



“Por un Desarrollo
Agrario
Integral y
Sostenible”

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

Trabajo de Tesis

Comportamiento de seis genotipos de tomate (*Solanum* spp.) bajo inoculación de nematodo agallador *Meloidogyne* spp en condiciones de invernadero 2022

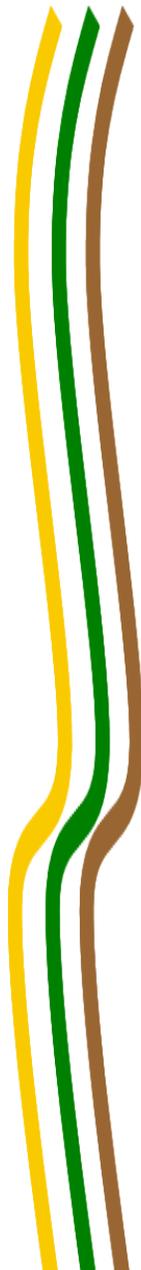
Autores

Br. Clarence Tobbiel Leiva Vidaurre
Br. Marlon Yamil Paz Narváez

Asesores

Ing. MSc. Jorge Antonio Gómez Martínez
Ing. MSc. Markelyn José Rodríguez Zamora

Managua, Nicaragua
Marzo, 2023





“Por un Desarrollo
Agrario
Integral y
Sostenible”

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

Trabajo de Tesis

Comportamiento de seis genotipos de tomate (*Solanum* spp.) bajo inoculación de nematodo agallador *Meloidogyne* spp en condiciones de invernadero 2022

Autores

Br. Clarence Tobbiel Leiva Vidaurre
Br. Marlon Yamil Paz Narváez

Asesores

Ing. MSc. Jorge Antonio Gómez Martínez
Ing. MSc. Markelyn José Rodríguez Zamora

*Presentado a la consideración del Honorable Comité
Evaluador como requisito final para optar al grado
de Ingeniero Agrónomo*

Managua, Nicaragua
Marzo, 2023

Hoja de aprobación del Comité Evaluador

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el Honorable Comité Evaluador designado por el Decanato de la Facultad de Agronomía como requisito final para optar al título profesional de:

Ingeniero Agrónomo

Miembros del Comité Evaluador

Presidente (MSc. Isidro Salinas
Mercenario)

Secretario (Ing. Luis Ruiz Obando)

Vocal (MSc. Heidy Guadalupe Corea Narvárez)

Lugar y Fecha: Managua Nicaragua 14 de marzo, 2023

DEDICATORIA

Dedico este logro alcanzado:

A **Dios** por permitirme la vida, la salud, por guiarme en el camino correcto, porque nunca me ha abandonado, gracias por haberme dado una excelente familia, por permitirme conocer excelentes profesores, porque has llenado mi corazón con la luz de tu espíritu dejando que cumpla esta meta.

A mi madre **Brenda Vidaurre Valdivia**, por el gran amor y la devoción que tienes a tus hijos, por el apoyo ilimitado e incondicional que siempre me has dado, por tener siempre la fortaleza de salir adelante sin importar los obstáculos, por haberme formado como un hombre de bien, y por ser la mujer que me dio la vida y me enseñó a vivirla.

A mi madre **María Inés Valdivia Gutiérrez** (q.e.p.d), por estar conmigo hasta donde nuestro creador lo permitió, gracias por tu paciencia, por enseñarme el camino de la vida, gracias por tus consejos, por el amor que me has dado y por tu apoyo incondicional en mi vida.

A mi hija **Dasha Kailani Leiva Sánchez**, eres mi orgullo y mi gran motivación, libras mi mente de todas las adversidades que se presentan, y me impulsas a cada día superarme.

“El día que yo tema, yo en ti confiaré”

Salmos 56: 3

Br. Clarence Tobbiel Leiva Vidaurre

DEDICATORIA

Ofrezco con todo mi corazón mi tesis al señor **Dios** que me dio la voluntad, la fuerza y la sabiduría para poder culminar mis estudios en la Universidad Nacional Agraria.

Br. Marlon Yamil Paz Narváez

AGRADECIMIENTO

Agradezco a **Dios**, por la vida, por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

A mis padres, **Brenda Vidaurre Valdivia** y **Cristóbal Antonio Leiva Castillo** por su apoyo incondicional en cada uno de mis logros y fracasos, por la confianza que depositaron en mí, gracias porque siempre han estado a mi lado.

A mis hermanos, **Raymond Arián Leiva Vidaurre**, **Malcom Darian Leiva Vidaurre** y **Axel Fernando Troche Rodríguez** gracias por estar a mi lado tanto en lo bueno como en lo malo, siempre han estado ahí para apoyarme y yo haré lo mismo por ustedes toda la vida.

A mis tías, **MSc. Lisseth Valdivia** y **Jazmina Leiva** por brindarme su apoyo infinito durante toda mi carrera universitaria, sin ustedes este logro no hubiese sido posible.

A mi compañera de vida **Alejandra Elix Sánchez Ruiz** por estar a mi lado en cada momento y motivarme a cumplir los retos que se me presentan en mí día a día.

A nuestros asesores, **Ing. MSc. Markelyn Rodríguez** y **Ing. MSc. Jorge Gómez** por dedicarnos su tiempo y apoyo desde los inicios de nuestra tesis de investigación, hasta la culminación de esta.

A mis amigos, **Sres. Hernán Beteta del Carmen** y **Pedro Blandón** por regalarme su compañía, confianza y consejos que me han ayudado a ser la persona de valores que soy hoy en día.

A todo el personal de Dirección De Docencia (**DIDOC**), de la Universidad Nacional Agraria.

Br. Clarence Tobbiel Leiva Vidaurre

AGRADECIMIENTO

Les agradezco a mi madre **Zenovia del Carmen Narváez Osorio** y a mi abuela **Sonia Idelma Osorio Moran**, porque me hicieron la persona que soy hoy; les debo muchos de mis logros, incluido este. Me formaron con reglas y algunas libertades, pero al final me empujaron constantemente a lograr mis sueños.

Br. Marlon Yamil Paz Narváez

ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iii
ÍNDICE DE CUADROS	vi
ÍNDICE DE ANEXOS	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo general	3
2.2 Objetivos específicos	3
III. MARCO DE REFERENCIA	4
3.1 Taxonomía del cultivo de tomate	4
3.2 Morfología del cultivo de tomate	4
3.2.1 Raíces de la planta	4
3.2.2 Tallo de la planta	5
3.2.3 Hojas de la planta	5
3.2.4 Flor de la planta	5
3.2.5 Fruto de la planta	5
3.2.6 Semilla del fruto	6
3.3 Fenología del cultivo de tomate	6
3.3.1 Establecimiento de la planta	6
3.3.2 Crecimiento vegetativo	6
3.3.3 Floración e inicio del cuaje de la fruta	6
3.3.4 Inicio del desarrollo de la fruta	7
3.3.5 Maduración de la fruta	7
3.4 Producción de tomate a nivel nacional	7
3.5 Generalidades de <i>Meloidogyne</i> spp	8
3.6 Descripción del patógeno	9

3.7	Importancia económica	9
3.8	Ciclo de vida de la especie	10
3.9	Reproducción en la especie	10
3.10	Especies del género <i>Meloidogyne</i> spp y caracterización	11
3.11	Síntomas de una planta infestada con <i>Meloidogyne</i> spp	12
3.12	Umbral de daño de <i>Meloidogyne</i> en tomate	13
3.13	Susceptibilidad de las plantas al género <i>Meloidogyne</i> spp	13
3.14	Capacidad reproductiva en nematología	14
3.15	Mecanismo de resistencia	14
3.16	Mecanismo de control	15
IV.	MATERIALES Y MÉTODOS	17
4.1	Ubicación del estudio	17
4.2	Diseño metodológico	17
4.3	Descripción del material genético	17
4.3.1	Armada	17
4.3.2	B.B	18
4.3.3	Sakata	18
4.3.4	Hawai	19
4.3.5	Tomate Gallina	20
4.3.6	Peto 98	21
4.4	Recolección de muestras de raíz	22
4.4.1	Extracción de nematodos	22
4.4.2	Identificación del nematodo <i>Meloidogyne</i>	23
4.4.3	Establecimiento en semillero en bandejas de polietileno	23
4.5	Proceso de inoculación en invernadero	24
4.6	Variables evaluadas	25
4.7	Análisis de datos	26
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
5.1	Número de agallas en genotipos de tomate a los 30 días después de la inoculación	27
5.2	Número de agallas en genotipos de tomate a los 45 días después de la inoculación	28
5.2.1	Índice de agallamiento	29

5.2.2 Factor de reproducción raíz	31
5.2.3 Longitud de la raíz	34
VI. CONCLUSIONES	35
VII. RECOMENDACIONES	36
VIII. LITERATURA CITADA	37
IX. ANEXOS	44

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
1.	Taxonomía del tomate	4
2.	Factores en estudio a evaluar	24
3.	Descripción de los tratamientos en estudio	24
4.	Escala de evaluación del índice de agallamiento de <i>Meloidogyne</i> spp	25
5.	Promedio de agallas a los 30 días después de la inoculación con concentraciones de 200,400 y 600 infectivos de <i>Meloidogyne</i> spp en genotipos de tomate <i>Solanum</i> spp	27
6.	Promedio agallas a los 45 días de la inoculación con <i>Meloidogyne</i> spp en los genotipos de tomate <i>Solanum</i> spp	28
7.	Índice de agallamiento a los 30 días de la inoculación de <i>Meloidogyne</i> spp en los genotipos de tomate <i>Solanum</i> spp	29
8.	Índice de agallamiento a los 45 días de la inoculación de <i>Meloidogyne</i> spp en los genotipos de tomate <i>Solanum</i> spp	30
9.	Factor de reproducción en la raíz a los 30 días de la inoculación de <i>Meloidogyne</i> spp en los genotipos de tomate <i>Solanum</i> spp	32
10.	Factor de reproducción en la raíz a los 45 días de la inoculación de <i>Meloidogyne</i> spp en los genotipos de tomate <i>Solanum</i> spp	33
11.	Longitud de la raíz en los genotipos de tomate <i>Solanum</i> spp bajo la inoculación de <i>Meloidogyne</i> spp	34

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO		PÁGINA
1.	Método centrifugación con solución azucarada en raíces infectadas para el aislamiento del nematodo <i>Meloidogyne</i> spp	44
2.	Procedimiento para la colecta de raíces con infestaciones por el nematodo <i>Meloidogyne</i> spp	44
3.	Medición de la longitud de las raíces de los genotipos evaluados	45
4.	Análisis de raíces con agallas de los genotipos afectados por el ataque de <i>Meloidogyne</i> spp	45
5.	Raíces con una reacción resistente a la inoculación de diferentes dosis del nematodo <i>Meloidogyne</i> spp	46
6.	Genotipos establecidos en maceteras de 10 cm listas para inoculación del nematodo <i>Meloidogyne</i> spp	46
7.	Herramientas utilizadas en el laboratorio de nematología para extracción del nematodo <i>Meloidogyne</i> spp	47

RESUMEN

La presente investigación tiene como finalidad evaluar el comportamiento de seis genotipos de tomate (*Solanum* spp.) bajo inoculación de nematodo agallador del género *Meloidogyne* spp en condiciones controladas. El experimento se realizó en el invernadero perteneciente al Departamento de Protección Agrícola y Forestal de la Universidad Nacional Agraria (DEPAF-UNA). Se estableció un Diseño Completo al Azar (DCA) bifactorial con 18 tratamientos y 10 repeticiones, cada tratamiento estuvo conformado por los genotipos de tomate (*Solanum* spp.); cuatro de los genotipos evaluados son silvestres de la familia *Solanum hirsutum* (Sakata, B.B, Armada y Hawai) todos procedentes del centro de vegetales de Asia (AVDRC) ubicado en Taiwán, un genotipo local (Tomate gallina o Tomatillo) y un híbrido (Peto 98) los genotipos fueron sometidos a diferentes concentraciones (200-400 y 600) de nematodos infectivos del género *Meloidogyne* spp. Los datos se recolectaron a los 30 y 45 días después de la inoculación, las variables evaluadas fueron: número de agallas, índice de agallamiento, longitud de la raíz y factor de reproducción en raíz. De acuerdo con el índice de Taylor y Sasser se obtuvo que los mejores comportamientos de resistencia lo presentaron Hawai mostrando resistencia mediana en todas las dosis, al igual que Peto 98 en dosis de 400 y B.B en dosis 200. Caso contrario el genotipo local, Armada y Sakata los cuales fueron susceptible en todas las dosis.

