cuando las plántulas tenían de tres a cuatro hojas verdaderas fueron trasplantadas a campo en suelo y en bolsas; la instalación de las bolsas se realizó con el fin de hacer la inoculación de *Meloidogyne* spp. sin exponer el suelo restante al fitonemátodo; la arquitectura que se definió para las plantas fue de tres ejes y se realizó un tutorado individual por cada tallo, la fertilización de las plantas se hizo de acuerdo al análisis de suelo respectivo y a la extracción del mismo por hectárea. Otras labores tales como la eliminación de chupones basales y el deshoje (desbajere) se realizaron al iniciar el llenado del tercer racimo de fruto.

Evaluación del tizón tardío: el inóculo de *P. infestans* se obtuvo de hojas de plantas de papa criolla (*Solanum phureja*), de la granja Tesorito ubicada a 2280 msnm con una temperatura

promedio de 17,4 °C y una humedad relativa de 78 %, las cuales presentaban sintomatología de tizón tardío. Las hojas de papa fueron colocadas en bolsas plásticas que contenían un algodón mojado durante 24 h con el fin de formar una cámara húmeda que favoreciera la esporulación del patógeno. Transcurrido este tiempo las bolsas fueron llevadas a la granja Montelindo donde las hojas fueron lavadas con agua destilada, obteniendo el inóculo necesario para realizar la inoculación en las plantas de tomate 30 días después del trasplante. Ocho días después de realizarse la inoculación, momento en que se empezó a presentarse la enfermedad, se inició la toma de las variables; para ello se tuvieron en cuenta las primeras cuatro hojas en las cuales se encontraron los primeros síntomas de la enfermedad, las que se evaluaron con intervalo de cuatro días, usando el diagrama de severidad elaborado por James *et al.* (1971). Para determinar la tasa de desarrollo (r) del tizón tardío se tomaron los valores promedios de severidad semanal en porcentaje y se aplicó la fórmula descrita por Castaño-Zapata (2002).

$$r = \frac{1}{\overline{T_1 - T_0}} \left(\log_e \overline{X_1} - \log_e \overline{X_0} \right)$$

Donde: r = tasa de desarrollo, T_1 = tiempo 2, T_0 = tiempo 1, X_1 = proporción de la enfermedad en tiempo 2, X_0 = proporción de la enfermedad en tiempo 1.

Evaluación del nemátodo nodulador: para obtener el inóculo de *Meloidogyne* spp. se tomaron plantas de tomate de un cultivo comercial infectadas por el nemátodo, a las cuales se les realizó la extracción de los huevos y los juveniles necesarios para realizar la inoculación. Esta se hizo con base al principio de flotación en azúcar descrito por Jenkins & Taylor (1964). Para la inoculación se tomó 1 mL de la concentración (5000 huevos y juveniles de *Meloidogyne* spp.) y se mezcló en 200

mL de agua, además para evitar la muerte de los nematodos después se colocó con la ayuda de una jeringa 50 mL de la solución en cada punto cardinal de cada plántula con una edad 60 días. Al finalizar el ciclo del cultivo se tomaron las raíces de las plantas para evaluar el daño causado por el nemátodo en base a la escala de evaluación elaborada por Castaño-Zapata (1989); donde: 1 = ausencia de agallas, 3 = 1-2 agallas por planta, 5 = 3-10 agallas por planta, 7 = 11-30 agallas por planta y 9 = más de 30 agallas por planta.

Evaluación del rendimiento: se tomaron las cosechas por cada unidad experimental de cada repetición para calcular el rendimiento en kg/planta, así al multiplicar por la respectiva densidad de población (13333 plantas/ha) se obtuvo el rendimiento (t/ha).

Selección de las mejores introducciones

Se utilizó como criterio de selección el índice de selección ponderado (IS_i). Este índice se construyó teniendo en cuenta las variables de severidad del tizón tardío, índice de daño del nemátodo nodulador y el rendimiento alcanzado por cada uno de los materiales (Ceballos & Vallejo, 2012):

$$IS_i = \sum [P_j (\overline{X}_{ij} - \overline{X}_{.j}) / S_j]$$

Donde: P_j = corresponde a la ponderación dada a cada variable, \overline{X}_{ij} = promedio de la introducción o genotipo 'i' para el carácter 'j', $\overline{X}_{.j}$ = promedio de la población para el carácter 'j', S_j = desviación estándar para el carácter 'j'.

