



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y NEGOCIOS SAN QUINTÍN**  
**CAMPUS ENSENADA**



**T E S I S**

**SELECCIÓN DE CUCURBITÁCEAS TOLERANTES A NEMATODOS CON  
POTENCIAL DE PORTAINJERTO EN PEPINO**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO AGRÓNOMO**

**PRESENTA  
SILVINO APARICIO VIVAR**

**DIRECTOR DE TESIS  
DR. ÁNGEL MANUEL SUÁREZ HERNÁNDEZ**

SAN QUINTÍN, ENSENADA, B. C.

AGOSTO DE 2020

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y NEGOCIOS SAN QUINTÍN

La presente tesis titulada: **SELECCIÓN DE CUCURBITÁCEAS TOLERANTES A NEMATODOS CON POTENCIAL DE PORTAINJERTO EN PEPINO**, fue realizado por: SILVINO APARICIO VIVAR, bajo la dirección del comité particular indicado, ha sido aprobado por el mismo y aceptado como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**COMITÉ**

  
\_\_\_\_\_  
**DIRECTOR**

DR. ÁNGEL MANUEL SUÁREZ HERNÁNDEZ

  
\_\_\_\_\_  
**CO-DIRECTOR**

DR. ONECIMO GRIMALDO JUÁREZ

  
\_\_\_\_\_  
**ASESOR 1**

DR. JUAN CARLOS VÁZQUEZ ANGULO

  
\_\_\_\_\_  
**ASESOR 2.**

M.C. CARLOS CECENA DURAN

  
\_\_\_\_\_  
**ASESOR 3.**

DR. LAURA DENNISSE CARAZCO PEÑA

## DEDICATORIA

A mis padres **Francisco Aparicio Ortega** y **Rufina Vivar Cirilo** por su gran sacrificio me apoyaron en mi formación, su gran amor y confianza que depositaron en mí para lograr este triunfo. Siempre dándome sus consejos y motivándome a seguir adelante.

A mis hermanos **José Javier, Maximo, Alicia, Saúl** y **Luis** por haberme dado su apoyo, cariño y buenos momentos que hemos pasado. Por tener valor de seguir adelante a pesar de las adversidades que se nos han presentado en la vida.

A mis abuelitos por su cariño y su ternura.

A mis primos por siempre apoyarme a salir adelante sin esperar nada a cambio.

A mis amigos por su ayuda a lo largo de mi carrera universitaria.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecerle a Dr. **Angel Manuel Suárez Hernández** por su valiosa asesoría en la presente investigación, por haber compartido su conocimiento y experiencia profesional.

A mis maestros quienes supieron compartir su sabia enseñanza y participaron en mi formación como profesionista.

A la **Facultad de Ingeniería y Negocios San Quintín** por darme la oportunidad de adquirir los conocimientos y haberme brindado las herramientas para mi formación profesional.

A la **Universidad Autónoma de Baja California** por el financiamiento parcial del proyecto a través de la 3ra Convocatoria Interna de Proyectos de Investigación Especial 2018.

## ÍNDICE GENERAL

<b>I. RESUMEN</b> .....	<b>xi</b>
<b>II. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>12</b>
2.1 Hipótesis .....	14
2.2 Objetivo general y específico .....	14
<b>III. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>15</b>
3.1 El cultivo de pepino ( <i>Cucumis sativus</i> L.) .....	15
3.1.1 Importancia económica del cultivo .....	15
3.1.2 Manejo agronómico del cultivo .....	18
3.1.3 Factores de estrés abiótico y biótico .....	25
3.2 Nematodos .....	28
3.2.1 Géneros de interés agrícola .....	29
3.2.2 Morfología de <i>Meloidogyne</i> .....	30
3.2.3 Ciclo biológico de <i>Meloidogyne</i> .....	31
3.2.4 Distribución del <i>Meloidogyne</i> .....	32
3.2.5 Efectos de <i>Meloidogyne</i> en el cultivo de pepino .....	33
3.2.6 Métodos de control .....	34
3.3 Importancia del injerto en la producción de pepino en suelo infestado con nematodos .....	35
3.3.1 Tipos de injerto .....	36
3.3.2 Portainjertos tolerantes a nematodos .....	37
3.3.3 Producción y calidad de pepino injertado en suelo con nematodos ..	38

<b>IV. METODOLOGÍA.....</b>	<b>40</b>
4.1 Ubicación geográfica y condiciones climáticas .....	40
4.2 Material genético y técnica de injerto .....	40
4.3 Producción de plántula.....	40
4.4 Características vegetativas de plántulas para injerto .....	41
4.5 Elaboración de injertos.....	41
4.6 Diseño experimental y tratamientos .....	41
4.7 Establecimiento y manejo del cultivo.....	42
4.8 Variables evaluadas.....	42
4.9 Análisis estadístico.....	43
<b>V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>44</b>
5.1 Características vegetativas de plántulas de los materiales genéticos.....	44
5.2 Porcentaje de sobrevivencia .....	45
5.3 Parámetros vegetativos.....	46
5.3.1 Altura de planta (cm) .....	47
5.3.2 Diámetro del tallo (mm) .....	47
5.3.3 Distancia entrenudo (cm).....	48
5.3.4 Numero de hojas .....	48
5.3.5 Área foliar .....	49
5.4 Parámetros de calidad de fruto .....	49
5.4.1 Peso (gr).....	50
5.4.2 Longitud (cm).....	51
5.4.3 Diámetro (mm).....	51

5.4.4	Firmeza externa (N).....	52
5.4.5	Firmeza interna (N).....	52
5.4.6	Grados Brix.....	52
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSIÓN.....</b>	<b>54</b>
<b>VII.</b>	<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>55</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Superficie cosechada (ha), volumen de producción (ton) y valor de la producción (miles de pesos) de acuerdo al tipo de producción, agricultura y pepino a nivel nacional.....	16
Tabla 2. Requerimiento de nutrientes en el cultivo de pepino.....	25
Tabla 3 Características vegetativas de portainjertos y variedades de pepino .....	44
Tabla 4. Parámetros de crecimiento de planta de pepino variedad Centenario injertado con portainjerto comercial y de Lagenaria siceraria en suelos infestados con nematodos.....	46
Tabla 5. Parámetros de calidad de fruto de pepino variedad C injertado con portainjerto comercial y accesiones de Lagenaria siceraria en suelos infestados con nematodos.....	50

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Superficie cosechada (ha) y valor de producción (millones de pesos) de pepino en los Estados Unidos Mexicanos.....	18
Figura 2. Diagrama del ciclo biológico del nematodo nodulador de la raíz (Meloidogyne). J2: segundo estadio juvenil; J3: tercer estadio juvenil; J4: cuarto estadio juvenil. (Fuente: Perry et al., 2009).....	32
Figura 3. Porcentaje de prendimiento de injertos en dos variedades de pepino y seis portainjertos. ....	45

## I. RESUMEN

Uno de los factores limitantes en los sistemas de producción es la incidencia de nematodos que afectan el desarrollo normal de las plantas y consecuentemente el volumen de producción. Por lo anterior, en la presente investigación se utilizó el portainjerto Forticuke F1 y materiales criollos de Cucurbitáceas en la variedad de pepino Centenario y Tirano con el objetivo de evaluar el crecimiento de planta y calidad de fruto bajo condiciones de infestación de nematodos. El experimento se estableció en un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones. Las variables evaluadas fueron: 1) porcentaje de prendimiento; 2) parámetros vegetativos y 3) parámetros de fruto.

Los resultados mostraron que el porcentaje de prendimiento del injerto fue mayor en la variedad Centenario con el portainjerto Forticuke F1 y con los materiales criollos LAG53 y LAG48. En parámetros vegetativos se tuvieron diferencias significativas en altura de planta, área foliar y número de hojas, presentando valores más altos en la condición injertada con los portainjertos LAG53 y Forticuke F1. En los parámetros de calidad de fruto numéricamente la longitud y diámetro del fruto fue mayor en plantas injertadas en comparación con la planta sin injertar. El peso del fruto fue estadísticamente mayor en plantas injertadas, principalmente con LAG53 y Forticuke F1. Esta diferencia en peso se debe a que la planta injertada produjo mayor firmeza en la pulpa del pepino. Con base a los resultados obtenidos, el injerto de pepino en portainjertos criollos o comerciales en condición de suelo contaminado con nematodos favorece el crecimiento de las plantas, el peso y firmeza de los frutos.

## II. INTRODUCCIÓN

La incidencia de nematodos fitoparásitos es uno de los factores limitantes en los sistemas de producción de cultivos, que afecta el crecimiento y desarrollo de la planta (Dong et al., 2012). Se alimenta de raíces y en ocasiones algunos géneros atacan partes aéreas (Arauz-Cavallini, 1998). El género *Meloidogyne* es el de mayor importancia en cultivos hortícolas (Avena-Arambul et al., 2016), ocasionando pérdidas superiores al 30% de la producción en solanáceas y cucurbitáceas (Ravichandra, 2014). Este género incluye más de 60 especies, considerándose a las especies *M. incognita*, *M. javanica*, *M. arenaria* y *M. hapla*, como las cuatro nematodos agalladores de la raíz de mayor importancia económica (Jones et al., 2011).

Este parasito tiene una alta penetración y reproducción en el sistema radicular de plantas de pepino (López-Gómez y Verdejo-Lucas, 2017), presentando el síntoma más común que es la formación de agallas. En donde, el segundo estadio juvenil (J2) es el infectivo, que penetra la raíz para alimentarse de ella (Kennedy y Harnett, 2013). J2 induce la diferenciación de células dentro de la raíz, llamado células gigantes, que se convierten en sitios de alimentación (Perry et al., 2009) y posteriormente da origen a las agallas característico del daño de *Meloidogyne* (Flores-Lara et al., 2010). Lo que impiden el transporte de agua y nutrientes, por lo que eventualmente las plantas con alta infestación morirán (Navarrete et al., 2018; Devran et al., 2017).