Palabras clave. resistencia, *Solanum hirsutum*, nematodos infectivos, genotipos

ABSTRACT

The purpose of this research is to evaluate the performance of six genotypes of tomato (*Solanum* spp.) under inoculation with a nematode of the genus *Meloidogyne* spp. under controlled conditions. The experiment was carried out in the greenhouse belonging to the Department of Agricultural and Forestry Protection of the National Agrarian University (DEPAF- UNA). A bifactorial Complete Randomized Design (CRD) was established with 18 treatments and 10 replications, each treatment consisted of tomato genotypes (*Solanum* spp.); four of the genotypes evaluated are wild genotypes of the *Solanum hirsutum* family (Sakata, B.B, Armada and Hawaii) all from the Asian vegetable center (AVDRC) located in Taiwan, one local genotype (Tomate gallina or Tomatillo) and one hybrid (Peto 98) the genotypes were subjected to different concentrations (200-400 and 600) of infective nematodes of the genus *Meloidogyne* spp. Data were collected 30 and 45 days after inoculation. The variables evaluated were number of galls, galling index, root length and root reproduction factor. According to the Taylor and Sasser index, it was found that the best resistance behaviors were presented by Hawaii, showing medium resistance at all doses, as well as Peto 98 at a dose of 400 and B.B at a dose of 200. On the contrary, the local genotype, Armada and Sakata were susceptible at all doses.

Keywords. resistance, *Solanum hirsutum*, infective nematodes, genotypes

I. INTRODUCCIÓN

“El tomate (*Solanum lycopersicum* L.), es originario de sur América, específicamente de la región andina (Perú, Bolivia y Ecuador). La zona de domesticación fue el sur de México y el norte de Guatemala donde existe el mayor grado varietal de la planta” (Jiménez y Balladares, 2019, p. 34).

El tomate se deriva de dos especies ancestrales silvestres, *Solanum pimpinellifolium* y *Solanum cerasiforme*. “Existen otras especies silvestres que son útiles para el fitomejoramiento, y en la obtención de resistencia a microorganismos” (Ranc *et al.*, 2008). “Las investigaciones recientes indican que, además de las especies *pimpinellifolium* y *cerasiforme*, existen las especies *S. galapaguense* y *S. cheesmaniae* las cuales se encuentran en las islas Galápagos” (Menda *et al.*, 2013).

El crecimiento y desarrollo de las plantas de tomate puede verse altamente afectado por el ataque de nematodos. Estos son organismos microscópicos presentes en el suelo que se alimentan de las raíces de la planta. (Vicente, 2007). Las variedades cultivadas son parientes de genotipos silvestres, los cuales continúan en un proceso de adaptación que le permite poder sobrevivir en condiciones hostiles, la diversidad genética de las plantas silvestres les confiere características únicas de resistencia a factores bióticos y abióticos (Instituto De ciencias Y Tecnologia Agricola [ICTA], 2019).

Para Agrios (2004) El daño mecánico directo causado por los nematodos durante la alimentación es mínimo. La mayor parte del daño parece ser causado por la salivación que ingresa al tejido de la planta durante la alimentación. Atraviesan la pared celular, inyectan saliva en el citoplasma, el proceso de alimentación permite que las células vegetales afectadas reaccionen no solo a la muerte o deterioro de la raíz, sino también a la formación de lesiones y la destrucción de los tejidos.

Al respecto, Anwar y McKenry, (2002) mencionan que un mecanismo de resistencia a nematodos se considera como excelente cuando existe 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.

González *et al.*, (2019) investigó la diversidad genética de una variedad silvestre de tomate (*Solanum Lycopersicum* var. *Cerasiforme*) en la región andina de Ecuador. Los resultados muestran que esta variedad silvestre tiene una gran diversidad genética y es una fuente importante de material genético para mejorar la producción de tomate.

Pease *et al.*, (2021) examinó la domesticación del tomate ha resultado en la pérdida de ciertos genes en comparación con sus parientes silvestres. Los autores destacan la importancia de comprender las diferencias genéticas entre el tomate domesticado y sus parientes silvestres para mejorar la producción de tomate en el futuro.

La intención principal de encontrar plantas que sirvan como portainjerto es reducir la sensibilidad a las enfermedades causadas por nematodos y hongos (fitopatógenos que se originan en el suelo) y, por lo tanto, aumentar la vitalidad de la planta. Así mismo encontrar plantas de tomate capaces de suprimir los daños ocasionados por los nematodos es trascendental para el mejoramiento genético de plantas (García y Lozoya, 2004).

En Nicaragua se carece de información relacionada a genotipos de tomates existentes con resistencia o tolerancia al nematodo del género *Meloidogyne* spp, en consecuencia, la presente investigación tiene como propósito determinar el comportamiento de cuatro genotipos silvestres de tomate (*Solanum* spp.) procedentes del centro de vegetales de Asia (WORLD VEGETABLE CENTER AVDRC) ubicado en Taiwán, un genotipo local (tomate gallina) y un híbrido peto 98 ante el nematodo agallador del género *Meloidogyne* spp, en condiciones de invernadero. Los genotipos más promisorios podrían utilizarse como portainjertos y por lo tanto como una estrategia de manejo en los sistemas hortícolas nicaragüenses.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Evaluar el comportamiento de seis genotipos de tomate (*Solanum* spp) bajo inoculación de nematodo del género *Meloidogyne* spp en condiciones de invernadero.

2.2 Objetivos específicos

Determinar de acuerdo con el índice de Taylor y Sasser la inmunidad, resistencia o susceptibilidad de los seis genotipos de tomate bajo inoculación de nematodo *Meloidogyne* spp a diferentes concentraciones.

Determinar la capacidad de reproducción de *Meloidogyne* spp en muestras de raíces de los genotipos evaluados para encontrar la resistencia o susceptibilidad.

III. MARCO DE REFERENCIA

El tomate es una planta herbácea anual, originaria de América central y del sur, se considera a México como centro de su domesticación. En la actualidad presenta una alta diversidad genética, existen numerosas variedades con diferente apariencia, color y sabor que se cultivan para consumo fresco e industrializado. Las variedades de tomates tienen la peculiaridad de que sus hábitos de crecimiento pueden ser determinados o inciertos, y sobre la base de esto, se cultivan de diferentes maneras, planificando su cosecha de acuerdo con los objetivos de los productores y las demandas del mercado (Maquinaria e insumos agrícola [Maqveca], 2020).

3.1 Taxonomía del cultivo de tomate

Zimmermann (2021), clasifica la taxonomía del cultivo de tomate en:

Cuadro 1. Taxonomía del tomate

Clasificación	Descripción
Origen	Sudamérica
Nombre común	Tomate
Clase	Dicotyledonea
Orden	Solanales
Familia	Solanáceas
Subfamilia	Solanoideae
Genero	<i>Solanum</i>
Especie	<i>Lycopersicum</i>
Nombre científico	<i>Solanum lycopersicum</i>

3.2 Morfología del cultivo de tomate

3.2.1 Raíces de la planta

El sistema radicular está formado por la raíz principal o primaria, la cual es corta y débil; las raíces secundarias, que son numerosas y potentes, y las raíces adventicias. Generalmente se extienden en un diámetro de 1.5 m y alcanza más de 0.5 m de profundidad, concentrándose más

del 70 % de raíces en los primeros 20 cm de la superficie. (Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI], s.f. p.99)

3.2.2 Tallo de la planta

“Posee un eje de 2-4 cm de grosor en su base, sobre el que se desarrollan las hojas, tallos secundarios e inflorescencias. Su estructura, desde fuera hacía dentro, consta de epidermis, de la que parten hacia el exterior los pelos glandulares” (Cifuentes, p. 19).

3.2.3 Hojas de la planta

“Las hojas, compuestas, se insertan sobre los diversos nudos, en forma alterna. El limbo se encuentra fraccionado en siete, nueve y hasta once foliolos” (Hernández, 2015, p. 5).

3.2.4 Flor de la planta

Rodríguez (1997) menciona que “las flores se presentan formando inflorescencias que pueden ser de cuatro tipos: racimo simple, cima unípara, cima bípara y cima múltipara; pudiendo llegar a tener hasta 50 flores por inflorescencia” (Coronel, 2017, p. 5).

3.2.5 Fruto de la planta

Según Hernández (2015):

El fruto es una baya de color amarillo, rosado o rojo debido a la presencia de licopina y carotina, en distintas y variables proporciones. Su forma puede ser redondeada, achatada o en forma de pera, y su superficie lisa o asurcada, siendo el tamaño muy variable según las variedades. (p. 6)

3.2.6 Semilla del fruto

“Las semillas son grisáceas, de forma oval, aplastada y de 3 a 5 mm de diámetro. La superficie está cubierta de vellosidades, pequeñas escamas y restos del tegumento externo. En un gramo hay de 300 a 350 semillas” (Hernández, 2015, p. 5).

3.3 Fenología del cultivo de tomate

La fenología está determinada por la variedad y las condiciones climatológicas de la zona donde se establece el cultivo. Las etapas se pueden dividir en cinco períodos: Establecimiento de la planta, Crecimiento vegetativo, Floración e inicio del cuaje de la fruta, Inicio del desarrollo de la fruta, Maduración de la fruta (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria [INTA], 2017, p. 18).

3.3.1 Establecimiento de la planta

“Constituye el período de formación inicial de las partes aéreas de la planta, desde el desarrollo del semillero y establecimiento de la planta en campo” (INTA, 2017, p. 18).

3.3.2 Crecimiento vegetativo

“Esta etapa se inicia a partir de los 21 días después de la germinación y dura entre 25 a 30 días antes de la floración. Requiere de mayores cantidades de nutrientes para satisfacer las necesidades de las hojas y ramas en crecimiento y expansión” (Espina, 2009, p. 17).

3.3.3 Floración e inicio del cuaje de la fruta

Según Mejía (2022):

Este período está comprendido desde el inicio de la floración hasta la finalización del ciclo de la planta. El cuaje tiene lugar cuando las flores fecundadas empiezan el proceso de su transformación en fruto. En esta etapa del cultivo se inician las aplicaciones de pesticidas para mantener la sanidad del fruto. (p. 24)

3.3.4 Inicio del desarrollo de la fruta

INTA (2017):

El cuaje de los frutos ocurre después de la polinización y son llevados a cabo por el viento y las abejas. En esta etapa, una vez que comienza su crecimiento, el fruto generalmente no se cae y no hay rastro de flores. El crecimiento de los frutos y la acumulación de materia seca tienen una tasa relativamente estable hasta que alcanzan la madurez de dos a tres grados de maduración. (p. 19)

3.3.5 Maduración de la fruta

Según Mejía (2022):

En esta etapa, una vez iniciado su crecimiento, el fruto no suele caerse y no presenta rastros de la flor. El crecimiento de la fruta y la acumulación de materia seca presentan un ritmo relativamente estable; Por lo general, la maduración ocurre aproximadamente entre 80 a 100 días después del trasplante, dependiendo del genotipo, la nutrición y las condiciones ambientales. (p. 24)

3.4 Producción de tomate a nivel nacional

“Las principales áreas de producción de tomate en Nicaragua, están ubicadas en los departamentos de Matagalpa y Jinotega, particularmente en el Valle de Sébaco y Tomatoya.