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza y posteriormente a pruebas comparativas de promedio tipo Duncan por medio del programa PROC GLM de SAS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Severidad del tizón tardío

Se observó susceptibilidad, de todas las introducciones evaluadas, a la enfermedad con porcentajes de severidad por encima del 35 % (Tabla 2); mostrando en general una interacción altamente compatible hospedante-patógeno (Moreau *et al.*, 1998; Vega *et al.*, 2000); sin embargo, aunque en el presente estudio no se encontraron

materiales resistentes, en estudios realizados por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) entre 1989 y 1993 en el departamento de Caldas referentes al mejoramiento para resistencia al tizón tardío en tomate con la especie *S. hirsutum* y el material botánico *cerasiforme* se encontraron materiales con resistencia a *P. infestans* (Vallejo, 1999), evidenciando la presencia de genes de resistencia a esta enfermedad en especies silvestres de tomate.

Tabla 2. Pruebas comparativas Duncan para la severidad de tizón tardío en las 15 introducciones evaluadas

Introducción	Severidad promedio (%)
LA 2640	46,967 A
IAC 426	45,43 AB
IAC 1621	45,074 AC
IAC 445	44,83 AC
IAC 421	44,106 AD
IAC 412	43,81 AD
IAC 1688	43,658 AD
IAC 391	43,292 AD
IAC 1686	42,552 AD
LA 2692	41,517 BF
IAC1 624	40,813 CF
IAC 424	39,994 DG
LA 2076	38,508 FG
LA 2131	37,358 FG
LA 1480	37,233 FG
Sweet million	36,295 G

* Letras diferentes indican diferencias significativas ($P \leq 0,05$).

Respecto a los dos sistemas productivos se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) en el comportamiento de las introducciones, observándose que el desarrollo de la enfermedad fue más alto en el sistema de producción a libre exposición que bajo semitecho (Tabla 3); diferencia atribuida a las altas precipitaciones (2200 mm año) y a una humedad relativa en intervalos del 91 al 100 %, presentada durante el estudio; condiciones que en el sistema de producción a libre exposición no pueden ser

controladas, por lo que se genera un ambiente favorable para el desarrollo de la enfermedad, en contraste con el ambiente originado bajo el sistema de producción en semitecho. Castaño-Zapata (2002) afirma que *Phytophthora infestans* libera zoosporas dentro del agua sobre las superficies foliares, facilitando la dispersión del patógeno e incrementando la enfermedad, lo cual demuestra que el comportamiento de la enfermedad en diversos sistemas es diferencial.

Tabla 3. Comportamiento de las 15 introducciones de tomate silvestre en los dos sistemas de producción respecto a la severidad del tizón tardío

SEMITECHO		LIBRE EXPOSICIÓN	
INTRODUCCIÓN	SEVERIDAD (%)	INTRODUCCIÓN	SEVERIDAD (%)
LA 2076	30,5	Testigo	40
LA 2131	32,1	1480	42
LA 1480	32,4	424	43
Sweet million	32,9	1624	43
LA 2692	37,0	445	44
IAC 1686	37,3	412	44
IAC 424	37,3	2131	45
IAC 1624	38,3	2076	46
IAC 421	38,6	391	47
IAC 1688	39,4	2692	47
IAC 391	40,2	1686	48
IAC 1621	40,8	1688	48
IAC 412	43,3	2640	48
IAC 426	43,4	426	49
IAC 445	45,5	1621	49
LA 2640	45,6	421	49
Promedio	38,41	Promedio	45,75

Tasas de desarrollo del tizón tardío

Se encontró que las 15 introducciones y los dos sistemas de producción presentaron diferencias en cuanto a esta variable. En el sistema de producción en semitecho se encontraron tasas de desarrollo más bajas (0,098-0,278) con respecto a las observadas en el sistema a libre exposición (0,21-0,60) (Tabla 4), esto debido a que el sistema de producción en semitecho permite controlar la caída de la lluvia directamente sobre las plantas; condición adversa para el patógeno y favorable para el desarrollo de las plantas. En este sentido Tamayo & Jaramillo (2006) afirman que los esporangios del cromista son fácilmente diseminados por el viento, por el salpique del agua lluvia o de riego, lo cual es evidente en el sistema de producción a libre exposición creando

un ambiente óptimo para el desarrollo de la enfermedad con valores altos (Tabla 4).

En el comportamiento de las introducciones a la enfermedad se puede observar que LA2076, LA2131 y LA1624 tuvieron los valores más bajos de tasa de desarrollo con valores entre 0,098, 0,106 y 0,121, respectivamente (Tabla 4); estas, a su vez, presentaron los valores más bajos de tasas de desarrollo en el sistema de producción en semitecho; por otro lado, las introducciones IAC412, LA2131 y LA1480 presentaron los valores más bajos en el sistema a libre exposición con una tasa de desarrollo de 0,21 en las tres introducciones; destacándose la introducción LA2131, por tener la tasa de desarrollo más baja en ambos sistemas de producción (Tabla 4).