La estrategia comúnmente utilizada por los agricultores para contrarrestar la presencia de nematodos es la aplicación de plaguicidas a base de organofosforados

y carbamatos (Jones et al., 2016), así como Bromuro de metilo (Wang et al., 2015), productos considerados altamente tóxicos para el ser humano y medio ambiente. Lo anterior, ha propiciado el desarrollo de alternativas ecológicas como rotación de cultivo, cultivos de cobertura, variedades resistentes, control biológico y uso de injertos (Giné et al., 2013; Castro et al., 2011). La rotación de cultivos con especies de cobertura pueden resultar no redituables al generar menos ingresos (Everts et al., 2006). En tanto que, al utilizar variedades resistentes se corre el riesgo de no adaptarse la planta a las condiciones de la región (Talavera et al., 2009).

El control biológico con actividad nematocida como rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (Zhao et al., 2018), hongos entomopatógenos (Terefe et al., 2009), metabolitos microbianos antagónicos (Lee et al., 2018; Huang et al., 2016) y aceites vegetales (Álvarez et al., 2016) ha sido aceptable, sin embargo, al emplear microorganismos de otras regiones agrícolas debe considerarse su adaptabilidad (Trainer et al., 2014), por lo que se puede reducir su efectividad (Jang et al., 2016). El uso del injerto con portainjertos tolerantes ha sido aceptado con buenos resultados en regiones con incidencia de nematodos (Liu et al., 2015), sin embargo, existe poca disponibilidad de portainjertos en el mercado o bien son de elevados costos. Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación es evaluar la tolerancia a *M. incognita* en accesiones de cucurbitáceas originarias de México a fin de ser empleados como portainjertos en pepino.

## **2.1 Hipótesis**

El uso de materiales criollos de cucurbitáceas mexicanas como portainjertos de pepino puede favorecer el crecimiento de la planta y la calidad del fruto en suelos infestados con nematodo nodulador de la raíz (*M. incognita*).

## **2.2 Objetivo general y específico**

Evaluar la incidencia y el grado de severidad de *Meloidogyne incognita* en el cultivo de pepino empleando diferentes accesiones de Cucurbitáceas criollas de México.

- 1) Evaluar el nivel de tolerancia de los portainjertos a los nematodos en base a la respuesta en crecimiento vegetativo plantas injertadas
- 2) Evaluar el nivel de tolerancia de los portainjertos a los nematodos en base a la respuesta en calidad de pepino de plantas injertadas.

### III. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1 El cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.)

El pepino es un fruto rico en minerales como potasio, calcio, fósforo, magnesio entre otros minerales, con un alto contenido de agua de aproximadamente 96% (Martelo et al., 2011). Este fruto es muy demandado debido a su consumo en fresco en ensalada o curtido (Sotiroudis et al., 2010), con un consumo anual per cápita a nivel nacional de 1.6 kilogramos (SIAP, 2018).

Se considera uno de los cultivos agrícolas de mayor importancia económica, social y cultural en nuestro país, debido a las tendencias en los hábitos de consumo, demanda comercial, adaptación de nuevas tecnologías, sistemas de riego, mano de obra, entre otros. Entre las hortalizas, el cultivo de pepino se encuentra en la sexta posición de productos con mayor valor de producción, con tan solo el 2.9 % de la superficie sembrada a nivel nacional (Cruz-Delgado et al., 2013).

##### 3.1.1 Importancia económica del cultivo

La importancia económica del cultivo de pepino radica en el valor de producción que genera en el país, considerándose como la sexta hortaliza de mayor valor de producción con 6 330.06 millones de pesos, superado solamente por el tomate, papa, frijol, espárrago y cebolla (SAGARPA-SIAP, 2018). A nivel nacional la superficie sembrada es de 21 163.95 hectáreas, de la cual solo 91.9 % (19 449.96 ha) fue reportado como superficie cosechada. Aproximadamente 147 hectáreas son destinadas a productos orgánicos con un valor de producción de 60 368.39 miles

de pesos, considerándose el tipo de producción que genera mayor valor económico por superficie (Cuadro 01).

Tabla 1. Superficie cosechada (ha), volumen de producción (ton) y valor de la producción (miles de pesos) de acuerdo al tipo de producción, agricultura y pepino a nivel nacional

Tipología	Superficie cosechada (ha)	Volumen de producción (ton)	Valor total de la producción (miles de pesos)
<i>Tipo de producción</i>			
Convencional	19449.96	1065344.24	6269689.15
Orgánico	147.00	6703.37	60368.39
<i>Tipo de agricultura</i>			
Cielo abierto	13868.58	445120.39	2217499.75
invernadero	1546.94	215787.26	1415797.88
macrotunel	162.50	5885.71	29429.38
mallasombra	4018.94	405254.25	2667330.53
<i>Tipo de pepino</i>			
pepino americano chino	11835.21	519998.28	2937704.27
pepino americano	33.00	2599.17	21976.75
pepino blanco	762.06	16999.50	85141.46
pepino europeo	1934.40	232393.39	1454181.64
pepino persa	966.85	95134.95	745835.54
pepino pickle	4065.44	204922.32	1085217.88

Elaboración propia tomados de la base de datos del Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON), 2018 (SAGARPA, 2018)

Uno de los sistemas de producción que más predominan en el país es la agricultura a cielo abierto con el 70.77% de la superficie, pero los frutos generados con este tipo de agricultura son de menor valor de producción, con aproximadamente 4.98 miles de pesos por cada tonelada (Cuadro 01). El cultivo en mallasombra, invernadero y macrotunel representan el 20.51, 7.89 y 0.83 % de la superficie, con un valor de producción de 6.58, 6.56 y 5.00 miles de pesos por tonelada, respectivamente.

El cultivo del pepino en México se realiza principalmente con tipo de pepino americano chino con el 60.39% con una valor de producción de 2 937 704.27 miles de pesos (Cuadro 01). El pepino tipo pickle ocupa el segundo lugar con 20.75 % de la superficie nacional y un valor de producción de 1 085 217.88 miles de pesos. El pepino tipo europeo, persa, blanco y americano participan con el 9.87, 4.93, 3.89 y 0.17 % de la superficie. Aun cuando el tipo americano es el de menor superficie, es el que genera mayor valor de producción por cada tonelada con 8.46 miles de pesos, seguido de los tipos persa, europeo, americano chino, pickle, y blanco 7.84, 6.36, 5.65, 5.30 y 50.01 miles de pesos, respectivamente.

El pepino se cultiva en todas las entidades federativas de México, a excepción de Tlaxcala, alcanzado una superficie sembrada de 19 623 hectáreas con una valor de producción de 6 330 millones de pesos a nivel nacional (SAGARPA-SIAP, 2018). El principal estado con mayor superficie sembrada es Sinaloa con una participación de 22.78% a nivel nacional, seguido de Michoacán (19.37%), Sonora (13.49%), Morelos (7.78%) y Guanajuato (7.43%).

Baja California a pesar ocupar el octavo lugar en superficie sembrada y quinto en volumen de producción, se encuentra posicionado en el tercer estado de acuerdo al valor de producción que genera en una hectárea de producción de pepino (SAGARPA-SIAP, 2018), resultado de la cercanía y destino de la fruta al mercado norteamericano, considerándose a los Estados Unidos como el país destino de las exportaciones de pepino mexicano con el 98.78 % del producto exportado, seguido de Canadá con el 1.18 % y el resto enviado a Gran Bretaña y Costa Rica (SE-SIAVI, 2019).

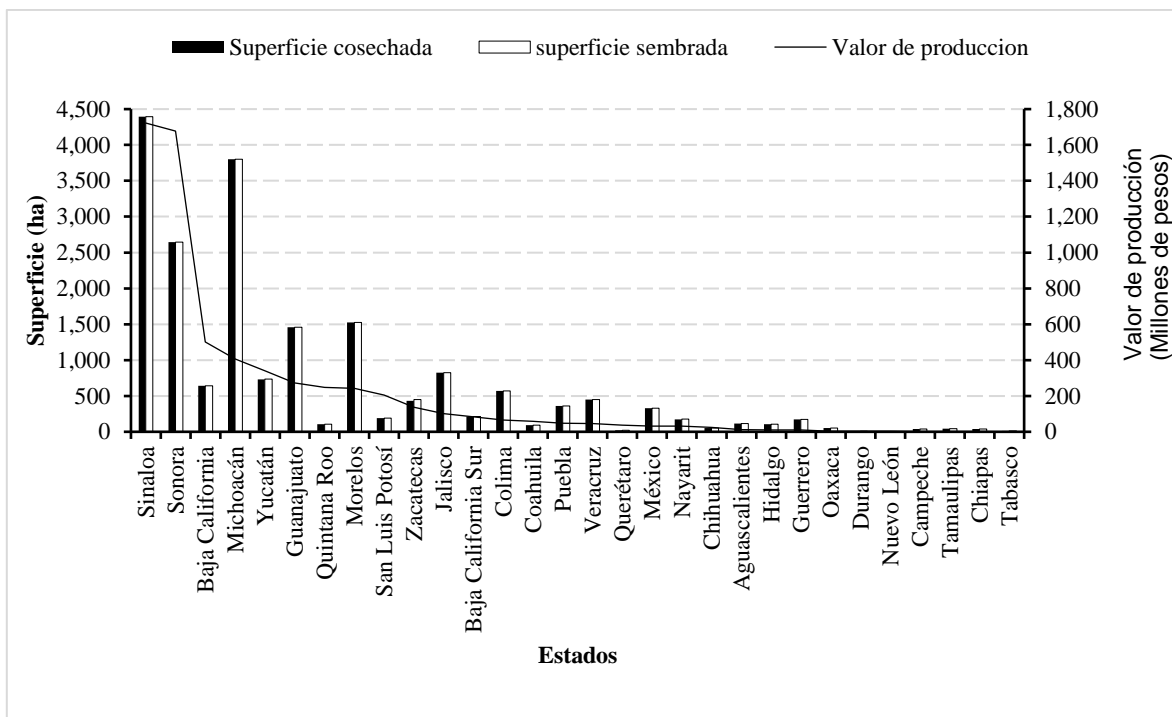


Figura 1. Superficie cosechada (ha) y valor de producción (millones de pesos) de pepino en los Estados Unidos Mexicanos

### 3.1.2 Manejo agronómico del cultivo

El establecimiento del cultivo de pepino puede ser en cualquier textura del suelo, preferentemente en textura arcilloso arenosa a franco con buen drenaje (Arias, 2007). Durante el desarrollo del cultivo se recomienda una temperatura diurna de 19 a 27 grados centígrados y nocturna de 16 a 27 grados centígrados (Castellanos, 2004), con una humedad relativa diurna de 60 a 70% y nocturna de 70 a 90% (Arias, 2007). El volumen de agua requerido por la planta es de uno a cuatro litros diarios durante su ciclo, la que dependerá de la variedad, etapa de desarrollo y condiciones climáticas (Castellano, 2004)

### ***Preparación del terreno***

La preparación del suelo debe ser realizado mínimamente 45 días antes de transplante, considerando el tipo de preparación de acuerdo a la textura del suelo y los usos anteriores (Arias, 2007). En suelos con pie de arado es recomendable hacer un subsoleo a una profundidad de 60 cm, seguido de un paso de arado a una profundidad de 30 a 40 cm y posteriormente efectuar como mínimo dos pasos de rastra a una profundidad de 30 cm (López-Zamora, 2003), de tal manera que el terreno tenga un buen drenaje.