También se produce en las zonas de Estelí, Malacatoya, Tisma y Nandaime” (Olivas y Salgado, 2013, p. 1).

De acuerdo con el Plan de Producción, Consumo y Comercio, Ciclo Agrícola [PPCC] (2021) se registró que:

En el ciclo 2020/21 la producción fue de 1.9 millones de quintales (+4.4% respecto al ciclo anterior), lo que representa un abastecimiento de 2.06 veces el consumo aparente nacional de 924,000 quintales; con exportaciones de 11,840 quintales por US \$0.1 millones. (p. 45)

“Para ciclo 2021/22 se espera un crecimiento de 2.5%, con una producción de 1.95 millones de quintales, con un consumo aparente de 947,000 quintales y exportaciones de 11,800 quintales por US \$0.1 millones” (PPCC, 2021, p. 45).

3.5 Generalidades de *Meloidogyne* spp

Jiménez (2018) menciona que los nematodos, son organismos microscópicos segmentados, el género *Meloidogyne* spp. Ocupa uno de los primeros lugares en importancia, por la severidad de los daños y la reducción considerable en la producción, ya que se trata de una especie polífaga de amplia distribución y frecuencia. Suelen tener forma de hilo, con una longitud de 0.1-3 mm, con un diámetro 20 veces menor a su longitud. Están recubiertos de una cutícula protectora.

“*Meloidogyne* spp., es un nematodo polífago, capaz de parasitar 3000 especies de plantas, entre silvestres y cultivadas. Además de ello, debido al exitoso parasitismo y alta especialización desarrollada en su hospedante, así como su permanencia en el suelo, son de difícil erradicación” (Varas, 2014, p. 9).

Por su parte Verdejo *et al.*, (2019) mencionan que “las especies de *Meloidogyne* spp son los nematodos que principalmente afectan la funcionalidad de las raíces de tomate al interferir con la absorción de agua y el transporte de nutrientes” (párr. 1). Además, Agrios (2004) dice que

“los nematodos de este género provocan la aparición de células gigantes que forman agallas en las raíces dificultando la absorción de elementos del suelo, en algunas ocasiones los síntomas ocasionados por el patógeno los productores lo asocian a la deficiencia de nutrientes”.

3.6 Descripción del patógeno

“Los nematodos agalladores (*Meloidogyne* spp.) son endoparásitos sedentarios. Las cuatro especies más comunes (*M. arenaria*, *M. hapla*, *M. incognita* y *M. javanica*) el estadio juvenil (J2) es el más infectivo, estos migran a través de los tejidos corticales y establecen un sitio de alimentación permanente en los tejidos vasculares” (Bridge & Starr, 2007, p.14).

De acuerdo a Bridge y Starr (2007):

El sitio de alimentación de cada nematodo consta de varias células huésped que son inducidas por el nematodo para convertirse en células de alimentación especializadas y agrandadas llamadas células gigantes. Las células gigantes son células de transferencia vegetal con un citoplasma denso; son multinucleadas y tienen tasas elevadas de metabolismo. El J2 se desarrolla desde la típica etapa preparasitaria de forma vermiforme a una J2 avanzada hinchada con forma de salchicha, y muda a la tercera etapa (J3), cuarta etapa (J4) y finalmente a la hembra adulta que pasa por un período de rápido crecimiento para lograr la típica forma redondeada de pera. (p.14)

3.7 Importancia económica

Los nematodos son responsables de grandes pérdidas en cultivos de importancia económica. Salazar y Guzmán (2003) mencionaron que “estos patógenos generan pérdidas que superan los 100 millones de dólares en todo el mundo, 13 años después se estimó que “reducen entre 10% y 25 % la producción agrícola mundial, lo que presenta aproximadamente 135 000 millones de euros anuales” (Carrillo, 2016, p. 4). Por otro lado, Salazar y Guzmán (2003) mencionaron que

“en el cultivo de tomate, el género *Meloidogyne* spp tiene la capacidad para reducir el rendimiento hasta en un 68 %”.

3.8 Ciclo de vida de la especie

Hernández *et al.*, 2012):

El ciclo de vida de *Meloidogyne* spp. Comprende: huevo, cuatro estadios juveniles y el adulto. La duración de cada uno de estos estadios difiere en cada especie y depende de otros factores como la temperatura, la humedad y la planta hospedante. El estudio del ciclo de vida de estos nematodos y de su potencial reproductivo en buenos hospedantes bajo determinados parámetros ambientales, ofrece elementos para su manejo en campo. (parr. 3)

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 (Moreno *et al.*, 2013, p. 7).

De acuerdo con Cepeda (2016) “el número anual de generaciones de *M. incógnita* varía de acuerdo con la temperatura y humedad; bajo regiones de temperatura de 26 a 34 °C el ciclo vital puede cumplirse en cuatro o seis semanas”. Por otro lado, el autor menciona que “en este lapso el nematodo pasa por distintas etapas de desarrollo que están asociados también con su comportamiento infectivo” (Vera, 2014, p. 12).

3.9 Reproducción en la especie

“Las hembras tienen uno o dos ovarios, seguido por un oviducto y útero que termina en una vulva. La estructura reproductiva masculina es similar a la hembra, pero hay un testículo, vesícula seminal, y termina en una abertura común”. Por otro lado, argumenta que “en el macho

hay también un par de espículas copulatorias sobresalientes. La reproducción de los Fito nematodos es a través de huevos y puede ser sexual o partenogénica. Muchas especies carecen de ejemplares machos” (Varas, 2018, p. 10).

De acuerdo con Varas (2018) el género *Meloidogyne* spp, puede reproducirse de la siguiente forma:

a) Anfimixis: Donde el esperma de los machos fertiliza los ovocitos en las hembras y posteriormente se produce una meiosis. b) Partenogénesis meiótica facultativa: En ausencia de los machos, se lleva a cabo una meiosis en los ovocitos, con dos de sus núcleos, con una reducción de complemento cromosómico (el pronúcleo y el segundo cuerpo polar), posteriormente se fusionan con partenogénesis mitótica obligada: “En el que los machos no están involucrados y uno de los dos núcleos producidos durante la división mitótica inicial dentro del ovocito se deteriora y el otro se convierte en el precursor del embrión posterior. (p. 13)

3.10 Especies del género *Meloidogyne* spp y caracterización

Carneiro *et al.*, 2008; Jones *et al.*, 2013 argumentan que:

Los nematodos agalladores, *Meloidogyne* spp., son el grupo más agresivo, dañino y económicamente más importante de los nematodos fitoparásitos que afectan a los principales cultivos en todo el mundo. Actualmente, hay más de 90 especies descritas, de las cuales tres especies tropicales (*M. javanica*, *M. incognita*, *M. arenaria*) y una especie de clima templado 10 (*M. hapla*) representan hasta el 95% de los nematodos agalladores en suelos cultivados, algunas de las cuales tienen varias razas que parasitan más de 2000 especies de plantas susceptibles, y en general representan una amenaza real para la agricultura en todo el mundo (Rodríguez, 2020, p. 9).

“Los nemátodos pueden producir síntomas característicos en el sistema radicular como agallas, lesiones necróticas en las raíces, proliferación de raíces secundarias y pobre crecimiento radicular, lo que se traduce en clorosis y en general plantas débiles con pobre crecimiento” (Talavera, 2003, p. 4).

Por otro lado, “los síntomas como amarillamiento, enanismo y reducción del crecimiento de las plantas son manifestaciones de la destrucción de raíces por los nematodos, que impiden la absorción de nutrientes y alteran su metabolismo” (Guzmán *et al.*; 2020, p. 195).

3.11 Síntomas de una planta infestada con *Meloidogyne* spp

“La respuesta de las plantas a la infección de *Meloidogyne* spp. ocurre en dos niveles. El primero afecta toda la planta con una reducción en la fotosíntesis, el crecimiento y el rendimiento”. El mismo autor menciona que “la segunda forma ocurre a nivel celular en raíces y modifica su morfología y fisiología, y las transforma en células gigantes multinucleadas, altamente especializadas, llamados sincitias o células de transferencia” (Arias *et al.*, 2009, p. 2).

“Los síntomas característicos de este nematodo provocan en la planta diferentes grados de achaparramiento, falta de vigor, deficiencias nutricionales y marchitamiento bajo condiciones de estrés” (Salazar y Guzmán, 2013, p. 420).

Talavera *et al.*, (2014) mencionan que “los nematodos formadores de agallas del género *Meloidogyne* spp constituyen el principal problema fitonematológico de este cultivo” “por su rápida expansión, alta frecuencia de infección y su capacidad para reducir su rendimiento hasta en un 68%”. “Los daños causados no solo reducen el número de frutos del cultivo, sino que también afecta la calidad de estos impactando de esta forma en el rendimiento económica de la cosecha” (Salazar y Guzmán, 2013).

3.12 Umbral de daño de *Meloidogyne* en tomate

Según Talavera *et al.*, (2014) una vez que la parcela está infestada por nematodos el esfuerzo de control debe ir dirigido a disminuir el número de la población por debajo del umbral de daño. En el caso del tomate frente a *Meloidogyne* el límite tolerante es de 2 individuos, mientras que el umbral de daño es de 20 individuos por cada 100 g de suelo.

3.13 Susceptibilidad de las plantas al género *Meloidogyne* spp

Guzmán *et al.*, (2020):

“La respuesta de las plantas al daño ocasionado por los nematodos está estrechamente relacionada con la alimentación del parásito, la cual, se puede clasificar así: Las partes afectadas de las plantas los nematodos pueden parasitar el sistema radical o los tejidos aéreos. El hábitat alimenticio de los nematodos puede parasitar las células interna o externamente, clasificándose como: parásitos externos de tejidos y parásitos internos de tejidos. Cuando los nematodos se alimentan de las células de la planta pueden ocasionarle varios tipos de daño o modificación como destrucción de células, formación de sincitias y desarrollo de células gigantes”. (p.193-194)

Anwar y McKenry (2002) argumentan que “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”.

Moreno *et al.*, (2014):

“alternativas como el gen de resistencia Mi ha permitido desarrollar portainjertos y variedades tolerantes, ya que bloquea la reproducción de nematodos de manera significativa”. Los mismos autores confirman que “gracias a una respuesta de

hipersensibilidad que genera una necrosis de las células localizadas en la zona de infección que impide el crecimiento de las larvas, lo que causa su muerte. Su eficacia disminuye con temperaturas superiores a 27 °C”. (p. 6)

3.14 Capacidad reproductiva en nematología

“*Meloidogyne* spp posee un elevado número de hospederos, una amplia distribución geográfica y su variabilidad patogénica limita la disponibilidad de genotipos resistentes, y a la vez que produce interacciones sinérgicas con otros patógenos del suelo” (Urbina y Matus, 2009, p.12). “poseen la capacidad de parasitar más de 3.000 especies de plantas de cultivos, que incluyen cultivos extensivos, hortícolas y frutales, afectando gravemente la producción y causando pérdidas económicas anuales” (Kauffmamm, 2014, p. 2).

3.15 Mecanismo de resistencia

“En el caso del tomate (*Solanum Lycopersicum* L.), existen variedades portadoras del gen Mi-1, un gen dominante que confiere resistencia a las especies de nematodos *M. arenaria*, *M. incógnita*” (Rodríguez, 2013, p. 223).