Tabla 4. Tasas de desarrollo del tizón tardío en las 15 introducciones de tomate silvestre bajo dos sistemas productivos

TASA DE DESARROLLO DEL TIZÓN TARDÍO		
INTRODUCCIÓN	SEMITECHO	LIBRE EXPOSICIÓN
LA 1480	0,13	0,21
IAC 1621	0,17	0,60
IAC 1624	0,12	0,29
IAC 1686	0,16	0,33
IAC 1688	0,14	0,51
LA 2076	0,10	0,38
LA 2131	0,11	0,21
LA 2640	0,23	0,53
LA 2692	0,16	0,37
IAC 391	0,18	0,37
IAC 412	0,28	0,21
IAC 421	0,17	0,40
IAC 424	0,15	0,38
IAC 426	0,18	0,32
IAC 445	0,17	0,36
Sweet million	0,15	0,28
Promedio	0,16	0,36

Rendimiento

Se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) en todas las introducciones con respecto al rendimiento. Las introducciones con mayor rendimiento con valores por encima del promedio (9,92 t/ha) se encontraron en IAC 421, IAC 1621, IAC 391 e IAC 1688 con rendimientos promedio de 14, 13, 12 y 12 t/ha, respectivamente (Figura 1), manteniendo su comportamiento en los dos sistemas productivos evaluados (Figura 2). Arango *et al.* (2012), al evaluar introducciones de tomate tipo cereza con un manejo técnico comercial, reportaron para las introducciones IAC 421, IAC 1621, IAC 391 e IAC 1688 rendimientos de 11,24, 11,9, 13,7, 13,6 t/ha,

siendo rendimientos similares a los encontrados en este estudio; sin embargo, la densidad de población evaluada por estos investigadores fue de 8333 plantas/ha en comparación con la densidad de población de este estudio de 13333 plantas/ha, lo cual indica una diferencia de 5000 plantas/ha que repercute en una reducción en la producción estimada de 7,2 t/ha; producción que sirve para calcular la reducción que puede causar el tizón tardío, expresado en términos de porcentaje, alcanzando una pérdida general en todas las introducciones de 72,58 % cuando son atacadas por esta enfermedad respecto a las manejadas técnicamente en las mismas densidades de población por este estudio.

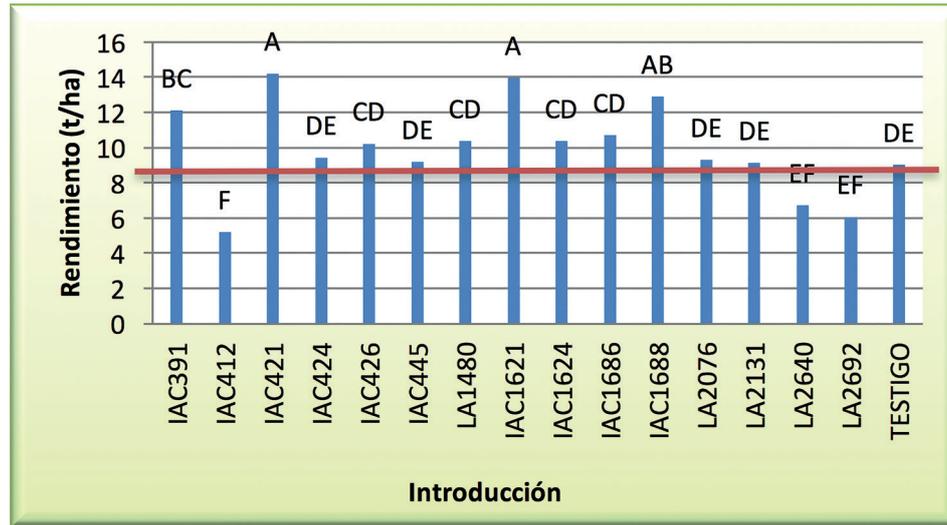


Figura 1. Rendimiento promedio de las 15 introducciones evaluadas.