La elaboración de la cama debe ser levantada a una altura entre 30 y 40 cm a fin de mejorar la aireación, drenaje y facilitar las actividades culturales posteriores de manera más eficiente (Arias, 2007). Una vez formada la cama se puede dar un paso con el rototiller para triturar los terrones que pudieran romper el plástico de la cama y posteriormente colocar el acolchado afín de reducir la pérdida de agua, brote de maleza y aumentar la temperatura del sistema radicular.

### ***Establecimiento el cultivo***

El pepino se puede establecer mediante siembra directa colocando manual o mecánicamente la semilla o por plantación. La siembra directa puede realizarse a una distancia entre plantas de 0.5 m y una distancia entre hileras entre 0.8 a 1.5 m (López-Zamora, 2003). El establecimiento por plantación debe ser con plántulas de porte vigoroso, libre de patógenos y un buen desarrollo de la raíz, con estado de desarrollo mínimamente de tres hojas verdaderas con longitud entre 8 a 10 cm y cepellón cubierto con 80% de raíces (Bojacá y Monsalve, 2012).

La producción de plántula puede ser realizada en semilleros tradicionales con infraestructura de baja tecnología o por empresas destinadas a la producción de plántulas de hortalizas que poseen infraestructura y tecnología especializada que permite la germinación homogénea de la semilla (Bojacá y Monsalve, 2012). La germinación de la semilla se realiza en bandejas de germinación de 128 y 200 cavidades, rellenas de sustrato o turba industrializada y humedecidas a capacidad de campo.

Al momento de la plantación en campo se debe tener el suelo húmedo, pero no saturado, debido a que las plántulas antes del trasplante se someten a un proceso de endurecimiento de tejidos mediante un estrés controlado de humedad por un corto periodo de tiempo, a fin de tener una planta más resistente al transplante (Bojacá y Monsalve, 2012).

### ***Poda de formación.***

Este tipo de práctica permite un equilibrio entre el desarrollo vegetativo y la fructificación de la planta, evitando que exista un crecimiento excesivo de la biomasa vegetal y consecuentemente la reducción del número de flores y frutos, así como la calidad de la fruta (Bojacá y Monsalve, 2012). La poda de formación en pepino permite formar la planta para obtener una mayor producción en el tallo principal en variedades con frutos largos y favorecer el desarrollo de los frutos en el tallo secundario en las variedades de frutos cortos (Reche, 1995).

Poda del pepino largo (Reche, 1995).

El tipo de poda consiste en eliminar los brotes y frutos hasta una altura entre 0.6 y 0.7 m. El seguimiento de la poda de formación puede ser por dos sistemas: 1) Hasta una altura de 2.0 m se eliminan los brotes secundarios dejando solo los frutos del tallo principal y una vez que el tallo principal cruza el alambre (después de 2.0 m) se deja crecer el tallo primario y los brotes secundarios libremente hacia abajo hasta una altura de 1.0 m del suelo. 2) A partir de 0.6 m hasta 1.0 m se deja un fruto y 1 a 2 hojas por nudo, después de 1.0 m hasta 2.0 m se puede seguir una de dos variantes: a) dejar todos los frutos del tallo principal y eliminar los brotes secundarios; b) dejar los frutos del tallo principal y dejar otro brote secundario con tan solo 2 a 3 nudos. Después que el tallo principal cruza el alambre (después de 2.0 m) se despunta y se deja crecer 2 o 3 tallos secundarios hasta una altura de 1.0 m del suelo.

Poda del pepino corto (Reche, 1995).

En forma general se recomienda eliminar todos los frutos del tallo principal, favoreciendo el crecimiento de los tallos de segundo orden que serán los órganos productivos y realizando despunte por encima de la primera o segunda hoja. En caso de que el tallo secundario no tenga fruto se recomienda dejar dos hojas para permitir el desarrollo de una ramificación de tercer orden, y en este nivel despuntar por encima de la primera hoja para permitir solamente el desarrollo de un fruto. Existen diversas variantes de este tipo de poda que consisten en eliminar brotes, hojas y frutos del tallo principal por debajo de 0.5 m de altura. La poda puede continuar con una de las siguientes variantes:

a) A una altura desde 0.5 a 1.0 m se dejan los brotes secundarios, despuntándolos por encima de una hoja cuando tengan un fruto, sin dejar ningún brote terciario;

b) Después de un metro de altura se dejan los brotes secundarios, despuntándolos por encima de la hoja cuando tengan dos frutos y eliminando los brotes de tercer orden;

c) Después de 0.5 m de altura se dejan los brotes secundarios, despuntándolos por encima de la hoja cuando tengan un fruto y a partir de que el tallo principal haya rebasado la altura del tutorado se despunta, se deja un fruto en la ramificación secundaria y terciaria;

d) Después de 0.5 m de altura se deja un fruto en el tallo principal y despuntado el tallo secundario por encima de la hoja cuando tenga un solo fruto;

e) No eliminar ningún fruto del tallo principal desde su inicio y despuntar los brotes secundarios por encima de una hoja cuando tenga un fruto.

### ***Tutorado del cultivo.***

El tutorado es una práctica de manejo del cultivo indispensable para plantas de hábito erecto e indeterminado, la cual favorece la aireación, mayor eficiencia de la radiación, menor incidencia de enfermedades y facilita las labores culturales como la poda, deshoje y cosecha (López-Zamora, 2003). Los materiales empleados en esta actividad son: estacones de 1.7 a 2.0 m enterrados a 30 cm, mecate o rafia y alambre preferentemente galvanizado. La altura del tutorado dependerá de la variedad a cultivar por lo que plantas de porte muy altos requerirán estacas de 2.0

metros. La sujeción se realiza con el uso de la rafia amarrado en la parte superior del alambre galvanizado y este, colocados sobre las estacas en el extremo superior (Arias, 2007). En cultivos establecidos en sistemas protegidos se hace uso de la red de alambre que tiene integrado la estructura del invernadero o malla-sombra para la sujeción de la rafia.

### ***Deshoje***

Esta práctica consiste en eliminar las hojas viejas en forma ascendente cuando inicia su proceso de senescencia, siendo recomendable no eliminar más de dos hojas en cada actividad (deshoje), realizarlo después de la cosecha de los frutos y aplicando un fungicida a continuación para evitar la incidencia de enfermedades (Reche, 1995; Castilla-Prados y Bretones-Castillo, 1983). Esta práctica favorece la aireación entre las plantas de tal manera que se reduce la humedad relativa al interior de la parcela.

### ***Aclareo de frutos***

La eliminación de frutos se recomienda hasta una altura del suelo entre 40 a 70 cm del tallo principal, así como los frutos afectados por plagas y enfermedades (Reche, 1995). Se debe de quitar también frutos curvados, malformados y abortados los más pronto posible a fin de evitar su desarrollo y el posterior detrimento de otros frutos (Castellanos, 2004).

### ***Riego***

El volumen de agua requerido depende varios factores como estado fenológico del cultivo, propiedades del suelo, condiciones ambientales y la eficiencia

del sistema de riego (Allen et al., 2006), en donde, el momento y cantidad de agua requerido por las plantas se estima por diferentes métodos (Rahil y Qanadillo, 2015), ya sea basados en tensiómetros o mediante el cálculo de la necesidad de agua por medio de la Evapotranspiración del cultivo (ETc). El ETc se estima utilizando el método modificado Penman – Monteith de la FAO (Allen et al., 1998), el cual considera los factores climáticos, edáficos y el coeficiente de cultivo (Kc). En donde los valores de Kc pueden variar dependiendo del porcentaje de desarrollo del cultivo, considerándose valores de 0.3 a 1.0 para el cultivo de pepino (Snyder et al. 2000).

La biomasa vegetal de la planta y los atributos de rendimiento del pepino se ha observado que es favorecida al emplear el 70% de la evapotranspiración del cultivo, a la vez que se obtiene una mayor eficiencia del agua y consecuentemente un ahorro significativo de este recurso, en contraste con una eficiencia de agua más baja al emplear tensiómetros (Rahil y Qanadillo, 2015). Los caracteres de crecimiento de la planta, rendimiento y eficiente del agua pueden mejorar al combinar un nivel de riego al 80% de ETc (entre 124 y 151 mm) con niveles de nitrógeno de 360 kg ha<sup>-1</sup> (Wang et al., 2019; Li et al., 2014).

### ***Fertilización***

La aplicación de fertilizante puede efectuarse al mismo tiempo que el aporte de agua por medio del sistema de riego por goteo, en donde la cantidad de nutriente dependerá del estado fenológico de la planta (Castellanos, 2004). El aporte de minerales puede estar dado en función de las extracciones de cultivo o en base a una solución nutritiva ideal (Cuadro 02).

Tabla 2. Requerimiento de nutrientes en el cultivo de pepino.

Fenología	Quincena	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
		meq L <sup>-1</sup>				
Desarrollo vegetativo	1	5.70	0.80	2.10	1.00	0.00
Fructificación	2	7.90	1.30	3.90	3.70	1.20
engorde de fruto	3	6.70	0.70	3.00	3.90	1.30
	4	8.80	1.20	3.20	2.50	0.50
	5	10.00	1.40	3.00	3.00	0.70
Recolección	6	11.90	1.10	3.50	3.60	0.80
	7	12.50	1.20	3.70	3.70	0.80
	8	13.90	1.30	4.10	4.20	0.90
	9	14.30	1.40	4.20	4.30	0.90
	10	14.70	1.40	4.40	4.40	0.50
	11	15.60	0.00	4.60	4.70	0.50

Fuente: Castellano, 2004

Otra de las soluciones nutritiva empleadas en los sistemas de producción de pepino puede ser mediante la aportación 8.00 meq L<sup>-1</sup> de K<sup>+</sup>, 8.00 meq L<sup>-1</sup> de Ca<sup>+2</sup>, 2.70 meq L<sup>-1</sup> de Mg<sup>+2</sup>, 1.25 meq L<sup>-1</sup> de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, 16.00 meq L<sup>-1</sup> de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 2.70 meq L<sup>-1</sup> SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> y 1.25 meq L<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> (Cadahia, 2005).