De acuerdo con Arias *et al.*, (2009):

La resistencia a *Meloidogyne* spp. Se encontró originalmente en formas silvestres de *Lycopersicon peruvianum* L., y utilizando las técnicas del cultivo de embriones, se obtuvo un híbrido entre *L. peruvianum* L. y el tomate comercial *S. esculentum* L. Watts en 1947 retro cruzó este híbrido con algunas líneas de *S. esculentum* y obtuvo un clon resistente a *Meloidogyne* (Taylor 1975). Estos estudios mostraron que la resistencia estaba determinada por un gen simple denominado “Mi”, localizado en el cromosoma 6. Todos los genotipos de tomate disponibles actualmente en el mercado derivan de la progenie de aquella única planta F1. (p. 2)

3.16 Mecanismo de control

“El control cultural es una práctica extendida, la rotación de cultivos tiene valor limitado para nematodos y el control químico es difícil debido a que los nematicidas suelen ser muy costosos y peligrosos para el ambiente y la salud humana” (Arias *et al.*, 2009). Entre las principales prácticas culturales para el manejo de nematodos fitoparásitos se encuentran: rotación de cultivos, barbecho, cultivos trampa, cultivos de cobertura, enmiendas orgánicas, biofumigación, genotipos resistentes e injertos.

Cultivos trampa: “Consiste en sembrar un hospedante susceptible, dejarlo crecer por un período de tiempo y eliminarlo antes de la formación de las masas de huevos, es importante eliminar y destruir todas las raíces antes de la siembra del siguiente cultivo” (Lezaun, 2016, p. 49).

Rotación de cultivo “En el caso específico de nematodos fitoparásitos, la rotación de cultivos es uno de los métodos de combate más efectivos que se recomiendan para reducir las pérdidas debidas a estos patógenos, en especial en los países tropicales” (Chaves y Araya, 2012).

Cultivos de cobertura: “Siembra de un cultivo no comercial, que a un nivel dado de madurez se incorpora al suelo como residuos verdes secos” (Castillo *et al.*, 2020, p. 9).

Enmiendas de suelo: “Las enmiendas orgánicas como el compost y residuos de cultivos pueden controlar patógenos del suelo. Con su adición aumentan considerablemente los enemigos naturales de los nematodos parásitos, lo cual reduce los niveles de infestación en forma satisfactoria” (Lezaun, 2016, p. 51).

Control químico: De acuerdo con Talavera *et al.*, (2014):

Aunque sigue siendo el método de control nematológico más utilizado, la mayoría de los productos químicos utilizados como nematicidas, fumigantes o no fumigantes

(granulares y emulsiones) presentan riesgos medioambientales, por lo que su uso debe ser limitado siempre que existan alternativas. Por otra parte, la rentabilidad de la cosecha no permite, en muchos casos, un retorno suficiente de la inversión para justificar el uso de nematicida. (p. 10)

Genotipos resistentes: “El uso de genotipos resistentes ofrece ventajas para el manejo de nematodos en los sistemas de rotación ya que permite la inclusión de cultivos de mayor importancia económica para los productores. También se pueden usar como patrones de resistentes en cultivos anuales y perennes susceptibles para el control de patógenos del suelo” (Lezaun, 2016, p. 54).

Control biológico: Pizarro (2022):

En el mercado hay varias alternativas de control, y la decisión de usar nematicidas se toma en terreno, complementada con un análisis del problema. No obstante, empiezan a surgir opciones biológicas para su control. “un hongo, que se está usando en diferentes países y para diferentes cultivos, que es *Paecilomyces lilacinus*, que ha demostrado ser eficaz en algunos ensayos para el control de *Meloidogyne* spp.” y también hay otras opciones en control biológico, la mayoría de los métodos de control no logran la eliminación de los nematodos, solo el control temporariamente (parr. 4).

Solarización: De acuerdo con Talavera *et al.*, (2014):

La solarización es un método de desinfección del suelo que permite suprimir la mayoría de las especies de nemátodos patógenos eficazmente. La técnica básica consiste en poner una o dos láminas de plástico transparente de un espesor entre 25 y 100 μm (100-400 galgas), encima del suelo abundantemente regado, durante el verano y aproximadamente durante seis a ocho semanas. Para que sea efectiva contra los nemátodos es preciso alcanzar temperaturas en torno a 45°C y a profundidades entre 10 y 40 cm. (p. 15)

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Ubicación del estudio

El estudio se realizó en los meses de julio a septiembre del año 2022, en dos etapas, la primera etapa fue en el laboratorio de nematología, y la segunda etapa en el invernadero del Departamento de Protección Agrícola y Forestal (DPAF) ambos pertenecientes a la Universidad Nacional Agraria (UNA) ubicada en el km 12 ½ carretera norte, con las coordenadas 12°08´ de latitud Norte y 86°10´ de longitud Oeste, una altitud de 56 msnm.

4.2 Diseño metodológico

El ensayo se estableció en un Diseño Completo al Azar en (DCA) bifactorial, con 18 tratamientos y 10 repeticiones.

4.3 Descripción del material genético

4.3.1 Armada

Este genotipo tiene tolerancia a enfermedades como *Fusarium oxysporum*, *Verticillium dahliae*, *Rilstonia saltcearum*, *Pseudomonas* spp y también mostró comportamiento contra el ataque de nematodos del género *Meloidogyne* spp (Bumgarner y Kleinhenz, 2013; TAKII SEED, 2015; López y Matey, 2022).

Moreno y Montero (2019) evaluaron el comportamiento agronómico y productivo de cuatro materiales genéticos de tomate Armada + Milano, Shelter + Milano, JR Special y Milán (Administración), para determinar la idoneidad según su productividad y rentabilidad. Encontraron que, el tratamiento con mayor cantidad de frutos fue el Shelter + Milán con un total de 2978 unidades, pero el tratamiento que más frutos primero tuvo fue el Milán con 17%, solo un 2% más que Armada + Milán y JR Special.

4.3.2 B.B

Este genotipo además de presentar tolerancia a las mismas enfermedades y nematodos que Armada, también tiene tolerancia a *Fusarium radialis* y *Pyrenochaeta lycopersici*, (Bumgarner y Kleinhenz, 2013; López y Matey, 2022).

Chávez y Lacayo (2020) evaluaron el efecto del injerto interespecífico en dos genotipos híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum L.*) y dos de chile dulce (*Capsicum annuum L.*) en dos ambientes, campo abierto (CA) y cultivo protegido, En los patrones fueron “BB” y “Armada” (*Solanum habrochaites*) y los genotipos híbridos utilizados como púas fueron “JR” y “El Cinco” (*S. lycopersicum*); en el chile los patrones fueron chile “Habanero” (*Capsicum chinense Jacq.*) y “Baccatum” (*Capsicum baccatum L.*) y los genotipos híbridos utilizados como púas fueron “Natalie” y “4212” (*C. annuum*) cómo resultado en el experimento de tomate en CA la variable sobrevivencia presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) a partir de 22 ddt hasta el final de la evaluación a 68 ddt; los tratamientos El Cinco/ B.B y JR/ B.B presentaron ambos el valor más alto con un 33% de sobrevivencia a 68 ddt; ninguno de los tratamientos sin injertar o auto injertado del genotipo JR presentó sobrevivencia después de 36 ddt. El rendimiento de JR y El Cinco fue mayor al ser injertados sobre el patrón BB al comparar con otros tratamientos, este comportamiento fue atribuido a una mayor cantidad de frutos.

4.3.3 Sakata

Este genotipo proporciona una buena resistencia y dentro de las características que destacan su potencial como contenedor de injerto es que tiene resistencia a hongos como *Fusarium oxysporum F. spp. Lycopersici*, *Passalora fulva*, *Stemphylium solani*, *Verticillium dahliae*, virus del mosaico virus del mosaico del tomate, (virus del rizo de la hoja amarilla del tomate) y el nematodo *Meloidogyne incognita* (López y Matey, 2022).

Calín-Sánchez *et al.*, (2011) este estudio investigó el efecto de la temperatura de crecimiento y el almacenamiento posterior a la cosecha en la calidad y la actividad antioxidante de los tomates

"Sakata" y otras variedades de tomate Cherry. Encontró que los tomates Cherry "Sakata" cultivados a temperaturas más altas tenían una mayor actividad antioxidante y contenidos más altos de compuestos fenólicos y carotenoides en comparación con los tomates cultivados a temperaturas más bajas. Además, los tomates almacenados durante 7 días a 10 °C tuvieron una calidad aceptable y no mostraron signos de daño por frío.

Sánchez-García *et al.*, (2011) Este estudio investigó el efecto de diferentes variedades de tomate Cherry, incluyendo el tomate "Sakata", y la densidad de siembra en la producción y calidad del fruto. encontró que los tomates Cherry "Sakata" producidos a una densidad de plantación de 3,3 plantas/m² tuvieron mayor rendimiento y peso de frutos en comparación con los producidos a una densidad de plantación de 4,4 plantas/m². Sin embargo, la calidad del fruto (como la firmeza, el contenido de sólidos solubles y el pH) no se vio afectada por la densidad de plantación.

Dorais *et al.*, (2008) Este estudio investigó el efecto de diferentes niveles de salinidad del suelo y diferentes regímenes de riego en la calidad del tomate "Sakata" y otras variedades de tomate, encontró que los tomates Cherry "Sakata" cultivados en condiciones de alta salinidad del suelo y bajo riego tuvieron un contenido más alto de sólidos solubles y un pH más bajo en comparación con los cultivados en condiciones de baja salinidad y alto riego. Además, los tomates cultivados en condiciones de alta salinidad del suelo tuvieron un contenido más bajo de vitamina C y una menor calidad de fruto en general.

4.3.4 Hawai

Este genotipo se conoce como la "piña hawaiana" y es un tomate de carne beefsteak americano. Muy bajo contenido en ácidos y muy pocas semillas, se siembra en la agricultura ecológica. La carne es de color amarillo-naranja, el sabor es dulce. El fruto puede alcanzar hasta 500 g. Muy adecuado para el peso y la siembra de invernaderos (MAGIC GARDEN SEEDS, 2017; López y Matey, 2022).

Kopsell & Kopsell (2002) encontró que los tomates de piel amarilla, como el tomate piña (Hawai), contienen más licopeno que los tomates rojos, lo que podría ofrecer beneficios para la salud.

Giovannucci *et al.*, (2002) encontró que el consumo de tomate piña (Hawai) y otro tomate y productos de tomate (como el jugo de tomate) se relacionó con una reducción del riesgo de ciertos tipos de cáncer, incluyendo el cáncer de próstata.

Gajendragadkar *et al.*, (2015) encontró que el consumo de tomate piña (Hawai), junto con otras frutas y verduras, se relacionó con una reducción de la presión arterial en personas con hipertensión.

4.3.5 Tomate Gallina

Esta especie es típica de la región andina al sur de América se ha adaptado al clima y a los suelos secos y es un pariente silvestre de los tomates domésticos. (*Solanum lycopersicum*) tiene un gen de resistencia a la salinidad del suelo, enfermedad, sequía y temperaturas extremas (López y Matey, 2022). Al respecto agricultores (2019) menciona que “Esta especie tiene una importancia particular porque si bien no produce frutos comestibles, no está domesticada y no se usa comercialmente, se utiliza como fuente de alelos por su alta resistencia a distintos tipos de estrés tanto bióticos como abióticos, [sic]” (López y Matey, 2022, p. 7).

Hernández *et al.*, (2012), muestra que la composición química y las propiedades antioxidantes de los frutos del tomate gallina silvestre de Nicaragua. Los resultados mostraron que los frutos contenían niveles significativos de compuestos fenólicos y carotenoides, lo que sugiere que puede tener propiedades antioxidantes y beneficios para la salud.