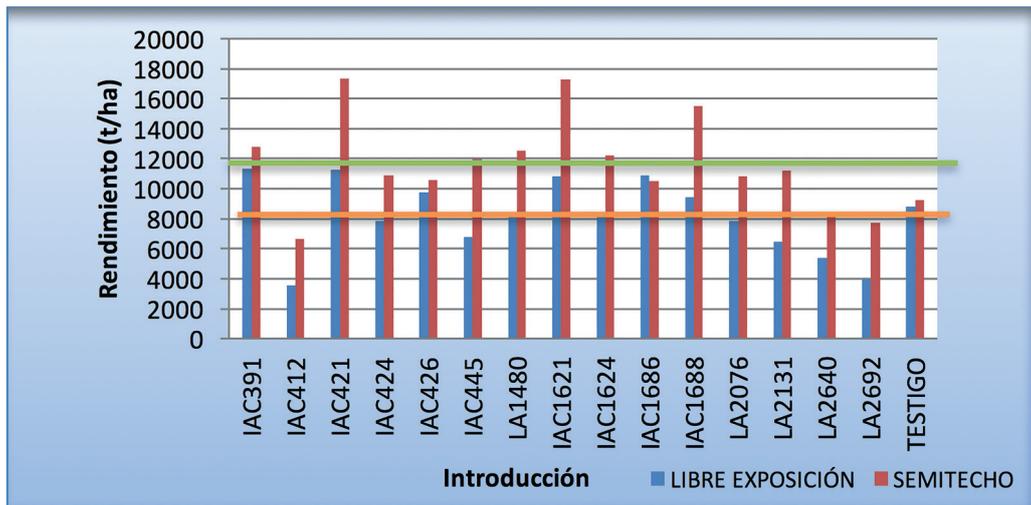


Figura 2. Rendimiento promedio de las introducciones evaluadas contra *Phytophthora infestans* en los dos sistemas de producción.

En un estudio realizado por Padua *et al.* (2002), en producción de tomate cereza bajo una densidad poblacional de 16000 plantas/ha, encontraron valores de 2060 g/planta obteniendo un rendimiento promedio de 32 t/ha; otros estudios reportan producciones de 1500 g/planta (Azevedo & Melo, 2001), siendo rendimientos igualmente superiores a los encontrados en este estudio, demostrando el efecto negativo del

tizón tardío sobre la producción al encontrar diferencias en rendimiento de 20,4 t/ha promedio en comparación con los estudios mencionados.

Un estudio realizado por Ceballos & Vallejo (2012), con las introducciones IAC 421, IAC 1621, IAC 391, IAC 1688, IAC 1624, LA 2076, LA 2131, LA 1480 e IAC 412 manejadas técnicamente en un sistema de producción a libre

exposición, permitió obtener rendimientos de 11,94, 13,7, 13,68, 16,14, 10,96, 11,41, 14,21, 11,4, 6,16 t/ha, respectivamente, siendo rendimientos más altos que los encontrados en este estudio, por lo que es de gran importancia realizar evaluaciones de diferentes introducciones y bancos de germoplasma en aras de buscar fuentes de resistencia a las razas más agresivas de *P. infestans*.

Igualmente se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) para rendimiento entre los dos sistemas de producción, observándose que el sistema de producción en semitecho tuvo un rendimiento promedio de 11,6 t/ha; rendimiento más alto en comparación con el sistema de producción a libre exposición con un promedio de 8 t/ha (Figura 2). Márquez & Cano (2005) encontraron, en condiciones ambientales controladas con producción orgánica de tomate tipo cereza, el mejor rendimiento en el tratamiento testigo (arena con fertirrigación) obteniendo 95 t/ha. Asimismo Márquez *et al.* (2006) encontraron un rendimiento similar al evaluar diferentes sustratos en la producción orgánica de tomate tipo cereza con un valor de 78 t/ha, siendo rendimientos superiores a los encontrados en este estudio para los dos sistemas de producción, lo cual demuestra el efecto positivo de los sistemas de producción protegidos sobre el rendimiento final del cultivo.

Variables asociadas a *Meloidogyne* spp.

Se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre las introducciones, en general se presentaron valores por encima de 7 en una escala de evaluación de 1 a 9 con un número de agallas superior a 25 (Tabla 5), lo que indica

susceptibilidad de los genotipos evaluados contra el nematodo nodulador. Estos resultados concuerdan con los reportados por Kamran *et al.* (2012), quienes evaluaron resistencia a *Meloidogyne incognita* con inoculaciones de 5000 huevos por planta en siete genotipos de tomate empleando una escala de evaluación de 0-5, encontrando que en promedio todos los genotipos se ubicaron en un escala de 4, concluyendo que ninguno de los genotipos tuvo resistencia al nematodo; contrario a los resultados encontrados por Yaghoobi *et al.* (1995), quienes realizaron un estudio en tomate silvestre (*S. peruvianum*) hallando resistencia al nematodo nodulador conferido por el gen de resistencia Mi-3.

Por su parte Rumbos *et al.* (2011), al evaluar 52 líneas de tomate comercial y porta injertos, encontraron que la formación de agallas fue en todos los casos significativa en comparación con el testigo; pero no hallaron diferencias entre los cultivares evaluados; por el contrario, las diferencias estadísticas detectadas en este estudio indicaron que 12 introducciones estuvieron por debajo del valor de la escala del testigo y al menos tres (IAC 426, IAC 1688 e IAC 424) presentaron diferencias significativas a la vez que los valores más bajos en la escala de evaluación de 7,4, 7,8 y 8 corresponden a un número de agallas de 25,2, 26,9, 27,2, respectivamente (Tabla 5). Jaiteh *et al.* (2012) reportaron en la evaluación de 33 genotipos la selección de los tomates Mongal T-11 y Beef Máster como altamente resistentes a *Meloidogyne* spp. al tener dentro de una escala de evaluación de 0-10 valores de 3,25 y 3,75, respectivamente.