### 3.1.3 Factores de estrés abiótico y biótico

#### *Temperatura*

El crecimiento de la planta es muy rápido en condiciones favorables, pero de igual manera exhibe alteraciones fisiológicas a una temperatura inferior a 12.5 °C (Chen et al., 2019), como disminución de la fotosíntesis, pérdida de electrolitos en la célula, limitada transpiración y absorción de agua, y cambios enzimáticos (Ahn et al., 1999). Cuando la temperatura es muy baja (heladas) aumenta drásticamente la producción de especies de oxígeno reactivo (ROS) induciendo inhibición del crecimiento de las hojas y su posterior marchitamiento (Li et al., 2011). En algunas regiones, los productores tienden a proteger sus cultivos de siembras tempranas

con túneles de plástico, que posteriormente son retirados cuando estas ya no pueden contener el follaje de las plantas (Howard et al., 1994).

El estrés por altas temperaturas (superior a 40 °C) genera cambios anatómicos, morfológicos y bioquímicos en la planta, tales como daño en la integridad del órgano fotosintético y disminución de la clorofila (Wang et al., 2018), pérdida de la estabilidad de la membrana (Baninasab y Ghobadi, 2011) y consecuentemente la senescencia de la hoja. Durante la noche el estrés por calor puede ser potencialmente dañino para la etapa de reproducción, formación de fruto y semillas (Chaves-Barrantes y Gutiérrez-Soto, 2017a). Otros síntomas son reducción del tamaño de las células, conductancia estomática y cierre de estomas (Chaves-Barrantes y Gutiérrez-Soto, 2017b).

### ***Salinidad***

El impacto de la salinidad es directamente en la producción de los cultivos. La presencia de cloruro de sodio induce disminución en contenido relativo de agua y minerales como potasio, calcio, magnesio y proporción potasio/sodio en plantas de pepino, así como un aumento en la concentración de sodio en el tejido (Mohsin et al., 2019; Furtana y Tipirdamaz, 2010) y consecuentemente, sobreproducción de especies reactivas de oxígeno (Mohsin et al., 2019).

La reducción de clorofila, tasa de asimilación de CO<sub>2</sub>, conductancia estomática, decaimiento no fotoquímico y eficiencia fotoquímica del PSII son otros de efectos del estrés salino (Elsehery et al., 2020), lo que se refleja en una menor biomasa y producción en plantas de pepino (Cao et al., 2016). El rendimiento

decrece en 5.7% por cada incremento de 1.0 dS m<sup>-1</sup> de CE en al agua de riego, principalmente debido a la reducción del número de frutos (Wan et al., 2010).

### ***Déficit hídrico***

El déficit hídrico afecta el metabolismo de las plantas provocado por la oxidación celular al alterarse el equilibrio en los niveles de ROS y limitar la captación de agua, lo que se refleja en la caída prematura de las hojas (Fan et al., 2017). El daño aumenta gradualmente a medida que se incremente los días con déficit de agua. Al tercer día de estrés se presenta inhibición en el crecimiento de hoja y marchitamiento inicial en los cotiledones y hojas verdaderas, mientras que a los 12 días se produce marchitamiento general de la planta (Pustovoitova et al., 2004). La exposición a estrés por déficit hídrico y salinidad desencadena muchas reacciones comunes en las plantas que conducen a la deshidratación celular (Ouzounidou et al., 2016).

### ***Plagas y enfermedades***

Las plagas y enfermedades son perjudiciales para los sistemas de producción. Las plagas alteran el crecimiento y desarrollo de las plantas, ya sea por consumo de la savia o alterando el desarrollo del fruto que consecuentemente se refleja en la reducción de la producción (Cardona-Mejía y Mesa-Cobo, 2015). Entre las plagas más importante del cultivo de pepino se encuentra los nematodos, araña roja, mosca blanca, afidos, trips, lepidópteros y minador de la hoja (Arias, 2007). El control puede ser mediante productos químicos con ingrediente activo de imidacloprid, abamectina, cypermetrina, carbofuran, endosulfan diazinon y spinosad (Arias 2007).

Las plagas como mosca blanca, trips y afidos son insectos que alimentan de la savia ocasionando daños en las hojas y deformaciones en las hojas o frutos y en algunos casos pueden transmitir virus (Bojacá y Monsalve, 2012), siendo el de mayor importancia el Virus del mosaico del pepino (CMV) que puede ocasionar síntomas severos al destruir más de una tercera parte del cultivo en poco tiempo; los síntomas frecuentes son las hojas se vuelven moteadas, distorsionadas y arrugadas, con bordes se curvan hacia abajo (Reddy, 2016).

Las enfermedades como fusariosis vascular, tizón tardío, mildiu polvoriento y mildiu veloso ocasionan grandes pérdidas económicas debido a la alta velocidad que puede propagar en la planta y finalmente ocasionar la muerte la planta (Gupta y Thind, 2018; Reddy, 2016; Bojacá y Monsalve, 2012; Mace et al., 1981). La podredumbre de la raíz es otra de enfermedad que genera la muerte de la planta en etapas tempranas dificultando la absorción de agua y nutrientes (Reddy, 2016; Bojacá y Monsalve, 2012) Algunos de los productos comúnmente utilizados para el control químico de estas fitopatogenos son a base de azoxystrobin, tebuconazole, carbendazim, propamocarb, metalaxyl+mancozeb, azufre y cobre (Arias, 2007).

### **3.2 Nematodos**

Uno de los factores limitantes en los sistemas de producción es la incidencia de nematodos que afectan el desarrollo normal de las plantas (Dong et al., 2012), que constituyen un grupo de parásitos cosmopolita presente en casi todas las regiones templadas y cálidas (Perry y Moens, 2013). Estos microorganismos son vermiformes con tamaño entre 0.25 mm a 4.0 mm de longitud; las hembras pierden

su forma de gusano cuando son adultas, adoptando forma de pera, limón, riñón o esférica (Coyne et al., 2007).

Los nematodos fitoparasitos se alimentan de las raíces y en algunos géneros atacan partes aéreas (Arauz-Cavallini, 1998). Se caracterizan por tener estilete en la parte anterior que le permite alimentarse, ocasionando el nivel de daño dependiendo de la densidad de inoculo, susceptibilidad del hospedante y condiciones climáticas (Avena-Arambul et al., 2016).

De acuerdo al hábito de alimentación pueden clasificarse en: a) ectoparásitos son aquellos que solo introducen el estilete para alimentarse sin invadir el huésped; b) endoparásitos son aquellos que penetran de manera parcial o totalmente el tejido de la planta y al menos se desarrolla una etapa de su ciclo biológico dentro del huésped (Rivera-Cota, 2007).

### **3.2.1 Géneros de interés agrícola**

Los diez géneros de nematodos de mayor importancia económica, de acuerdo a la severidad de daño ocasionado en los cultivos hortícolas a nivel mundial son *Meloidogyne spp.*, *Radopholus spp.*, *Heterodera spp.*, *Globodera spp.*, *Pratylenchus spp.*, *Rotylenhulus spp.*, *Ditylenchus spp.*, *Tylenchulus spp.*, *Helicotylenchus spp.*, *Xiphinema spp* (Ravichandra, 2014).

Los nematodos *Radopholus* y *Pratylenchus* pueden causar la podredumbre de las raíces y tubérculos debido a la perforación extensa del tejido vegetal (Coyne et al., 2007). *Heterodera* y *Globodera* formando quistes de color amarillento a

marrón en la raíz de las plantas (Avena-Arambul et al., 2016; Agrios, 2005). *Rotylenhulus* genera agrietamiento en las raíces y tubérculos (Coyne et al., 2017).

El género *Meloidogyne* es el de mayor importancia en los sistemas de producción hortícola (Avena-Arambul et al., 2016), con pérdidas de rendimiento entre 50 a 60% en cultivos de zanahoria, cilantro y uva, en tanto que en cultivos de tomate y Okra genera pérdidas superiores a 70% (Ravichandra, 2014). El género *Meloidogyne* incluye más de 60 especies de los cuales se consideran las especies *M. incognita*, *M. javanica*, *M. arenaria* y *M. hapla* como las cuatro principales plagas (Jones et al., 2011).

### **3.2.2 Morfología de *Meloidogyne***

El género *Meloidogyne* presenta dimorfismo sexual, con hembras adultas en forma de globosa y machos vermiforme (Coyne et al., 2017). El segundo estado juvenil (J2) es migratorio y puede localizarse en el suelo y planta, caracterizado por tener forma vermiforme y anulado, con una longitud de 0.5 mm y presenta estilete (Jonathan, 2010). Los machos son migratorios de vida libre en el suelo, con apariencia de gusano de 1.0 a 2.0 mm de longitud y 0.036 mm de diámetro, presentan estilete fuerte (Coyne et al., 2017; Jonathan, 2010).

La hembra adulta sedentaria es de color blanco perla, cuerpo globoso entre 0.3 a 0.7 mm de diámetro, cuello delgado, vulva subterminal cerca del ano, cutícula blanquecina y anulada, y estilete más delgado que los machos (Jonathan, 2010; Luc et al., 2005). La hembra llega a poner entre 500 a 1000 huevecillos (Coyne et al., 2017), colocados en masas gelatinosas generalmente en la superficie de las raíces

con nódulos, aunque también pueden depositarlo dentro tejido del nódulo (Perry y Moens, 2013).

### **3.2.3 Ciclo biológico de *Meloidogyne***

El nematodo fitoparasito completa un ciclo entre 3 y 4 semanas, desde huevo hasta la segunda generación de huevo (Arauz-Cavallini, 1998). Este tiempo puede variar dependiendo de la especie de nematodo nodulador, planta huésped y temperatura (Singh y Phulera, 2015). El ciclo comprende de seis estados: huevecillo, cuatro estados juveniles (J1, J2, J3 y J4) y adulto (Singh y Phulera, 2015; Arauz-Cavallini, 1998), tal como se observa en la figura 02.