Morales *et al.*, (2020), investigaron el potencial del Tomate gallina silvestre de Nicaragua como fuente de compuestos bioactivos con actividad anticancerígena. Los resultados mostraron que los extractos de la planta exhibieron actividad anti proliferativa y citotóxica en células

cancerosas humanas, lo que sugiere que la planta puede tener potencial como fuente de compuestos con actividad anticancerígena.

Guzmán & Peralta (2012) evaluaron la variabilidad genética de diferentes poblaciones de tomate gallina silvestre de Nicaragua utilizando marcadores moleculares. Los resultados mostraron una alta variabilidad genética dentro de las poblaciones, lo que sugiere que la planta podría tener un potencial importante para la mejora genética.

4.3.6 Peto 98

“Es una variedad susceptible a (*R solanacearum*) y susceptible a geminivirus, su fruto es de color rojo intenso, cuando no es afectada por geminivirus presenta una vida vigorosa para genotipos en tutores” (INTA, 2015; López y Matey, 2022, p. 7).

Sánchez *et al.*, (2005) evaluaron cuatro variedades de tomate industrial con el fin de determinar el nivel de rendimiento y la tolerancia al complejo mosca blanca (*Bemisia tabaci*) Los resultados revelaron que en relación con los adultos de mosca blanca/pta, las variedades Padano e INTA-L7 registraron las mayores poblaciones de mosca blanca durante el ciclo del cultivo, mientras que las variedades Peto-98 y UC-82 presentaron las menores poblaciones. En cuanto a la incidencia de virosis, la variedad INTA-L7 demostró el menor porcentaje, seguida de Padano, mientras que Peto-98 y UC-82 tuvieron una mayor incidencia. Respecto a la severidad de la virosis, INTA-L7 fue la variedad que presentó el menor impacto, seguida de UC-82, mientras que Padano y Peto-98 fueron las variedades más gravemente afectadas. En términos de rendimientos, Peto-98 e INTA-L7 fueron las variedades que produjeron los mejores resultados. Un análisis económico y de dominancia se realizó para cada una de las variedades, siendo que Padano y UC-82 resultaron dominados por Peto-98 e INTA-L7. Por lo tanto, se puede concluir que la variedad Peto-98 resultó ser la más rentable en comparación con las demás variedades.

4.4 Recolección de muestras de raíz

Se recolectaron muestras de nematodos en plantas de tomate infestadas en la comunidad La China perteneciente al municipio Ciudad Darío ubicado en el departamento Matagalpa y en el municipio Belén ubicado en el departamento Rivas. La metodología de recolección fue la siguiente:

- Los muestreos se realizaron en áreas en donde las plantas presentaban síntomas como: amarillamiento, pérdida de vigor y marchitamiento.
- Cuando las plantas presentaban los síntomas descritos anteriormente, se procedió a coleccionar muestras de las raíces con agallas afectadas por la presencia de nematodos, el procedimiento se hizo a una profundidad de 20 a 30 cm mediante el uso de un palín.
- Si al momento de coleccionar la muestra de raíces se observaba la presencia de agallas, se extraía la planta, se cortaba el tallo a 5 cm de la parte superior de la raíz, las muestras recolectadas se depositaron en un termo con suelo húmedo para brindar condiciones de microclima y luego ser trasladadas al laboratorio de nematología de la Universidad Nacional Agraria.

4.4.1 Extracción de nematodos

El proceso de extracción de nematodos se llevó a cabo en el laboratorio de nematología de la Universidad Nacional Agraria. En este laboratorio, las muestras de raíces se lavaron con abundante agua e hipoclorito de sodio al 0.5 % por cada 100 ml de agua con el fin de eliminar partículas de suelo y otras impurezas no deseadas.

Para realizar el proceso de extracción de nematodos, se pesaron 10 gramos de raíces, las cuales fueron cortadas en pequeños trozos con la ayuda de tijeras. Las raíces cortadas se colocaron en un beaker, al cual se agregó una solución de hipoclorito de sodio al 0.5 % hasta cubrirlas por

completo. Las muestras se agitaron durante cinco minutos, pasado los cinco minutos se procedió a filtrar las muestras en tamiz de 70 y 45 micras, se enjuago la parte interior del tamiz de 45 micras con una pipeta, donde quedaron retenidos los nematodos. Se colectaron las muestras mediante el uso de un beaker, y con una pipeta se extrajeron pequeñas muestras de 2 ml para depositarlas en una cuadrícula graduada para la identificación y conteo de los individuos de *M. incognita*.

4.4.2 Identificación del nematodo *Meloidogyne*

Una vez extraídos los nematodos, se deben observar en el microscopio para determinar las características morfológicas. *Meloidogyne* spp se caracteriza por tener un estilo robusto, una placa estilar distintiva y un patrón de corte en forma de cruz en la región anterior. Para esto se utilizó el libro de clave taxonómica de Jacobs.

4.4.3 Establecimiento en semillero en bandejas de polietileno

Para el establecimiento de los genotipos procedentes del AVRDC se utilizaron semillas suministradas por el proyecto semillas de esperanza que lidera la Universidad de Wisconsin EE. UU; con respecto a las semillas del híbrido Peto 98 y del Genotipo local ambas fueron suministradas por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

Las semillas de cada genotipo se establecieron en bandejas de polietileno de 128 alveolos, una bandeja por cada genotipo. Para la siembra de cada genotipo se utilizó una mezcla de sustrato orgánico (humus de lombriz) y un sustrato comercial (kekkyla garden) en proporción (1:1) y se esterilizó en auto clave a 121°C por 30 min. A los 22 días de germinadas las semillas se trasplantaron a macetas de 10 cm de altura y 5 cm de ancho.

4.5 Proceso de inoculación en invernadero

La inoculación se hizo a los 30 y 45 días después de la germinación en el invernadero del DPAF, las concentraciones utilizadas fueron introducidas mediante una pipeta, con relaciones de 3.5 ml para inocular 200 individuos, 5 ml para inocular 400 individuos y 8 ml para inocular 600 individuos de *Meloidogyne* spp en cada genotipo evaluado (Cuadro 2 y 3).

Cuadro 2. Factores en estudio a evaluar

Factor A: Genotipos	Factor B: Concentraciones de nematodos infectivos (<i>Meloidogyne</i> spp)
a ₁ : Armada	b ₁ : 200
a ₂ : B.B	b ₂ : 400
a ₃ : Hawai	b ₃ : 600
a ₄ : Peto 98	
a ₅ : Sakata	
a ₆ : Genotipo local	

Cuadro 3. Descripción de los tratamientos realizados en el invernadero DPAF-UNA

Tratamientos	Descripción
T1	Armada + concentración de 200 Infectivos
T2	B.B + concentración de 200 Infectivos
T3	Hawai + concentración de 200 Infectivos
T4	Peto 98 + concentración de 200 Infectivos
T5	Sakata + concentración de 200 Infectivos
T6	Genotipo local + concentración de 200 Infectivos
T7	Armada + concentración de 400 Infectivos
T8	B.B + concentración de 400 Infectivos
T9	Hawai + concentración de 400 Infectivos
T10	Peto 98 + concentración de 400 Infectivos
T11	Sakata + concentración de 400 Infectivos
T12	Genotipo local + concentración de 400 Infectivos
T13	Armada + concentración de 600 Infectivos
T14	B.B + concentración de 600 Infectivos

T15	Hawai + concentración de 600 Infecciosos
T16	Peto 98 + concentración de 600 Infecciosos
T17	Sakata + concentración de 600 Infecciosos
T18	Genotipo local + concentración de 600 Infecciosos

4.6 Variables evaluadas

Número de agallas: Davies y Danchin (2011) mencionan que la evaluación del número de agallas es una técnica útil para evaluar la severidad de la infección por nematodos del género *Meloidogyne* en los cultivos, ya que las agallas son una respuesta de la planta al nematodo y su número se correlaciona con el daño causado a la raíz y la disminución de la producción.

Índice de agallamiento: Esta variable se determinó de acuerdo con la escala propuesta por Taylor y Sasser. (1978) según el número de agallas que posea la raíz de cada genotipo evaluado a diferentes concentraciones (200,400 y 600 infectivos), se le otorgará una reacción para encontrar si presentan inmunidad, resistencia o susceptibilidad (Cuadro 4).

Cuadro 4. Escala de evaluación del índice de agallamiento de *Meloidogyne* spp

Índice de agallamiento	Cantidad de agallas	Reacción
0	0	Inmune
1	1-2	Resistente
2	3-10	Medianamente resistente
3	11-30	Medianamente susceptible
4	31-100	Susceptible
5	>100	Altamente susceptible

Fuente: Taylor y Sasser (1978)

Longitud de la raíz: Se midieron cada una de las raíces de las plantas evaluadas con una regla graduada de 30 cm, el proceso se realizó desde el borde superior hasta el borde inferior de las raíces, esto nos ayudó a determinar si hubo diferencias estadísticas y por lo tanto afectaciones en el desarrollo y crecimiento de las raíces en cada uno de los genotipos evaluados en el invernadero.

Factor de reproducción en muestras de raíz: El factor de reproducción se determina tomando en cuenta la cantidad de veces que se reproduce la población inicial de nematodos en cada hospedero, en este estudio esta variable se realizó con la fórmula establecida por Coto *et al.*, (2020), la cual consiste en:

$$\mathbf{FR} \text{ (Factor de Reproducción)} = \mathbf{PF} / \mathbf{PI}$$

Donde:

PF= Población final.

PI= Población inicial de los nematodos inoculados.

Si **FR = 0**, la planta hospedera es considerada como resistente, si **FR <1** la planta es considerada como moderadamente resistente y si **FR >1** se considera un hospedero susceptible al nematodo.

4.7 Análisis de datos

Se utilizó mediante el software estadístico Infostat (versión estudiantil), de igual manera la prueba de Tukey al 95% de confianza demostró que los genotipos evaluados presentaron diferencias significativas en la variable longitud de raíz.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Número de agallas en genotipos de tomate a los 30 días después de la inoculación

En general los genotipos presentaron entre 1 y 197 agallas en las tres concentraciones (200, 400 y 600 nematodos), el genotipo Peto 98 en todas las concentraciones presento los menores números de agallas con un promedio de 1 agalla, seguido de B.B el cual obtuvo un promedio de 1 agalla en las dosis de 200 y 400 infectivos. El genotipo Sakata inoculado con dosis de 600 infectivos presento las mayores presencias de agallas con un promedio de 197 por planta (Cuadro 5).

Cuadro 5. Promedio de agallas a los 30 días después de la inoculación con concentraciones de 200,400 y 600 infectivos de *Meloidogyne* spp en genotipos de tomate *Solanum* spp

Tratamientos	Concentraciones		
	200	400	600
Peto 98	1	1	1
B.B	1	11	26
Hawai	2	9	12
Genotipo local	2	24	116
Armada	5	31	85
Sakata	8	65	197

En un estudio llevado a cabo por Moreno *et al.*, (2013) se evaluaron tres cultivares de tomate (Cereza, Totonaca y Arriñonado), encontrándose una baja incidencia de agallas con una media total de 1.58 por planta. Por otro lado, Cardona *et al.*, (2016) registraron que, al someter quince genotipos de tomate Cherry a la presencia de *Meloidogyne* spp, no se encontraron diferencias estadísticas en cuanto a la cantidad de agallas, con un promedio de 30 agallas por planta.

5.2 Número de agallas en genotipos de tomate a los 45 días después de la inoculación

En general todos los genotipos silvestres presentaron altas cantidades de agallamiento, siendo el genotipo con mayor afectación Sakata con un promedio de 69 agallas en la dosis de 400 infectivos. Los genotipos Peto 98 y B.B inoculadas con 200 infectivos de *Meloidogyne* spp obtuvieron el menor número de agallas con 2 y 3 agallas por planta respectivamente, se determinó que a los 45 días de la inoculación existe diferencia significativa con respecto al número de agallas en las tres concentraciones evaluadas, (Cuadro 6).