Tabla 5. Pruebas comparativas de Duncan para las variables escala y número de agallas en evaluación de 15 introducciones de tomate silvestre contra el nematodo nodulador

INTRODUCCIÓN	ESCALA	No. de agallas	INTRODUCCIÓN	ESCALA	No. de agallas
LA 2692	8,9 A	34,167 A	LA 2640	8,3 ABC	30,348 AD
IAC 391	8,7 AB	33,261 AB	LA 2076	8,3 ABC	30,125 AD
Sweet million	8,7 AB	32,647 AC	IAC 445	8,0 ABC	28,333 AD
IAC 412	8,6 AB	32,391 AC	IAC 424	8,0 ABC	27,957 AD
IAC 1686	8,6 AB	31,895 AC	IAC 1624	7,9 BC	27,292 BD
IAC 421	8,5 AB	31,739 AC	IAC 1621	7,9 BC	26,957 BD
LA 1480	8,5 AB	31,545 AC	IAC 1688	7,8 BC	26,905 BD
LA 2131	8,3 ABC	30,458 AD	IAC 426	7,4 C	25,263 D

* Letras diferentes indican diferencias significativas ($P \leq 0,05$).

No se encontraron diferencias significativas entre los sistemas de producción, esto posiblemente se debe a que los nematodos son patógenos cuyo hábitat es el suelo y no son afectados por el manejo externo del clima (Tabla 6).

Tabla 6. Pruebas comparativas de Duncan para las variables escala y número de agallas en los dos sistemas de producción

Sistema de producción	Número de agallas	Prueba de Duncan	Escala	Prueba de Duncan
Libre exposición	30	A*	8,3	A
Semitecho	30	A	8,2	A

* Letras diferentes indican diferencias significativas ($P \leq 0,05$).

Se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) para rendimiento entre los dos sistemas de producción observándose que el sistema de producción en semitecho tuvo un rendimiento promedio de 10,8 t/ha, rendimiento más alto en comparación de las 7,7 t/ha del sistema de producción a libre exposición (Figura 3). Macua *et al.* (2006) evaluaron nueve variedades de tomate cereza bajo condiciones ambientales controladas con un rendimiento promedio de 85,78 t/ha; en otras variedades de tomate cereza se encontraron valores entre 66 t/ha y 103,68 t/ha. Uresti *et al.*

(2007) obtuvieron rendimientos de 30,1 t/ha con una densidad de 25650 plantas/ha en tomate tipo chonto en condiciones de hidroponía, siendo rendimientos en todos los casos más altos que los encontrados en este estudio; sin embargo estos estudios demuestran el beneficio de los sistemas de producción protegidos sobre el rendimiento tal como aquí se observa, ya que se obtuvieron rendimientos más altos en el sistema de producción en semitecho en comparación al sistema de producción a libre exposición.

Testa *et al.* (2014) consiguieron 166000 k/ha⁻¹, cultivando tomate híbrido tipo cereza bajo las condiciones de Italia, siendo un alto rendimiento comparado con el de este estudio. Según estos autores se han alcanzado estos rendimientos gracias al uso de riego por goteo, acolchado plástico (mulch), suelos arenosos y las condiciones climáticas de Sicilia (Italia) que

otorgan un crecimiento rápido del tomate tipo cereza. Para las condiciones de la región andina colombiana Herrera *et al.* (2015) obtuvieron producciones sobresalientes en condiciones semicontroladas con las introducciones IAC391, IAC1621 e IAC1688 con valores de 31160, 30665 y 28032 kg/ha⁻¹, respectivamente.

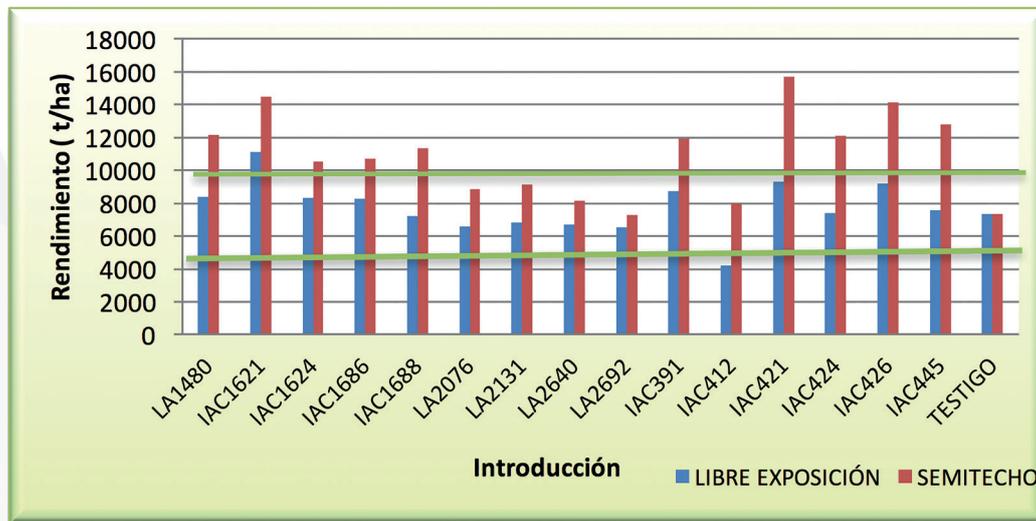


Figura 3. Rendimiento promedio de las 15 introducciones evaluadas contra *Meloidogyne* spp. en los dos sistemas de producción.