La hembra deposita los huevecillos en masa, siendo al inicio suave y pegajosa que posteriormente con la edad se vuelve más firme y de color marrón oscuro, dentro del huevo comienza la embriogénesis que da lugar al primer estadio juvenil (J1) (Perry et al., 2009). El J1 muda dentro del huevo al estado juvenil infeccioso (J2) que eclosiona del huevo (Jones et al., 2013). El J2 puede migrar al suelo y volver a penetrar a la raíz para alimentarse, posteriormente, volverse sedentario y mudar tres veces para finalmente convertirse en macho o hembra adulto (Kennedy y Harnett, 2013). Los estadios J3 y J4 no se alimentan y carecen de estilete funcional (Jones et al., 2013).

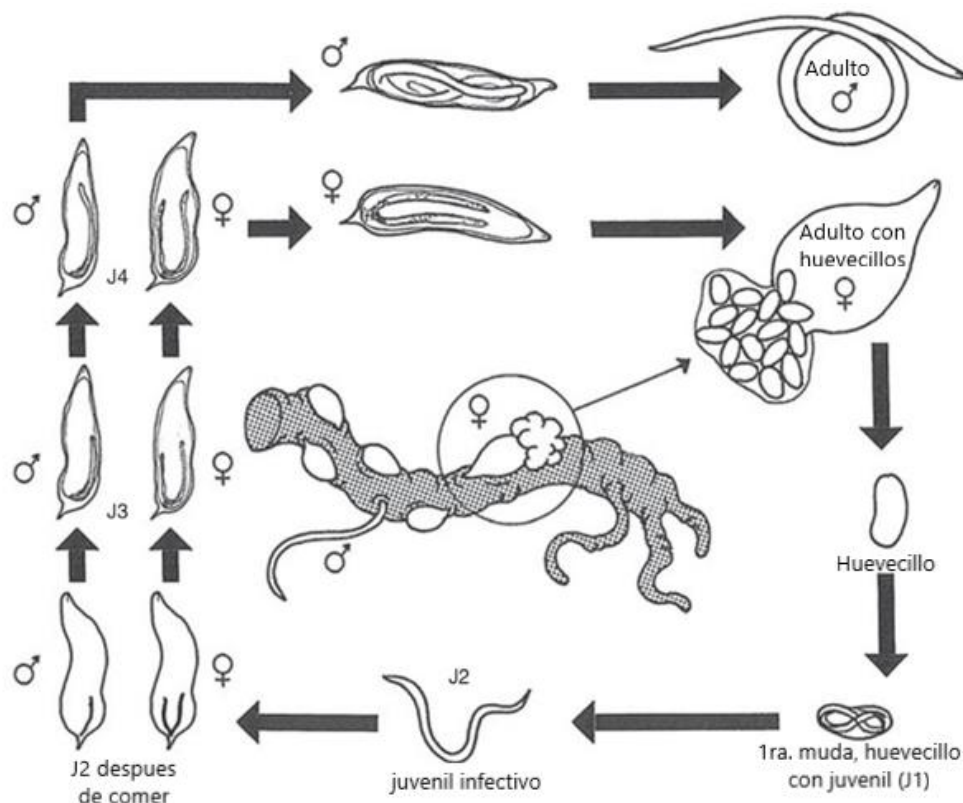


Figura 2. Diagrama del ciclo biológico del nematodo nodulador de la raíz (*Meloidogyne*). J2: segundo estadio juvenil; J3: tercer estadio juvenil; J4: cuarto estadio juvenil. (Fuente: Perry et al., 2009).

### 3.2.4 Distribución del *Meloidogyne*

El nematodo nodulador es huésped de una gran variedad de cultivos como arroz, trigo, alfalfa, frijol, zanahoria, maíz, algodón, lechuga, melón, cebolla, chícharo, chile, papa, sorgo, girasol, tomate, betabel, entre otros (UCANR, 1990). Tiene una distribución cosmopolita, siendo más común en regiones del trópico, climas mediterráneos y templado cálidos (Saucet et al., 2016), con incidencia de *M. incognita*, *M. javanica*, *M. arenaria* y *M. hapla* en América, África, Europa, Asia y Australia (Eisenback y Triantaphyllou, 1991).

Entre los nematodos agalladores de mayor importancia agrícola se encuentran las especies *M. incognita*, *M. javanica*, *M. arenaria* y *M. hapla*,

distribuidas individualmente o combinados en diferentes regiones agrícolas de México, siendo *M. incognita* la especie predominante en zonas cálidas (Cid del Prado et al., 2001). La presencia de este parasito se ha reportado en diferentes estados de México, como Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Chiapas, Colima, Durango, Estado de México, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tabasco, Tlaxcala, Veracruz, Zacatecas (Romero-Bastidas et al., 2019; Díaz-Valdés et al., 2014; Cid del Prado et al., 2001)

### **3.2.5 Efectos de *Meloidogyne* en el cultivo de pepino**

Los nematodos del género *Meloidogyne* causa grandes pérdidas económicas en el rendimiento de cultivos hortícolas (Yang et al., 2015). Este parasito tiene una alta penetración y reproducción en el sistema radicular de pepino (López-Gómez y Verdejo-Lucas, 2017). Uno de los síntomas más comunes son las agallas producidas en las raíces que impiden el transporte de agua y nutrientes en las plantas, por lo que eventualmente las plantas con alta infestación morirán (Navarrete et al., 2018; Devran et al., 2017).

Estos síntomas son provocados por el segundo estadio juvenil (J2) que se acumula en la región de elongación celular de la raíz, así como en los meristemas apicales y sitios donde haya penetrado anteriormente otro J2 (Perry et al., 2013). La alimentación de J2 en las células de protoxilema y protofloema induce diferenciación de células llamadas células gigantes, que son células especializadas para crianza (Perry et al., 2009).

Los fotosintatos producidos por las plantas circulan hacia las células gigantes para la alimentación del nematodo lo que resulta en la reducción del crecimiento y desarrollo de la planta (Eisenback y Triantaphyllou, 1991). Posteriormente se produce hiperplasia e hipertrofia de tejido en los sitios de alimentación que origina las agallas, característica asociados a *Meloidogyne* (Flores-Lara et al., 2010).

### **3.2.6 Métodos de control**

Entre las prácticas culturales que se implementan se encuentra: a) labranza que permite la exposición de las raíces a temperaturas altas; b) manejo del agua a fin de evitar el estrés hídrico y hacer más susceptible la planta; c) limpieza en los equipos para evitar la diseminación del nematodo; d) rotación de cultivos con especie de planta no huésped (Sing y Phulera, 2015).

La estrategia comúnmente utilizada por los agricultores para contrarrestar la presencia de nematodos es la aplicación de plaguicidas a base de organofosforados y carbamatos (Jones et al., 2016). Así como Bromuro de metilo (Wang et al., 2015), producto considerado altamente tóxico para el ser humano y el medio ambiente, motivo por el cual su uso ha sido restringido o retirado del mercado (Gupta et al., 2017; Wang et al., 2015).

Otras alternativas ecológicas son cultivos de cobertura, variedades resistentes, control biológico y uso de injertos (Giné et al., 2013; Castro et al., 2011). Al establecer cultivos de cobertura pueden generar bajos ingresos en los productores lo que resulta no ser redituables (Everts et al., 2006). El empleo de variedades resistentes puede suprimir la población de nematodos, aunque existe el

riesgo de no adaptarse la planta a las condiciones agroclimáticas de la región (Talavera et al., 2009).

El control biológico con actividad nematicida con rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas (Zhao et al., 2018), hongos entomopatógenos (Terefe et al., 2009), metabolitos microbianos antagónicos (Lee et al., 2018; Huang et al., 2016) y aceites vegetales (Alvarez et al., 2016; Gong et al., 2013; Mashela y Pofu, 2012), ha sido aceptable. Un inconveniente que se tiene al emplear microorganismos de otras regiones agrícolas es la adaptabilidad (Trainer et al., 2014), por lo que se puede reducir su efectividad, además ser lenta la actividad nematicida (Jang et al., 2016). El uso del injerto al emplear portainjertos con tolerancia a nematodos ha sido aceptada con buenos resultados en regiones con problemas con estos microorganismos (Liu et al., 2015).

### **3.3 Importancia del injerto en la producción de pepino en suelo infestado con nematodos**

El uso de portainjertos puede ser favorable en los sistemas de producción de pepino infestados con nematodo nodulador de la raíz, en donde, los portainjertos muestran resistencia favorecida por una menor penetración, muerte celular (por reacción hipersensible) y bloqueo del desarrollo del parásito (Ye et al., 2017). Esta respuesta es generada en la especie *Cucumis metuliferus*, que activa varios factores de transcripción para inducir la expresión de genes de resistencia al nematodo nodulador de la raíz (Ling et al., 2017). Este comportamiento no es similar en los portainjertos existentes, por lo que, el comportamiento agronómico del cultivo

de pepino dependerá de la técnica de injerto y elección del portainjerto (Miao et al., 2019; El-Eslamboly y Deabes, 2014; Goreta Ban et al., 2014)

### **3.3.1 Tipos de injerto**

Los principales tipos de injerto en pepino son aproximación, empalme y púa por hendidura (Lee et al., 2010). La técnica de injerto influye en el crecimiento de la variedad a cultivar, como consecuencia de la rapidez en formación de la unión y reconexión de los haces vasculares, que se produce en el método de aproximación en comparación con las técnicas de empalme y púa por hendidura (Miao et al., 2019). El momento más favorable para la realización del injerto es cuando la variedad y el portainjerto presentan la primera hoja verdadera.

Técnica de empalme (Hassell y Memmott, 2008)

El corte completo de los tallos del portainjerto y la variedad se realiza en un ángulo de entre 60 y 65 grados de inclinación. Una vez seccionadas, se procede a la unión de los tallos de tal manera que la variedad embone sobre el portainjerto y se coloca una pinza o clip para injerto de la medida adecuada, que asegure un correcto ajuste con el fin de asegurar la unión de ambas plantas.