Cuadro 6. Promedio de agallas a los 45 días de la inoculación con *Meloidogyne* spp en los genotipos de tomate *Solanum* spp

Tratamientos	Concentraciones		
	200	400	600
Peto 98	2	6	30
B.B	3	35	31
Hawái	6	3	8
Genotipo local	12	12	47
Armada	19	35	21
Sakata	30	69	47

Sikora y Fernández, (2005) mencionan que los nematodos agalladores afectan una amplia gama de cultivos en el trópico siendo la especie más importante *Meloidogyne incognita*, *M. arenaria*, *M. javanica* y *M. hapla* y causando agallas que afectan sistema radicular y obstaculizando paso de nutriente lo cual se encontró en este estudio en el cual el mayor número de índice de agallamiento se encontró con el genotipo Sakata con 69 agallas a una concentración de 400 juveniles por planta. Shurtleff y Averre 2000 refiere que los genotipos silvestres presentan diversos grados de susceptibilidad presentándose unas plantas más susceptibles que otras, resultados con similitud a este estudio.

5.2.1 Índice de agallamiento

Todos los genotipos mostraron índices de agallamiento en el rango de resistencia a altamente susceptible siendo a los 30 días el genotipo Peto 98 resistente en concentraciones de 200, 400 y 600 nematodos, B.B presento resistencia solo en dosis de 200 infectivos mismo comportamiento que Hawaii, por otra parte, los genotipos Armada y Sakata resultaron ser susceptible, en las concentraciones de 400 y 600 nematodos (Cuadro 7).

Cuadro 7. Índice de agallamiento a los 30 días de la inoculación de *Meloidogyne* spp en los genotipos de tomate *Solanum* spp

Tratamientos	Concentraciones	Cantidad de agallas	Índice de agallamiento	Reacción
Peto 98	200	1	1	Resistente
	400	1	1	Resistente
	600	1	1	Resistente
B.B	200	1	1	Resistente
	400	11	3	M. Susceptible
	600	26	3	M. Susceptible
Hawai	200	2	1	Resistente
	400	9	2	M. Resistente
	600	12	3	M. Susceptible
Genotipo local	200	2	1	Resistente
	400	24	3	M. Susceptible
	600	116	5	A. Susceptible
Armada	200	5	2	M. Resistente
	400	31	4	Susceptible
	600	85	4	Susceptible
Sakata	200	8	2	M. Resistente
	400	65	4	Susceptible
	600	197	5	A. Susceptible

Un estudio realizado por Navarro *et al.*, (2008) en condiciones semi controladas determinó que el índice de agallamiento en los híbridos de tomate FA 572- Katherine y LT-M12 frente a M. incógnita inoculadas con 1,5 juveniles mostraron índice de agallamiento de 2,5 en todos los híbridos evaluados siendo similar en este estudio en el cual se encontraron índices de agallamiento de 1 a 5. Por otra parte, el factor de reproducción determinó que estas plantas son

muy susceptibles, esto indica que el índice de agallas no está relacionado con la población final de nematodos.

A los 45 días de inoculación, ninguno de los genotipos en estudio mostró ser inmune ante las diferentes concentraciones de nematodos, sin embargo, se observó que el genotipo Peto 98 resulto ser el único que mostro resistencia en concentración de 200 nematodos presentando un índice de agallamiento de 1, el genotipo Hawai fue el único que registro mediana resistencia en todas las dosis, Caso contrario en los genotipos Armada y Sakata presentando susceptibilidad en las concentraciones de 400 y 600 nematodos respectivamente (Cuadro 8).

Cuadro 8. Índice de agallamiento a los 45 días de la inoculación de *Meloidogyne* spp en los genotipos de tomate *Solanum* spp

Tratamientos	Concentraciones	Cantidad de agallas	Índice de agallamiento	Reacción
Peto 98	200	2	1	Resistente
	400	6	2	M. Resistente
	600	30	3	M. Susceptible
B.B	200	3	2	M. Resistente
	400	35	4	Susceptible
	600	31	4	Susceptible
Hawai	200	6	2	M. Resistente
	400	3	2	M. Resistente
	600	8	2	M. Resistente
Genotipo local	200	12	3	M. Susceptible
	400	12	3	M. Susceptible
	600	47	4	Susceptible
Armada	200	19	3	M. Susceptible
	400	35	4	Susceptible
	600	21	3	M. Susceptible
Sakata	200	30	3	M. Susceptible
	400	69	4	Susceptible
	600	47	4	Susceptible

González *et al.*, (2010), realizó una investigación cuyo objetivo era comprobar “la respuesta de genotipos de solanáceas frente a *Meloidogyne incógnita*”. Todos Los híbridos registraron un comportamiento inmune de *S. torvum*, *D. stramonium* y *S. erianthum* frente a *M. incógnita*,

mientras que *S. mammosum* no presento índices de agallamiento con alta resistencia, por lo tanto, existe evidencia similar al comportamiento del genotipo Hawai. Cardona *et al.*, (2016), basada en “la respuesta de quince introducciones de tomate Cherry (*Solanum lycopersicum* L.) Al nematodo agallador (*Meloidogyne* spp.) se determinó que todas las introducciones evaluadas fueron altamente susceptibles al nematodo agallador, siendo similar en este estudio con los genotipos Genotipo local, Sakata, Armada y B.B.

Castro *et al.*, (2021) obtuvo menor nivel de agallamiento para los genotipos *S. sessiliflorum* y *S. hirtum* con respecto a *S. quitoense*. Los valores de índice de agallas tuvieron un valor de 3,4 para las especies *S. sessiliflorum* (agallas = 33,73) y *S. hirtum* (agallas = 34,73), sin diferencia estadística; mientras que *S. quitoense* usado como control tuvo un valor de 4,9 (agallas= 167,87). Rodríguez *et al.*, (2009) no encontró diferencia estadística en el índice de agallamiento en los genotipos silvestres: *Lycopersicon peruvianum*; *Physalis ixocarpa*; *Lycopersicon pimpinelifolium* Dunal (tomate cimarrón) *lycopersicum* var. *cerasiforme*; el híbrido interespecífico *Lycopersicon hirsutum* Humb. & Bonpl. x *L. esculentum* y *Solanum torvum* Sw siendo similar en los genotipos en estudio donde no se muestra diferencias significativas.

Estos estudios sugieren que se podría seleccionar los genotipos con mecanismos de resistencia como Hawai, Peto 98 y B.B para reducir las pérdidas de rendimiento y calidad causada por nematodos. Por otro lado, se encontró que la resistencia de los nematos puede variar con el tiempo, lo que puede deberse a la capacidad de los genotipos para desarrollar resistencia, este comportamiento se manifestó en Hawai. Sin embargo, también se desarrolló susceptibilidad en el resto de los genotipos en dosis específicas.

5.2.2 Factor de reproducción raíz

Todos los genotipos de tomate a los 30 días con inoculación de *Meloidogyne* son considerados moderadamente resistente ya que obtuvieron un $FR < 1$. Estos resultados son similares a los obtenidos por Coto *et al.*, (2020) al someter a *vigna radiata* y *crotalaria spectabilis* a *M. incógnita* y *M. javanica* con un $FR < 1$ (Cuadro 9 y 10).

Cuadro 9. Factor de reproducción en la raíz a los 30 días de la inoculación de *Meloidogyne* spp en los genotipos de tomate *Solanum* spp

Tratamientos	Concentraciones	Nº Nematodos	Factor de Reproducción
Peto 98	200	30	0.15
	400	60	0.15
	600	60	0.10
B.B	200	15	0.08
	400	15	0.04
	600	45	0.08
Hawai	200	90	0.45
	400	90	0.23
	600	105	0.18
Genotipo local	200	30	0.15
	400	30	0.08
	600	30	0.05
Armada	200	180	0.90
	400	210	0.53
	600	240	0.40
Sakata	200	45	0.23
	400	195	0.49
	600	225	0.38

Se muestra resistencia a los 45 días en Genotipo local y B.B a una concentración de 400 infectivos con un FR= 0; por otra parte, el resto de los tratamientos fueron moderadamente resistente FR= <1. No se presentaron genotipos susceptibles FR= >1 (Cuadro 10).

Salazar y guzmán (2013) llevaron a cabo un estudio donde evaluaron el efecto de *Meloidogyne* en el desarrollo y rendimiento del tomate registro que el aumento de la población de nematodos en el suelo, medida en términos de nematodos por unidad de peso de suelo (Pi), se correlaciona con una disminución en el peso de frutos y altura de las plantas. En particular, se ha encontrado que cuando la Pi es igual a 400 nematodos/100 g de suelo, el factor de reproducción aumenta a 3,64. Por otro lado, cuando la Pi es igual a 700 nematodos/100 g de suelo, el factor de reproducción se reduce a 2,48. Además, se ha observado que las plantas con una Pi de 200 nematodos/100 g de suelo presentan un peso de frutos de 2,19 kg y una altura de 153,20 cm, mientras que las plantas con una Pi de 600 nematodos/100 g de suelo presentan un peso de frutos de 0,93 kg y una altura de 135,24 cm.

El-Sherif *et al.*, (2007) realizaron dos experimentos en macetas por separado para determinar la influencia de cuatro y tres niveles de inóculo 0, 250, 500 y 1000 o 0, 1000 y 2000 huevos de nematodo/ 850 g suelo/maceta) de *Meloidogyne* spp afirmaron que, al comienzo del cultivo, la presencia de una baja densidad de *Meloidogyne* spp resulta en un incremento poblacional significativo. Este fenómeno se debe a la disminución de la competencia entre individuos en estas condiciones.

Cuadro 10. Factor de reproducción en la raíz a los 45 días de la inoculación de *Meloidogyne* spp en los genotipos de tomate *Solanum* spp

Tratamientos	Concentraciones	Nº Nematodos	Factor de Reproducción
Peto 98	200	15	0.08
	400	15	0.04
	600	45	0.08
BB	200	30	0.15
	400	0	0.00
	600	45	0.08
Hawai	200	30	0.15
	400	60	0.15
	600	75	0.13
Genotipo local	200	0	0.00
	400	45	0.11
	600	15	0.03
Armada	200	75	0.38
	400	60	0.15
	600	120	0.20
Sakata	200	15	0.08
	400	105	0.26
	600	135	0.23

Castro *et al.*, (2021) demuestra que existen diferencias significativas entre *S. sessiliflorum* y *S. hirtum* en relación con la especie control *S. quitoense* mientras que los valores del factor reproducción variaron entre 0,85 para *S. hirtum* y 0,94 para *S. sessiliflorum*. *S. sessiliflorum*, contrario a este estudio donde el factor de reproducción es moderadamente resistente, lo cual no favorece la reproducción del nematodo obteniendo como resultado a Genotipo local con el promedio más bajo con desde 0.00 hasta Armada con 0 infectivos.

Karssen y Moens (2006) refieren que las plantas susceptibles a los nematodos agalladores permiten altas tasas de reproducción y alcanzan la madurez, mientras en las plantas resistentes suprimen el desarrollo lo cual se demuestra en este estudio donde el número de nematodos en los seis genotipos fueron promedios desde 0 a 135 nematodos en 10 gramos de raíces con agallas y se presentaron en la reacción de resistente a moderadamente resistente.