Se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) para todas las introducciones con respecto al rendimiento. Las introducciones que presentaron mayor rendimiento por encima del promedio de 9,37 t/ha fueron IAC 1621, IAC 421, IAC 426 e IAC 445 con rendimientos promedio de 12,7, 12,6, 11,9 y 10,3 t/ha, respectivamente (Figura 4).

De acuerdo al análisis realizado a las variables de escala de daño y rendimiento se puede observar que las introducciones IAC 1621 e IAC 426 presentaron las escalas de daño más bajas con 7,9 y 7,4, respectivamente, así como simultáneamente los rendimientos más altos con valores de 12,7 y 11,9; por su parte introducciones como IAC 412, LA 2692 y el testigo tuvieron promedios en

la escala de daño de 8,9, 8,7 y 8,6, valores muy altos en el presente estudio, mientras que los rendimientos más bajos fueron los valores de 6,2, 6,8 y 7,3 t/ha (Figura 4).

Lo anterior demuestra el efecto adverso que tiene el nematodo sobre el rendimiento puesto que puede causar en genotipos susceptibles pérdidas de rendimiento entre el 28 y el 68 % (Pakeerathan *et al.*, 2009). Otros autores han reportado pérdidas de rendimiento entre el 32 y 40 % (Anwar & McKenry, 2012). En un estudio realizado por Salazar & Guzmán (2013) se encontró que las plantas con 200 nematodos/100 g de suelo presentaban un peso de frutos por planta de 2,19 kg, en comparación con 0,93 kg en plantas con

600 nematodos/100 g de suelo, lo que confirma que al aumentar la población de nematodos se disminuye la producción por planta.

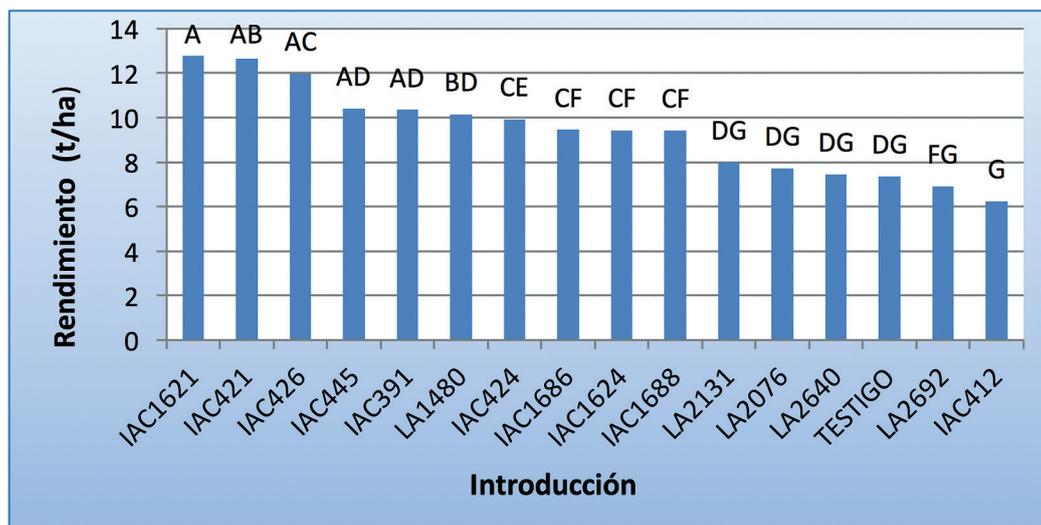


Figura 4. Prueba de promedio Duncan para la variable rendimiento en las 15 introducciones evaluadas contra *Meloidogyne* spp.

Índice de selección

En el sistema de producción bajo semitecho las introducciones incluidas dentro de la selección de materiales promisorios por rendimiento en presencia del tizón tardío y el nematodo nodulador fueron IAC 1621, IAC 1688, IAC 421, LA 1480 e IAC 426 con valores de 0,84, 0,64, 0,60, 0,52 y 0,46, respectivamente (Tabla 7). En contraste se encontraron las introducciones LA 2692, LA 2640 e IAC 412 con valores de -0,81, -0,90, -0,90; mientras que el testigo tuvo un valor de -0,28, lo cual no permite su inclusión

para esta selección, demostrando así que en el germoplasma evaluado existen materiales promisorios por encima de los que actualmente se encuentran en el mercado.