Técnica de púa por hendidura (Hassell y Memmott, 2008)

Se corta el tallo de la variedad 1.5 cm por debajo de los cotiledones y se le da forma de doble bisel de 0.6 a 1.0 cm en su extremo. Posteriormente se elimina el brote del patrón y se hace una hendidura entre los cotiledones por el centro del tallo y hacia abajo, de 1 a 1.5cm. Finalmente se inserta la púa en la hendidura y se une con la pinza o clip.

Técnica de aproximación (Hassell y Memmott, 2008)

Se realiza una incisión en el portainjerto comenzando justo debajo de los cotiledones en el lado opuesto a la primera hoja, hacia abajo y al centro del tallo en ángulo de 30 grados con longitud de corte entre 1.0 a 1.5 cm. Se realiza otra incisión en la variedad comenzando 2.0 cm por debajo de la primera hoja verdadera, hacia arriba y al centro del tallo en el mismo ángulo y longitud de corte que el portainjerto. Posteriormente se ensamblan las dos plantas curvando el tallo de cada una, con lo que se consigue que cada una de las tejidos cortadas se abra y encajen una dentro de la otra, se inmoviliza mediante un clip o pinza. Al cabo de unos días se debe proceder al corte de las hojas de la planta del patrón y las raíces de la variedad.

### **3.3.2 Portainjertos tolerantes a nematodos**

El híbrido Ercole F1 6001 (*C. maxima* × *C. moschata*) presenta resistencia moderada a nematodo nodulador de la raíz, que induce la reducción de hembras, número de masas de huevecillos y número de agallas (Amin y Mona, 2014). Otros portainjertos con resistencia moderada son Huangzhen No.1, Xiuli, Ganfeng No.1, Guozhen No.2 y Banzhen No.3, provenientes de Beijing y Shandong (Li y Chen, 2017). Sin embargo, no todos los portainjertos comerciales pueden presentar esta característica, tal es el caso de del híbrido RS 841 (*C. maxima* × *C. moschata*) que presenta mayor número de huevecillos que en plantas sin injertar (Giné et al., 2017).

Existen recursos genéticos de especies de Cucurbitáceas que puede ser explotados en los sistemas de producción de pepino para para obtener resistencia al nematodo nodulador. Algunas accesiones de Cucurbitáceas, como pepino africano (*Cucumis metuliferus*), melón silvestre (*Cucumis prophetarum*), calabaza

de la cera (*Benincasa hispida*), melón amargo (*Momordica charantia*), estropajo (*Luffa cylindrica*) y sandía silvestre (*Citrullus lanatus* var. *citroides*), presentan resistencia o resistencia moderada (Pinheiro et al., 2019; Abu Irmaileh et al., 2014; Shen et al., 2007) de la raíz. Otras accesiones de resistencia moderada son *Cucumis anguria*, *C. ficifolius*, *C. zeyheri* y *C. pustulatus*, siendo esta última la más resistente (Liu et al., 2015).

### **3.3.3 Producción y calidad de pepino injertado en suelo con nematodos**

La producción de pepino injertado con portainjertos híbridos (*C. maxima* x *C. moschata*) Shintoza, Ercole 6001, RZ y Super Shintosa, favorece el crecimiento vegetativo y rendimiento precoz, total y comerciable bajo suelos infestados con *M. incognita* (El-Eslamboly y Deabes, 2014). Durante dos años de cultivo, la variedad de pepino Sinai injertada con Ercole 6001 en promedio incrementó el rendimiento precoz 30%, rendimiento total 36%, diámetro y longitud de fruto en 51% y 8%, respectivamente, bajo suelos contaminados con *M. incognita* (Amin y Mona, 2014). En tanto que, en la variedad de pepino Lama injertada con Shintoza, Ercole 6001, RZ y Super Shintosa fue similar la longitud, diámetro, forma y contenido de sólidos solubles (El-Eslamboly y Deabes, 2014).

El efecto positivo en el crecimiento y producción de la planta puede estar inducida por la mejora en comportamiento fotosintético (Fotosíntesis neta, conductancia estomática, concentración intercelular de CO<sub>2</sub>) y actividad de enzimas antioxidante (SOD, POD, CAT y APX) en las hojas de la planta injertada bajo ambiente infestados por *M. incognita* (Zhang et al., 2009). Así como, la reducción en el número de días a floración (Amin y Mona, 2014).

Por su parte Goretta Ban y colaboradores (2014) no observaron cambios en el contenido de sólidos solubles totales, el pH y la conductividad eléctrica de la fruta, por lo que recomiendan el uso de la portainjertos como alternativa en la producción de pepino en suelos infestados con nematodo nodulador de la raíz, aunque el efecto dependerá de la elección del portainjerto.

## IV. METODOLOGÍA

### 4.1 Ubicación geográfica y condiciones climáticas

La presente investigación se llevó a cabo en el ciclo primavera-verano del año 2019, en un invernadero de baja tecnología cubierto con lámina de policarbonato, Ubicado a 32° 24' 19" de latitud norte y los 115° 11' 48" de longitud oeste, con una altitud de 10 msnm. Esta región presenta un clima muy árido o muy seco y con régimen de lluvias en invierno. En el año 2019, las condiciones de temperatura promedio fueron de 10 a 35 °C y sin precipitación acumulada al mes de junio de 2019.

### 4.2 Material genético y técnica de injerto

Las variedades pepino Centenario y Tirano fueron empleadas como vástago, y como portainjertos cinco colectas de Cucurbitáceas de la especie *Cucurbita maxima* "CMA26", *Cucurbita moschata* "CMO30", y *Lagenaria siceraria* "LAG48", "LAG50" y "LAG53". Adicionalmente se utilizó el portainjerto comercial Forticuke F1 como testigo. La técnica de injerto empleada fue el de púa de acuerdo a la metodología de Hassell y Memmott (2008).

### 4.3 Producción de plántula

Las siembras de los portainjertos y las variedades se realizaron en bandejas de germinación de 128 y 200 cavidades, respectivamente. Las charolas se desinfectaron previamente a la siembra. El sustrato utilizado fue peat moss. Los portainjertos fueron sembradas cuatros días posteriores a la siembra de las variedades.

#### **4.4 Características vegetativas de plántulas para injerto**

Una vez extendido los cotiledones de las plántulas se seleccionaron 15 plantas al azar para cuantificar las características vegetativas de los materiales genéticos. Las variables medidas fueron ancho y longitud de cotiledón, y diámetro y altura del tallo. Todos los parámetros fueron medidos con el apoyo del vernier y expresado en milímetros.

#### **4.5 Elaboración de injertos**

El injerto del pepino se realizó cuando el portainjerto y vástago presentaron la primera hoja verdadera. Una vez recién injertadas las plántulas se colocaron en bandejas de germinación de 128 cavidades y se trasladaron a la cámara ambiental con humedad relativa de 75 a 90 % y temperatura de 20 a 25 °C, durante un periodo de seis días. Al séptimo día se inició el proceso de aclimatización, que consistió en bajar la humedad relativa a 60 a 75 %. A los 15 días de elaborado el injerto se cuantifico el porcentaje de prendimiento del injerto.

#### **4.6 Diseño experimental y tratamientos**

El experimento se llevó a cabo en un diseño en bloques al azar con tres repeticiones y unidad experimental de 25 plantas. Los tratamientos fueron la variedad Centenario/LAG48, Centenario/LAG53, y Centenario/Forticuke F1, que fueron las combinaciones con porcentaje de sobrevivencia mayor a 60%, como resultado de la fase 2. Adicionalmente se añadió la planta sin injertar de la variedad.

#### **4.7 Establecimiento y manejo del cultivo**

Las plántulas de los distintos tratamientos fueron colocados en bolsas de polietileno negro calibre 600 de 35 x 35 cm (capacidad de 10 L), conteniendo una suelo infestado de nematodo. Análisis previo del suelo mostraron una población de nematodos de 45 por 100 gr de suelo. Los riegos se aplicaron con agua de 1.1 dS  $m^{-1}$  y un pH de 8.4, en tres lapsos de tiempo durante el día y un volumen de 250 ml/maceta.

A los 14 días posterior a la plantación se efectuaron los riegos con solución nutritiva (en meq  $L^{-1}$ ) de 8.00  $K^+$ , 8.00  $Ca^{+2}$ , 2.70  $Mg^{+2}$ , 1.25  $NH_4^+$ , 16.00  $NO_3^-$ , 2.70  $SO_4^{-2}$  y 1.25  $H_2PO_4^-$  (Cadahia, 2005). Los micronutriente fueron aportados con 15 mg  $L^{-1}$  de fertilizante Haifa Micro Comb. El manejo cultural de las plantas fue acorde a los sistemas de producción de los agricultores de la región, con un sistema de conducción a un solo tallo.

#### **4.8 Variables evaluadas**

Las variables evaluadas fueron parámetros vegetativos y de fruto. Los parámetros vegetativos fueron evaluados a los 30 días posteriores al injerto. La altura de planta (cm) y distancia entrenudos (cm) se midió con una cinta métrica. El diámetro del tallo (mm) se consideró a la mitad de la altura de la planta con ayuda de un vernier digital. El número de hoja se contabilizo como la cantidad total. El área foliar ( $cm^2$ ) se determinó mediante un medidor de área (LI-3100C).

Las variables de fruto analizadas fueron peso (gr), longitud (cm), diámetro (mm), firmeza externa e interna (newton) y Grados Brix (%). El peso promedio de

los frutos se obtuvo por planta mediante una báscula digital. La longitud de los frutos se obtuvo utilizando una regla marcada en centímetros. El diámetro de los frutos se midió con un vernier digital. La firmeza externa del fruto se cuantificó con un medidor de fuerza digital Chatillon DFE-100, para lo cual se realizaron tres punciones en la cascara del fruto. La firmeza interna se obtuvo cortando a la mitad el fruto y sobre la pulpa se realizaron tres punciones. Los grados brix se cuantificó mediante un refractómetro digital en una muestra del jugo de la pulpa del fruto.

#### 4.9 Análisis estadístico

El experimento se analizó como un diseño en bloques al azar, bajo el modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad i = 1, \dots, t \quad j = 1, \dots, b \quad k = 1, \dots, c$$

Dónde:

- $Y_{ij}$  = variable de respuesta en la unidad  $j$  del tratamiento  $i$ .
- $\mu$  = media general
- $T_i$  = efecto del  $i$ -ésimo tratamiento
- $\beta_j$  = efecto del  $j$ -ésimo bloque
- $\varepsilon_{ij}$  = Error experimental en la unidad  $j$  del tratamiento  $i$ .