5.2.3 Longitud de la raíz

El análisis estadístico mostró que para la longitud de la raíz existe diferencia significativa entre los tratamientos, donde, Armada en dosis de 400 infectivos presento el mayor crecimiento radicular con 33 cm, seguido del Genotipo local en concentraciones de 600 infectivos en el cual obtuvo un promedio de 27 cm, el genotipo B.B y Peto 98 a concentraciones de 200 infectivos presentaron similitud con 26 y 25 cm respectivamente. El genotipo Hawaii obtuvo el menor crecimiento de raíz sin importar las dosis de concentraciones (Cuadro 11).

Polanco *et al.*, (2018) realizó un estudio en el que encontró diferencias significativas para la variable longitud de raíces, los genotipos Selva y Castilla, presentaron las raíces más largas, con un promedio de 40,5 cm de longitud.

Cuadro 11. Longitud de la raíz en los genotipos de tomate *Solanum* spp bajo la inoculación de *Meloidogyne* spp

Tratamientos	Concentraciones		
	200	400	600
Peto 98	25 bc	7 a	11 ab
BB	26 bc	25 bc	22 bc
Hawai	10 a	4 a	8 a
Genotipo local	23 bc	23 bc	27 bc
Armada	16 ab	33 bc	22 bc
Sakata	20 bc	13 ab	16 ab

VI. CONCLUSIONES

Ninguno de los genotipos en estudio es inmune a la presencia de *Meloidogyne* spp, a los 30 días de la inoculación Peto 98 presento resistencia en todas las dosis, mientras que B.B y Hawai manifestaron resistencia en concentración de 200 nematodos. Los genotipos Armada y Sakata resultaron ser susceptibles en concentraciones de 400 y 600 infectivos, el ensayo demostró que a los 45 días después de la inoculación Peto 98 manifestó resistencia en concentraciones de 200 y 400, Hawai mostro resistencia mediana en todas las dosis y B.B en concentración de 200. Caso contrario el Genotipo local (Tomate gallina), Armada y Sakata los cuales fueron susceptibles en todas las dosis.

Todos los genotipos evaluados manifestaron una moderada resistencia en las raíces frente a *Meloidogyne* spp de acuerdo con el factor de reproducción.

VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda el uso de los genotipos Hawai, Peto 98 y B.B para estudios de resistencia en campo como porta injertos, ya que presentaron los mejores comportamientos a la presencia y ataque de *Meloidogyne* spp a los 45 días de la inoculación en condiciones controladas.

Replicar el ensayo en campo agregando un mayor número de muestras y aumentando los días de estudio a 60 o más, para determinar si mantienen los mismos resultados de resistencia o susceptibilidad.

VIII. LITERATURA CITADA

- Agrios, G. (2004). *Plant Pathology. Fifth edition*. Department of Plant Pathology, University of Florida. Florida, USA. 945 p.
- Anwar, S. & McKenry, M. (2002). *Developmental response of a resistance-breaking population of *Meloidogyne arenaria* on *Vitis* spp.* <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2620539/pdf/28.pdf>
- Arias, Y., González, I., Rodríguez, M., Rosales, C., Suárez, Z., y Peteira, B. (2009). *Aspectos generales de la interacción tomate (*Solanum Lycopersicon L.*) – *Meloidogyne incognita*. Revista protección, 24(1): 1-12.* <http://scielo.sld.cu/pdf/rpv/v24n1/rpv01109.pdf>
- Bridge, J. y Starr, J. (2007). *Plant nematodes of agricultural importance*. Manson Publishing.
- Calín-Sánchez, A., Figiel, A., Hernández, F., Melgarejo, P., Lech, K., & Carbonell-Barrachina, A. A. (2011). Fruit quality and antioxidant activity of cherry tomatoes as affected by growing temperature and postharvest storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(15), 8317-8324. <https://doi.org/10.1021/jf201558d>
- Campus tecnológico local san carlos]. https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/12295/efecto_injerto_interespec%C3%ADfico_cultivos_chile.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Carneiro, R., Dos Santos, M., Almeida, M., Mota, F., Gomes, A. & Tigano, M. (2008). *Diversity of *Meloidogyne arenaria* using morphological, cytological and molecular approaches.* *Nematology* 10:819-834.
- Castillo, R., Merida, D., Hernández, V., Acevedo, A. Y Hernández, W. (2020). *Características de los nematodos “heterodera y *Meloidogyne*”.* <https://www.docsity.com/es/hongos-fitopatogenos/5345924/>
- Castro, P., Pacheco, L. y Díaz, L. (2021). *Capacidad hospedante de tres especies de Solanáceas de la Sección Lasiocarpa al nematodo agallador de la raíz *Meloidogyne incognita*.* La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. <http://doi.org/10.17163/lgr.n37.2023.03>.
- Cepeda, S. (2016). *Nematología Agrícola*. 2da. reimpresión Ed. Trillas, SA de CV. México, DF. 304 p.
- Chaves, F y Araya, M. (2012). *Efecto de la rotación de cultivos en la incidencia del Amachamiento (*Aphelenchoides besseyi* Christie) en frijol.* *Agronomía Costarricense*, 36(2), 61-70. Retrieved November 30, 2022, from http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S037794242012000200004&lng=en&tlng=es.
- Chaves, g. y lacayo, l. (2020). efecto del injerto interespecífico en los cultivosde chile dulce (*Capsicum annum L.*) y tomate (*Solanum*

- Cifuentes, W. (2009). *Evaluación ambiental de la producción del cultivo de tomate (Lycopersicon esculentum mill.), bajo condiciones protegidas en las palmas gran canaria, España, mediante la utilización de la metodología del análisis del ciclo de vida (ACV), 2007-2009.* [Doctorado, Universidad Autónoma de Barcelona]. <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5814/welc1de1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Coronel, W. (2017). *Efecto de poda en el cultivo de tomate (Lycopersicum esculentum Mill) híbrido WSX-2205-F-1, bajo condiciones agroecológicas en la provincia de Lamas.* [Tesis, Universidad Nacional De San Martín-Tarapoto]. <https://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/11458/4130/1/AGRONOM%20c3%8dA%2020William%20Mas%20Coronel.pdf>
- Coto, F., Gómez, R., Flores, L., y González, M. (2020). *Susceptibilidad de varias leguminosas de cobertura a los nematodos Meloidogyne incognita y M. arenaria. Agronomía costarricense, 45(1): 93-101.* <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost/article/view/45709/45726>
- Cristóbal, J., Herrera, E., Reyes, V., Ruiz, E., Tun, J., y Celis, T. (2010). *Glomus intraradices para el control de Meloidogyne incognita (Kofoid & White) Chitwood en condiciones protegidas.* Fitosanidad, 14(1), 25-29. Recuperado en 19 de enero de 2023, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1562-30092010000100004&lng=es&tlng=es
- Davies, K. G. & Danchin, E. G. (2011). *Using RNA interference to verify the true functions of plant parasitic nematode effectors and to explore functional redundancies within the effector repertoire.* Cell Host & Microbe, 10(4), 282-293.
- Dorais, M., Papadopoulos, A. P., & Gosselin, A. (2008). *Tomato quality as affected by preharvest salinity and irrigation regimes.* Journal of the American Society for Horticultural Science, 133(2), 251-258. <https://doi.org/10.21273/JASHS.133.2.251>
- El-Sherif, A., Refaei, A., El-Nagar, M., Hagar, M. & Salem, M. (2007). *The role of eggs inoculum level of Meloidogyne incognita on their reproduction and host reaction.* African Journal of Agricultural Research 2(4):159-163. <https://cdn.internationalscholarsjournals.org/?id=826442710756492790.pdf&file=The-role-of-eggs-inoculum-level-of-Meloidogyne-incognita-on-their-reproduction-and-host-reaction.pdf>
- Espina, W. (2009). *Material de apoyo para las capacitaciones sobre el cultivo del tomate de la Fundación FUDI.* <https://glifos.unis.edu.gt/digital/tesis/2009/23904.pdf>
- Gajendragadkar, S., Mitra, S., Soni, B., & Hegde, A. (2015). *A randomized controlled trial on the effect of dietary fruit and vegetable intake on office blood pressure among hypertensive subjects.* Clinical Nutrition Research, 4(1), 9-17. <https://doi.org/10.7762/cnr.2015.4.1.9>

- García, E. y Lozoya, E. (2004). *Genes de Resistencia a Enfermedades en Plantas*. Revista Mexicana de Fitopatología, 22(3), 414-422. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61222315>
- Giovannucci, E., Rimm, E. B., Liu, Y., Stampfer, M. J., & Willett, W. C. (2002). A prospective study of tomato products, lycopene, and prostate cancer risk. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention*, 11(10 Pt 1), 986-993. <https://cebp.aacrjournals.org/content/11/9/953.long>
- González, A., González, E., Ortiz, R., & Acosta-Gallegos, J. A. (2019). Genetic diversity and population structure of wild tomato (*Solanum Lycopersicum* var. *Cerasiforme*) in Andean Region of Ecuador. *PLoS ONE*, 14(5), e0216779. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0216779>
- Guzmán, A. & Peralta, E. (2012). Genetic variation and structure of wild tomato (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*) populations in Mesoamerica and the central region of South America. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 87(4), 361-367. <https://doi.org/10.1080/14620316.2012.11512822>
- Guzmán, O., Zamorano, C. y López, H. (2020). *Interacciones fisiológicas de plantas con nematodos fitoparásitos: una revisión*. *Bol. Cient. MusHist. Nat. U. de Caldas*, 24(2): 190-205. <http://www.scielo.org.co/pdf/bccm/v24n2/01233068-bccm-24-02-190.pdf>
- Guzmán, Óscar., Zamorano, C. y López, H. (2020). *Interacciones fisiológicas de plantas con nematodos fitoparásitos: una revisión*. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 24(2), 190-205. Epub May 06, 2021. <https://doi.org/10.17151/bccm.2020.24.2.13>
- Hernandez, A. (2015). *Descripción de la dinámica de absorción nutrimental en el cultivo de tomate (solanum lycopersicum l. Híbrido silverado), bajo condiciones de invernadero en el centro experimental docente de la facultad de agronomía (ceda), guatemala, c.a.* [tesis, universidad de san carlos de guatemala]. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/2849/1/TESIS%20TOMATE%20ASTRID.pdf>
- Hernández, M., Rodríguez, E., Dávila, M. & Díaz, C. (2012). *Composición química y actividad antioxidante de frutos de tomate (Lycopersicon esculentum) variedad Gallina criolla de Nicaragua*. *Food Chemistry*, 132(3), 1556-1561.
- Instituto De ciencias Y Tecnología Agrícola [ICTA]. (junio de 2019). *Importancia de los parientes silvestres de cultivos*. <https://www.icta.gob.gt/publicaciones%202019/boletines/ICTA%20junio%202019.pdf>
- Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria [INTA]. (2017). *Manual técnico del cultivo de tomate (Solanum Lycopersicum)*. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10921.pdf>
- Jiménez, E. y Balladares, J. (2019). *Aplicaciones alternas de insecticidas químicos y botánicos para el manejo de mosca blanca (Bemisia tabaci, Gennadius) y Geminivirus en tomate*