Las introducciones promisorias por su comportamiento en el sistema de producción a libre exposición fueron IAC 1624, IAC 424, Sweet milliuon, IAC 1621, IAC 1480 e IAC 426 con valores de 1,08, 0,68, 0,46, 0,33, 0,29 y 0,19, respectivamente (Tabla 7).

Tabla 7. Índice de selección en base al tizón tardío, nematodo nodulador y rendimiento de las 15 introducciones evaluadas en el sistema de producción en semitecho.

Introducción	Índice de selección (IS) en semitecho	Índice de selección (IS) a libre exposición
IAC 426	0,46	0,19
IAC 1688	0,64	-0,24
IAC 445	0,14	-0,14
IAC 1621	0,84	0,33
IAC 424	0,23	0,68
LA 1480	0,52	0,29
LA 2640	-0,90	-0,63
IAC 1686	-0,06	-0,21
IAC 412	-0,90	-1,08
IAC 421	0,60	0,00
LA 2131	0,03	0,05
Sweet million	-0,28	0,46
IAC 391	-0,17	0,09
LA 2076	0,01	0,07
LA 2692	-0,81	-0,93
IAC 1624	-0,35	1,08

Dos de las introducciones tuvieron un comportamiento ideal en los dos sistemas de producción evaluados (1621 y 1480), mostrando valores que les permitieron ser seleccionados como introducciones promisorias en ambos sistemas de producción. Por otro lado, las introducciones con los valores más bajos en índices de selección fueron LA 2640, LA 2692 e IAC 412; siendo precisamente estas mismas introducciones las de valores más bajos en el sistema de semitecho; es decir que la genética de estos materiales, independientemente del sistema de producción, permite el desarrollo de la enfermedad demostrando que son susceptibles y con un alto impacto negativo en el rendimiento final de los mismos.

CONCLUSIONES

Las 15 introducciones evaluadas mostraron susceptibilidad a *Phytophthora infestans* y *Meloidogyne* spp., mostrando una interacción altamente compatible entre hospedante y patógeno.

A pesar de presentar las sintomatologías propias de las enfermedades evaluadas, todas las introducciones llegaron a producción; entre las más destacadas se encontraron IAC 421, IAC 1621, IAC 391 e IAC 1688 con rendimientos de 14, 13, 12 y 12 t/ha, respectivamente; lo cual permite concluir que los materiales evaluados tienen un potencial genético que les garantiza

llegar a producción, aunque sean afectados por las dos enfermedades.

Las introducciones más promisorias por rendimiento en presencia del tizón tardío y el nematodo nodulador bajo el sistema de producción en semitecho fueron ICA 1621, IAC 1688, IAC 421, LA 1480 e IAC 426.

Las mejores introducciones de acuerdo con sus valores en el índice de selección para el sistema de producción a libre exposición fueron IAC 1624, IAC 424, Sweet million, IAC 1621, LA 1480 e IAC 426.