El análisis de la información generada se realizó mediante el programa Statistical Analysis System versión 9.0 (SAS, 2004). Las comparaciones de medias se hicieron mediante la prueba de Tukey con un nivel de error de 5%.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Características vegetativas de plántulas de los materiales genéticos

Los caracteres vegetativos de plántulas de los portainjertos y variedades de pepino fueron estadísticamente diferentes (cuadro 03). El mayor ancho y longitud de cotiledón se registró en el portainjerto comercial Forticuke F1. Las colectas de Lagenaria LAG48 y LAG50 presentaron dimensiones similares ancho y largo de cotiledón con la variedad de pepino Centenario, mientras que en altura y diámetro de tallo existió mayor coincidencia del pepino con la accesión LAG53. En la variedad Tirano, las dimensiones tuvieron mayor contraste con relación a las registradas en los portainjertos. La similitud en las dimensiones en la variedad a injertar y portainjertos, facilita la elaboración de injertos, al asegurar mayor área de contacto entre los cortes.

Tabla 3 Características vegetativas de portainjertos y variedades de pepino

Material vegetativo	Accesión	Ancho del cotiledón (cm)	Largo del cotiledón (cm)	Altura del tallo (cm)	Diámetro del tallo (mm)
		***	***	***	***
Portainjerto	CMA26	2.68±0.04 b	4.71±0.16 ab	3.40±0.28 c	3.14±0.13 ab
	CMO30	2.36±0.03 cd	4.92±0.18 ab	2.68±0.29 c	2.49±0.03 cd
	LAG48	2.19±0.03 de	4.42±0.16 bc	4.77±0.42 b	2.69±0.16 bc
	LAG50	2.05±0.02 ef	3.96±0.11 cd	6.02±0.03 a	2.70±0.07 bc
	LAG53	2.57±0.03 bc	4.54±0.11 bc	5.44±0.13 ab	2.82±0.09 abc
	Forticuke F1	3.48±0.11 a	5.25±0.12 a	4.68±0.18 b	3.25±0.09 a
Variedad	Centenario	2.15±0.09 de	3.44±0.06 de	5.33±0.05 ab	3.14±0.10 ab
	Tirano	1.86±0.04 f	3.11±0.08 e	5.56±0.04 ab	2.12±0.02 d

\*\*\* Nivel de significancia al 0.001. <sup>abc</sup> Medias con diferente letra en la misma columna son estadísticamente diferentes (P < 0,05).

## 5.2 Porcentaje de sobrevivencia

El porcentaje de prendimiento de los injertos fue mayor en la variedad Centerario al injertar con los materiales LAG53, LAG48 y Lag50 (figura 03). En cuanto a la variedad Tirano, el prendimiento fue menor con las accesiones de *Lagenaria siceraria* y *Cucurbita spp.* Estos resultados indican que la variedad Centenario presento mayor compatibilidad con las accesiones de Lagenaria evaluadas, siendo necesario identificar la combinación específica con mayor afinidad con cada variedad. Por su parte, El-Eslamboly y Deabes (2014), encontraron que el porcentaje de prendimiento de planta injertada es más alto empleando portainjertos de híbridos de calabaza y Lagenaria con prendimiento superiores al 90% en pepino variedad Lama.

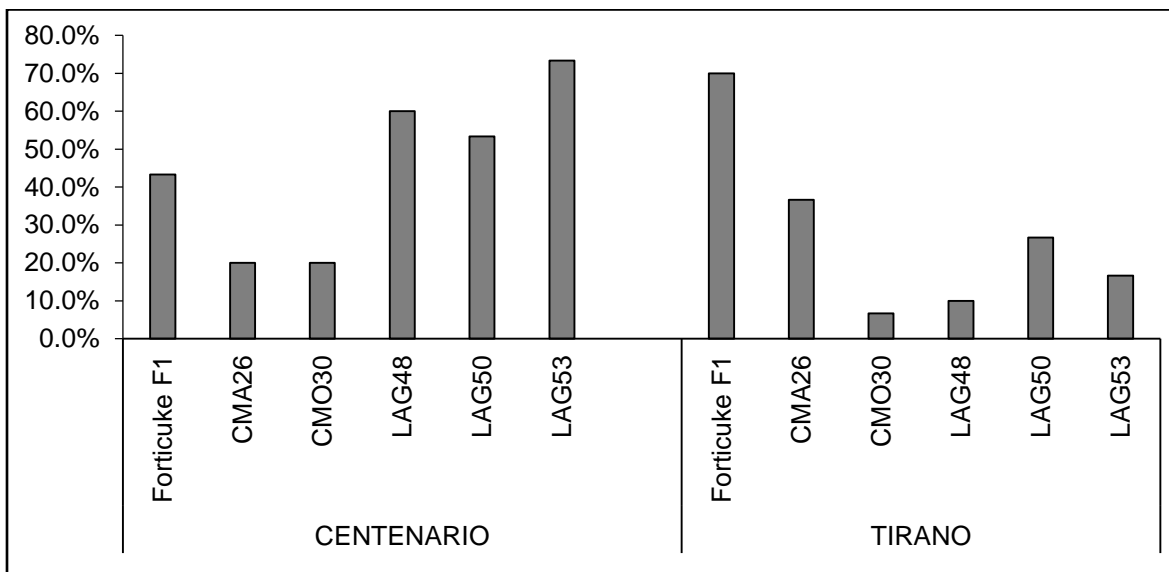


Figura 3. Porcentaje de prendimiento de injertos en dos variedades de pepino y seis portainjertos.

### 5.3 Parámetros vegetativos

Entre los distintos parámetros de crecimiento de planta evaluados a los 30 días posteriores al injerto con incidencia de nematodos solo se presentan diferencias significativas en altura de planta, número de hojas y área foliar (cuadro 04), observándose valores más altos en plantas injertadas. Posiblemente como consecuencia del nivel de tolerancia que tienen los portainjertos a la incidencia de nematodos. En donde, se ha demostrado que en plantas de pepino injertadas con *Lagenaria siceraria* e híbrido de calabaza (*Cucurbita máxima* x *Cucurbita moschata*) variedad Ercole F1 No 6001, presentan menor población de nematodos en el suelo, así como, menor número de estadios juveniles, adultos y masa de huevecillos en las raíces en contraste con las plantas sin injertar (Abd El-Wanis et al., 2013).

Tabla 4. Parámetros de crecimiento de planta de pepino variedad Centenario injertado con portainjerto comercial y de *Lagenaria siceraria* en suelos infestados con nematodos

Condición de la planta	Altura de planta (cm)	Diámetro del tallo (mm)	Distancia entrenudo (cm)	Número de hojas	Área foliar (cm <sup>2</sup> )
	***	NS	NS	**	*
Testigo	127.01±5.20 b	13.43±0.55	11.38±0.60	11.12±1.00 b	148.95±7.06 c
LAG48	142.05±2.00 b	12.87±0.47	12.54±0.29	16.57±1.76 a	166.22±1.99 ab
LAG53	160.69±8.17 a	13.13±0.33	12.83±0.83	16.23±1.33 a	164.14±5.48 ab
Forticuke F1	173.53±2.02 a	12.90±0.01	13.11±0.29	16.54±2.02 a	177.27±1.33 a

<sup>ns</sup> no significativo, \*nivel de significancia al 0,05, \*\* nivel de significancia al 0,01, \*\*\* nivel de significancia al 0,001. <sup>abc</sup> Medias con diferente letra en la misma columna son estadísticamente diferentes (P < 0,05).

### **5.3.1 Altura de planta (cm)**

La mayor altura de planta se obtuvo en la planta injertada con Forticuke F1, presentando 173.53 cm, lo que representa un incremento de 172.0 % en comparación con el testigo (Cuadro 04). Seguido de la planta injertada con Lagenaria LAG53 con 160.69 cm de altura, que representa un aumento de 125.0 % en comparación con la planta sin injertar. Mientras que al emplear el portainjerto L48 no presentó diferencia significativa con la planta sin injertar.

La longitud del tallo de la planta a los 43 días después del trasplante en suelo infestado con nematodos es favorecida por los portainjertos híbridos de calabaza Strong Tosa y RS 841 con aumento de 15.5 %, mientras que, en portainjertos de *Lagenaria siceraria* exhibe incrementos entre 0.0 y 4.9 % en comparación con la planta sin injertar (Goreta Ban et al., 2014). El-Eslamboly y Deabes (2014) observaron que portainjertos de *Lagenaria siceraria* e híbridos de calabaza exhiben mayor longitud de planta con una superioridad media del 63.5 y 33.1 %, respectivamente, al evaluar la variedad de pepino Lama en suelos infestados de nematodos.

### **5.3.2 Diámetro del tallo (mm)**

Esta característica se mantuvo en promedio entre 12.87 y 13.43 mm en las plantas normales e injertadas bajo condiciones de infestación de nematodos (Cuadro 04). Estas variaciones no fueron estadísticamente significativas en los diferentes tratamientos evaluados. El portainjerto Forticuke F1 presentó la menor variación en este parámetro.

Estos resultados son contradictorios con los obtenidos por El-Eslamboly y Deabes (2014) quienes encontraron incrementos significativos en el grosor del tallo al emplear portainjertos de *Lagenaria siceraria* e híbridos de calabaza, siendo mayor en este último, en evaluaciones de planta injertada y sin injertar de pepino cultivados en suelos infestados con nematodos.

### **5.3.3 Distancia entrenudo (cm)**

La longitud del entrenudo oscilo en promedio entre 11.38 y 13.11 cm en las plantas normales e injertadas, presentando estadísticamente valores similares entre los tratamientos evaluados (Cuadro 04). No obstante, este parámetro fue más estable en los portainjerto LAG48 y Forticuke F1.

Los valores obtenidos de distancia entrenudos difieren con reportados por El-Eslamboly and Deabes (2014) quienes encontraron que este carácter llega a incrementarse en promedio 84.1 y 40.0 % en plantas injertadas con *Lagenaria siceraria* e híbridos de calabaza, respetivamente, al evaluar plantas de pepino desarrollados en suelos infestados con nematodos.

### **5.3.4 Numero de hojas**

El número de hojas fue significativamente mayor en las distintas combinaciones de las plantas injertadas, presentando en promedio 16 hojas al emplear los diferentes portainjertos, lo que representa una superioridad del 87.0 % en comparación con las plantas sin injertar (Cuadro 04).