- (*Solanum lycopersicum* L.) en Tisma, Nicaragua.
<https://camjol.info/index.php/CALERA/article/download/8438/8639>
- Jiménez, J. (07 de Mayo de 2018). *Nematodo formador de agallas Meloidogyne* spp. TecnoAgro. <https://tecnoagro.com.mx/no.-124/nematodo-formador-de-agallas-Meloidogyne-spp>
- Jones, J., Haegeman, A., Danchin, G., Gauer, S., Helder, J., Jones, G., Kikuch, T., Manzanilla, R., Palomares, E., Wesemael, L., & Perry, R. (2013). *Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology*. *Molecular Plant Pathology* 14:946-961.
- Kauffmann, M. E. (2014). *Expresión de la resistencia en plantas de tomate a nematodos formadores de nódulo (Meloidogyne javanica)* [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. Archivo digital. <https://us.docs.wps.com/l/sIHHWu9mjAYPm0JoG?sa=00&st=0t>
- Kopsell, D. A., & Kopsell, D. E. (2002). Accumulation of lycopene and other carotenoids in high-carotenoid tomatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(26), 7401-7408. <https://doi.org/10.1021/jf010449m>
- Lezaun, J. (abril de 2016). *Nematodos Fitoparásitos*. CropLife Latin America. <https://www.croplifela.org/es/plagas/listadodeplagas/nematodosfitoparasitos#:~:text=2%2D%20Control%20Cultural,biofumigaci%C3%B3n%2C%20genotipos%20resistente%20e%20injertos>.
- López, B. y Matey, W. (2022). *Tolerancia de seis genotipos de tomate (Solanum spp) a Ralstonia solanacearum [Smith (1896) Yabuuchi et al., 1996], en el Centro Experimental El Plantel, Masaya, 2020*. [Tesis, Universidad Nacional Agraria]. <https://repositorio.una.edu.ni/4507/1/tnh201864t.pdf>
- lycopersicum* L.) A CAMPO ABIERTO Y EN CULTIVO PROTEGIDO EN SANTA CLARA DE SAN CARLOS. [Tesis, INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA]
- Maquinaria e insumos agrícola [MAQVECA]. (2020). *Generalidades del cultivo de Tomate*. <https://maqveca.com/sala-prensa/generalidades-del-cultivo-de-tomate-maqveca>
- Maquinaria e insumos agrícola [MAQVECA]. (s.f.). *Generalidades del cultivo de Tomate*. <https://maqveca.com/sala-prensa/generalidades-del-cultivo-de-tomate-maqveca>
- Mejía, J. (2022). *“Producción y comercialización del cultivo de Tomate (solanum lycopersicum l.) en el Perú”*. [Tesis, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/5279/mejiaolivasjuan-carlos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Menda, N., Strickler, S. & Mueller, L. 2013. *Review: Advances in tomato research in the post-genome era*. *Plant Biotechnology* 30:243-256. https://www.jstage.jst.go.jp/article/plantbiotechnology/30/3/30_13.0904a/_pdf

- Morales, G., Delgado, J., Sánchez, E. & Flores, G. (2020). *Antioxidant and anticancer activities of wild tomato (Solanum lycopersicum var. cerasiforme) extracts from Nicaragua*. Food Science and Technology International, 26(6), 550-560.
- Moreno, G. Y Montero, J. (2019). Evaluación de la adaptabilidad y producción de cuatro materiales genéticos de tomate (*lycopersicum esculentum*), distrito de monte romo, hojancha. [Tesis, Universidad Técnica Nacional Sede Guanacaste]. <https://repositorio.utn.ac.cr/bitstream/handle/20.500.13077/373/EVALUACION%20DE%20LA%20ADAPTABILIDAD%20Y%20PRODUCCION%20DE%20MATERIALES%20GENETICOS%20DE%20TOMATE%20DE%20MUNICIPIO%20DE%20MONTE%20ROMO%20HOJANCHA.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- Moreno, R., Rodríguez, E., Carrillo, C., Sahagún, J., y Rodríguez, E. (2014). *Tolerancia de 26 colectas de tomates nativos de México al nematodo Meloidogyne incognita (Kofoid y white) Chitwood*. Revista Chapingo Serie Horticultura, 20(1): 5-18. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rcsh/v20n1/v20n1a1.pdf>
- Moreno, R., Rodríguez, J., Carrillo, C., Sahagún, J. y Rodríguez, E. (2013). *Tolerancia de 26 colectas de tomates nativos de México al nematodo Meloidogyne incognita (Kofoid y White) Chitwood*. Revista Chapingo. Serie horticultura, 20(1), 05-18. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2012.12.071>
- Navarro, L., Gómez, L., Enrique, R., González, M. y Rodríguez, G. (2009). Comportamiento de genotipos de tomate (*solanum lycopersicum l.*) Frente a *Meloidogyne incognita* (kofoid y white) chitwood¹. Rev. Protección Vegetal. 24(1): 54-56. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S101027522009000100009&lng=es.
- Pease, J. B., Haak, D. C., Hahn, M. W., & Moyle, L. C. (2021). Tomato domestication and gene loss: What have we gained and what have we lost? Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 376(1813), 20200100. <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstb.2020.0100>
- Pizarro, R. (1 de Abril de 2022). *Control biológico de nematodos, una alternativa para cultivos de alta rentabilidad*. Biologicals Latam. <https://biologicalslatam.com/issue-04/control-biologico-de-nematodos-una-alternativa-para-cultivos-de-alta-rentabilidad/>
- Plan de Producción, Consumo y Comercio [PPCC]. (08 de Mayo de 2021). *Plan Nacional de Producción, Consumo y Comercio 2021/2022*. <https://nicaraguasandino.com/wp-content/uploads/2021/05/PLANNACIONALDEPRODUCCION2021202208May213.pdf>
- Polanco, M., Gómez, S. y Padilla, J. (2018). *Evaluación de la resistencia de un híbrido F1 de Solanum quitoense Lam. a Neoleucinodes elegantalis (Guenée) y Meloidogyne incognita*. Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 19(2), 351-366. https://doi.org/10.21930/rcta.vol19_num2_art:520
- Ranc, N., Muños, S., Santoni, S., & Causse, M. 2008. *A clarified position for Solanum Lycopersicon var. cerasiforme in the evolutionary history of tomatoes (Solanaceae)*.

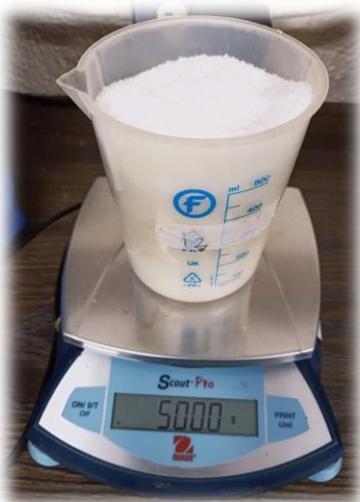
- Rodríguez Álvarez, C. I. (2013). *Resistencia en tomate mediada por el gen Mi-1 frente a la mosca blanca Bemisia tabaci (Gennadius, 1889). Análisis de la expresión génica y comparación con la resistencia inducida* [Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Madrid]. Archivo digital.
https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/660177/rodriguez_alvarez_claraisabel.pdf?sequence=1
- Rodríguez, A. (2020). *Ocurrencia de nematodos fitoparásitos y prácticas asociadas a su manejo en el cultivo de papa (Solanum tuberosum L.) en Miraflores, Estelí, 2019* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria]. Archivo digital.
<https://repositorio.una.edu.ni/4153/1/tnh10r696f.pdf>
- Rodríguez, G., Gómez, L., González, M., Carrillo, Y., Piñón, M., Gómez, O., Casanova, A., Álvarez, M. y Peteira, B. (2009). *Comportamiento de genotipos de la familia solanaceae frente a Meloidogyne incognita (kofoed y white) chitwood1*. Revista de Protección Vegetal, 24(3), 137-145.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S101027522009000300001&lng=es&tlng=es.
- Rodríguez, R. (1991). *Control Biológico de Nematodos Parasitos de Plantas*.
<https://journals.flvc.org/nematropica/article/download/64003/61671/0>
- Salazar, W. y Guzmán, T. (2013). Efecto de poblaciones de *Meloidogyne* spp. En el desarrollo y rendimiento del tomate. *Agronomía mesoamericana*, 24(2), 419-426.
<https://www.redalyc.org/journal/437/43729228018/html/>
- Salazar, W. y Guzmán, T. (2013). *Efecto de poblaciones de Meloidogyne sp. En el desarrollo y rendimiento del tomate. Agronomía mesoamericana*, 24(4): 419-426.
<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/article/view/12542/11787>
- Sánchez, J., Lara, M., López, J. Y Ruiz, E. (2005). Evaluación de cuatro variedades de tomate industrial (*Lycopersicon esculentum*, Mill) en el rendimiento y tolerancia al complejo mosca blanca (*Bemisia tabaci* Gennadius) - Geminivirus. *Terra Latinoamericana*, 23(2), 215-222.
- Sánchez-García, M., Alarcón-Gutiérrez, E., Flores-Moctezuma, H. E., & González-Morales, S. (2011). Influence of genotype and plant density on production and fruit quality of cherry tomato. *Scientia Horticulturae*, 129(1), 84-91.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.02.023>
- Talavera, M. (2003). *Manual De Nematología Agrícola*.
<http://www.caib.es/sacmicrofront/archivopub.do?ctrl=CNTSP722ZI4569&id=4569>
- Talavera, M., Salmerón, T., Peregrín, E., Vela, M; Chiroso, M., Fernández, M. y Verdejo, S. (2014). *Manejo integrado de nemátodos fitoparásitos en cultivos hortícolas*. Recuperado 11 de enero de 2023, de

<https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/servifapa/registro-servifapa/02eb8be1-bab4-48db-a7c2-bfec64cb5e99/download>

- Taylor, A. & Sasser, J. (1978). *Biology, identification and control of root-knot nematodes. United States of America*.
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.471.129&rep=rep1&type=pdf>
- Urbina, J. Y Matus, G. (2009). *Evaluación del comportamiento poblacional de nematodos fitoparásitos Asociados a diferentes sistemas de manejo de café en el municipio de Masatepe, departamento de Masaya (Ciclo 2007-2008)*. [Tesis, Universidad Nacional Agraria]. <https://repositorio.una.edu.ni/2074/1/tnh10u73.pdf>
- Varas, N. (2008). “*caracterización de poblaciones peruanas del nematodo del nódulo de la raíz (Meloidogyne spp.) En vid (vitis vinífera l.)*”. [Tesis, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3550/varas-huaroto-noemi.pdf>
- Varas, N. (2018). *Caracterización de poblaciones peruanas del nematodo del nódulo de la raíz (Meloidogyne spp.) en vid (Vitis vinífera L.)* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Archivo digital. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3550/varas-huaroto-noemi.pdf>
- Vera, N. 2014. *Técnica molecular de PCR para identificar las principales especies de Meloidogyne spp. En poblaciones provenientes de Perú*. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae Fitopatología.
- Verdejo Lucas, S., Sorribas, X., y Talavera Rubia, M. F. (2019). *Encuentro internacional sobre la fitos cultivo del tomate: de los riesgos actuales a las nuevas amenazas. Phytoma España: 93-97*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7288931>
- Vicente, N. (2007). *Nematodos*. <https://www.uprm.edu/eea/wp-content/uploads/sites/177/2016/04/TOMATE-Nematodos-v2007.pdf>
- Zimmermann, D. (20 de Noviembre de 2021). *Taxonomía de la planta de tomate*. Ehownespanol. https://www.ehownespanol.com/taxonomia-planta-tomate-sobre_70805/

IX. ANEXOS

Anexo 1. Método centrifugación con solución azucarada en raíces infectadas para el aislamiento del nematodo *Meloidogyne* spp



Anexo 2. Procedimiento para la colecta de raíces con infestaciones por el nematodo *Meloidogyne* spp



Anexo 3. Medición de la longitud de las raíces de los genotipos evaluados



Anexo 4. Análisis de raíces con agallas de los genotipos afectados por el ataque de *Meloidogyne* spp



Anexo 5. Raíces con una reacción resistente a la inoculación de diferentes dosis del nematodo *Meloidogyne* spp



Anexo 6. Genotipos establecidos en maceteras de 10 cm listas para inoculación del nematodo *Meloidogyne* spp



Anexo 7. Herramientas utilizadas en el laboratorio de nematología para extracción del nematodo *Meloidogyne* spp