REFERENCIAS

- Anwar, S.A. & Mckenry, M.V. 2012. Incidence and population density of plant-parasitic nematodes infecting vegetable crops and associated yield losses. *Pakistan Journal of Phytopathology*. 44: 327-333.
- Arango, A., Ceballos, N. & Vallejo, F. 2012. Evaluación del contenido de antioxidantes en introducciones de tomate tipo cereza (*Solanum* spp.). *Revista Acta Agronómica*. 61 (3): 230-238.
- Azevedo, F.J.A. & Melo, A.M.T. 2001. Avaliacao de tomate silvestre do tipo cereja. *Horticultura Brasileira*. 19 (1): 32-48.
- Castaño- Zapata, J. 1989. Estandarización de la estimación de daños causados por hongos, bacterias y nematodos en fríjol. *Fitopatología Colombiana*. 13 (1): 9-19.
- Castaño-Zapata, J. 2002. Principios básicos de fitoepidemiología. Centro editorial Universidad de Caldas, Manizales.
- Ceballos, A.N. & Vallejo, F.A. 2012. Evaluación de la producción y calidad del fruto del tomate cereza *Solanum lycopersicum* var. *Cerasiforme*. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*. 62 (2): 6593-6604.
- Darwin, S.C., Knapp, S. & Peralta, L.E. 2003. Taxonomy of tomatoes in the Galápagos Islands: Native and introduced species of section *Solanum Lycopersicon* (Solanaceae). *Systematics and Biodiversity*. 1: 29-5.
- FAOSTAT. 2009. Agriculture statistics on crops. Consulta: febrero de 2013. <http://www.fao.org/docrep/003/X7650S/x7650s17.htm>.
- Gómez-Duque, A.M., Ceballos-Aguirre, N., Orozco-Castaño, F.J. & Parra, C.A. 2010. Efecto del sistema de producción en semitecho sobre el desarrollo, rendimiento y calidad del tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Agronomía*. 18 (2): 47-57.
- Herrera, H., Hurtado-Salazar, A. & Ceballos-Aguirre, N. 2015. Estudio técnico y económico del tomate tipo cereza élite (*Solanum lycopersicum* L. var. *Cerasiforme*) bajo condiciones semicontroladas. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 9 (2): 290-300.
- Jaiteh, F., Kwoseh, C. & Akromah, R. 2012. Evaluation of tomato genotypes for resistance to root-knot nematodes. National Agricultural Research Institute (NARI). *African Crop Science Journal*. 20: 41-49.
- James, W.C., Callbeck, L.C., Hodgson, W.A. & Shih, C.S. 1971. Evaluation of a method used to estimate loss in yield of potatoes caused by late blight. *Phytopathology*. 61: 1471-1476.
- Jenkins, W.R. & Taylor, D.P. 1967. *Plant nematology*. Reinhold Publ. Corp., New York.
- Kamran, M. et al. 2012. Field evaluation of tomato genotypes for resistance to *Meloidogyne incognita*. *Pakistan Journal of Zoology*. 44 (5): 1355-1359.
- Macua, J., Lahoz, J., Garnica, S., Calvillo, J. & Santos, A. 2006. Tomate de industria. *Navarra Agraria*. 154: 21-31.
- Márquez, C. & Cano, P. 2005. Producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. *Actas Portuguesas de Horticultura*. 5 (1): 219-224.
- Márquez, C., Cano, P., Moreno, A. & Rodríguez, N. 2006. Sustratos en la producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. *Revista Chapingo*. 12: 183-188.
- Moreau, P., Thoquet, P., Olivier, J., Laterrot, H. & Grimsley, N. 1998. Genetic mapping of Ph-2, a single locus controlling partial resistance to *Phytophthora infestans* in tomato. *Molecular Plant-Microbe Interactions Journal*. 11: 259-269.

- Nuninger, C., Steden, C. & Staud, T. 1995. The contribution of Metalaxyl-based fungicide mixtures to potato late blight control. pp. 122-129. En: Dowley, L., Bannon, E., Cooke, R. L., Keane, T. & O'sullivan, E. (eds.). *Phytophthora infestans*. Ediciones Boole Press Ltd., Dublin.
- Pádua, J.G., Gusmão, S.A.L., Gsmã, M.T. & Braz, L.T. 2002. Efeito da densidade de plantio e da cobertura do solo na produção de duas cultivares de tomateiro tipo "cereja". *Horticultura Brasileira*. 20 (2): 386-387.
- Pakeerathan K., Mikunthan, G., Tharsani, N. 2009. Effect of different animal manures on *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White) on tomato kandiah Pakeerathan. IDOSI Publications, Dubai.
- Roldi, M. et al. 2013. Use of organic amendments to control meloidogyne incognita on tomatoes. *Nematropica*. 43 (1): 49-55.
- Rumbos, C.I., Khahm, E.M. & Sabir, N. 2011. Response of local and commercial tomato cultivars and rootstocks to *Meloidogyne javanica* infestation. *Australian Journal of Crop Science*. 5 (11): 1388-1395.
- Salazar, W. & Guzmán, H.T. 2013. Efecto de poblaciones de *Meloidogyne* sp. en el desarrollo y rendimiento del tomate. *Agronomía Mesoamericana*. 24 (2): 419-426.
- Tamayo, M.P.J. & Jaramillo, N.E. 2006. Enfermedades del tomate, pimentón, ají y berenjena en Colombia. Guía para su diagnóstico y manejo. Manual Técnico CORPOICA, Centro de Investigación la Selva. CORPOICA, Bogotá.
- Testa, R., Trapani, A., Sgroi, F. & Tudisca, S. 2014. Economic sustainability of italian greenhouse cherry tomato. *Sustainability*. 6: 7967-7981.
- Tian, Y. et al. 2015. Population Structure of the Late Blight Pathogen *Phytophthora infestans* in a Potato Germplasm Nursery in Two Consecutive Years. *Phytopathology*. 105 (6): 771-777.
- Uresti, R.M.A. et al. 2007. Cultivo de tomate cereza en sistema hidropónico. *Revista Digital Universitaria*. 2 (3): 1-2.
- Vallejo, C.F.A. 1999. Mejoramiento genético y producción de tomate en Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, Palmira.
- Vega-Sánchez, M.E. et al. 2000. Host adaptation to potato and tomato within the US-1 clonal lineage of *Phytophthora infestans* in Uganda and Kenya. *Plant Pathology*. 49: 531-539.
- Yaghoobi, J., Kaloshian, I., Wen, Y. & Williamson, V.M. 1995. Mapping a new nematode resistance locus in *Lycopersicon peruvianum*. *Theoretical and Applied Genetics*. 91: 457- 464.