Respuestas similares en esta variable, han sido reportadas por Eslamboly y Deabes (2014), quienes cuantificaron incrementos hasta 115% en número de hojas

al injertar pepino Lama en portainjertos de *Lagenaria siceraria* y calabaza en condiciones de suelos infestados de nematodos. En otros casos los portainjertos de *Lagenaria* no alteran la producción de hojas con respecto a la condición normal de las plantas (Goreta Ban et al., 2014).

### **5.3.5 Área foliar**

La superficie de hoja fue favorecida por los portainjertos de *Lagenaria* y el comercial Forticuke F1 en las plantas de pepino (Cuadro 04), presentándose una superioridad de 57.9, 35.3 y 31.0 % en área foliar al emplear los portainjertos Forticuke F1, LAG48 y LAG53, respectivamente.

Estos resultados son congruentes con el comportamiento de pepino variedad Lama injertado en diferentes híbridos de calabaza y *Lagenaria siceraria*, exhibiendo incrementos del 58.8 y 26.7 %, respectivamente (Eslamboly y Deabes, 2014). En pepino variedad Sinai injertado con calabaza blanca (*Benincasa hispida*) e híbrido de calabaza Ercole, ha aumentado el área foliar entre 14.0 y 23.7 %, con valores más altos en portainjerto híbrido de calabaza (Amin y Mona, 2014).

### **5.4 Parámetros de calidad de fruto**

Los parámetros de calidad de fruto de pepino como longitud, diámetro, firmeza externa y contenido de grados brix no fueron alterados por los diferentes portainjertos empleados en las plantas de pepino desarrolladas en suelos con nematodos (cuadro 05). Tan solo el peso y firmeza interna del fruto fue mayor en plantas injertadas, principalmente al injertar con el portainjerto comercial y LAG53.

Tabla 5. Parámetros de calidad de fruto de pepino variedad C injertado con portainjerto comercial y accesiones de *Lagenaria siceraria* en suelos infestados con nematodos

Tratamiento	Peso (gr)	Longitud (cm)	Diámetro (mm)	Firmeza externa (N)	Firmeza interna (N)	Grados Brix (%)
	*	NS	NS	NS	*	NS
Testigo	185.50±03.75 b	19.77±1.25	38.60±3.29	69.97±4.24	36.17±4.28 b	5.10±0.20
LAG48	213.67±21.67ab	21.97±1.27	39.33±3.49	64.85±4.69	36.96±4.47 b	5.90±0.55
LAG53	212.67±13.98 a	21.13±1.19	41.13±1.94	71.03±3.13	40.74±5.31ab	5.97±0.27
Forticuke F1	232.50±02.02 a	21.65±0.03	45.65±0.89	73.64±0.19	56.60±2.56 a	6.05±0.20

ns no significativo, \*nivel de significancia al 0,05, \*\* nivel de significancia al 0,01, \*\*\* nivel de significancia al 0,001. <sup>abc</sup> Medias con diferente letra en la misma columna son estadísticamente diferentes (P < 0,05).

#### 5.4.1 Peso (gr)

Los frutos provenientes de las plantas sin injertar presentaron el menor peso con promedio de 185.50 g, mientras que los generados en plantas injertadas incrementaron 47.0, 28.2 y 27.2 g más que las sin injertar en los portainjertos Forticuke F1, LAG48 y LAG53, respectivamente (Cuadro 05).

Incrementos similares fueron encontrados al emplear la variedad Lama injertada con diferentes portainjertos de *Lagenaria siceraria* comerciales, en donde, los aumentos fueron de 23.6 a 26.3 g más que frutos proveniente de plantas sin injertar (Eslamboly y Deabes, 2014), mientras que, en la variedad de pepino Sinai y Lama injertados con híbridos de calabaza no presenta incrementos significativos al desarrollarse las plantas en ambientes infestados con nematodos (Ami y Mona, 2014; Eslamboly y Deabes, 2014).

#### **5.4.2 Longitud (cm)**

La longitud de fruto oscilo en promedio entre 19.77 y 21.97 cm en las plantas normales e injertadas, presentando valores estadísticamente similares entre los tratamientos evaluados (Cuadro 05). No obstante, este parámetro ligeramente fue mayor en frutos provenientes de planta injertada con un incremento de entre 1.4 y 2.2 cm.

Abd El-Wanis y colaboradores (2013) encontraron un aumento de 2.6 cm en la longitud del fruto al emplear portainjerto de *Lagenaria siceraria* en suelos infestados con nematodos y *Fursarium oxysporium*. En la variedad Lama injertada con portainjerto de *Lagenaria*, los incrementos en la longitud oscilaron entre 0.4 y 1.8 cm (Eslamboly y Deabes, 2014).

#### **5.4.3 Diámetro (mm)**

El diámetro de frutos provenientes de plantas injertadas y sin injertar presentó en promedio entre 38.60 y 45.65 mm en las plantas normales e injertadas, presentando similitud estadística entre los tratamientos evaluados (Cuadro 05). No obstante, este parámetro fue ligeramente mayor en frutos provenientes de planta injertada con los portainjertos Forticuke F1 y LAG53.

El diámetro del fruto se incrementa por efecto de portainjertos de *Lagenaria siceraria* en la variedad Lama obteniéndose superioridad de hasta 34.6%, mientras que con portainjerto híbridos este carácter se reduce hasta 6% en comparación con la planta sin injertar (Eslamboly y Deabes, 2014).

#### **5.4.4 Firmeza externa (N)**

Las plantas injertadas y sin injertar exhibieron una firmeza externa de fruto en promedio entre 69.97 y 73.64 N, presentando valores estadísticamente similares entre los tratamientos evaluados (Cuadro 05). El valor de este carácter numéricamente fue mayor en planta injertada con los portainjertos Forticuke F1 y LAG53.

La firmeza en los frutos es importante al momento de la recolección, empaque y transporte, debido a que incrementa la resistencia al daño físico o mecánico (Rouphael et al., 2010). Dado los resultados obtenidos en esta investigación, la firmeza no se afecta por el injerto, lográndose mantener la resistencia al daño físico del fruto.

#### **5.4.5 Firmeza interna (N)**

La mayor firmeza de pulpa se obtuvo en los frutos provenientes de planta injertada sobre los portainjertos Forticuke F1 y LAG53, con un incremento de 56.5 y 12.6 %, respectivamente en comparación con las plantas testigo (Cuadro 05). Mientras que, al emplear el portainjerto LAG48 no se modifica este parámetro. En plantas de sandía, la firmeza de la pulpa es favorecida por el injerto al inducir un mayor valor (Suárez-Hernández et al., 2017).

#### **5.4.6 Grados Brix**

Las plantas injertadas y sin injertar exhibieron un contenido de grados Brix de fruto en promedio entre 5.1 y 6.1 %, sin presentarse diferencias estadísticas entre

los tratamientos evaluados (Cuadro 05). El valor de este carácter numéricamente fue mayor en planta injertada.

En contraparte, valores inferiores de sólidos solubles totales han sido reportados por Eslamboly y Deabes (2014) en plantas de pepino variedad Lama injertadas con *Lagenaria siceraria*.

## VI. CONCLUSIÓN

Las accesiones de *Lagenaria siceraria* LAG53 y LAG48 tuvieron mayor compatibilidad con plantas de pepino de la variedad Centenario. Parámetros de crecimiento vegetativo como altura de planta, número de hojas y área foliar se incrementaron con la combinación de la variedad Centenario con los portainjertos Forticuke F1 y *Lagenaria siceraria* accesiones LAG48 y LAG53, en condiciones de incidencia de nematodos en suelo. La distancia entrenudos y diámetro del tallo no se ve afectado en plantas injertadas. Los parámetros de calidad de fruto de pepino como longitud, diámetro, firmeza externa y contenido de grados brix no fueron alterados por los diferentes portainjertos empleados. El peso y firmeza interna del fruto fue mayor en plantas injertadas, principalmente al injertar con el portainjerto Forticuke F1 y LAG53.

## VII. LITERATURA CITADA

- Abd El-Wanis M. M., Amin A. W. and Tomader G. A. R. 2013. Evaluation of some Cucurbitaceous rootstocks 2-effect of cucumber grafting using some rootstocks on growth, yield and its relation with root-knot nematode *Meloidogyne incognita* and Fusarium wilt, infection. *Egyptian Journal of Agricultural Research*, 9(1):235-257.
- Abu Irmaileh B. E., Mansour A. N., Al Banna L. S. and Badwan, H. O. (2014). Comparative tolerances of two *Cucumis* species to salinity, *Rhizoctonia solani* and *Meloidogyne incognita*. *Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization*, 12(2):178-184.
- Agrios G. N. (2005). *Plant pathology*. Fifth edition. Elsevier. 921 p.
- Ahn S. J., Im Y. J., Chung G. C., Cho B. H. and Suh S. R. (1999). Physiological responses of grafted-cucumber leaves and rootstock roots affected by low root temperature. *Scientia Horticulturae*, 81:397-408.
- Allen R. G. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 322 p.
- Allen R. G., Pereira L., Raes D. and Smith M. (1998). *Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 328 p.

- Álvarez D., Botina J., Ortiz A. and Botina L. (2016). Evaluación nematicida del aceite esencial de *Tagetes zypaquirensis* en el manejo del nematodo *Meloidogyne spp.* *Ciencia e investigación agraria*, 33(1):22-33.
- Amin A. W. and Mona A. W. (2014). Protecting cucumber from *Meloidogyne incognita* using graft onto resistant cucurbit rootstocks and antagonistic marigold as an alternative to nematicide. *Pakistan Journal of Nematology*, 32(1):51-58.
- Arauz-Cavallini L. F. (1998). *Fitopatología: Un Enfoque Agroecológico*. 1ra edición. Editorial de la Universidad de Costa Rica. San José, costa Rica. 144 p.
- Arias S. (2007). *Manual de producción de pepino*. USAID, Programa de Diversificación Económica Rural. La Lima, HN. 31 p.
- Avena-Arambul B., Ceceña-Durán C., González-Mendoza D., Grimaldo-Juárez O. y Durán-Hernández D. (2016). Conducta poblacional de fitonematodos en cultivos agrícolas en el valle de Mexicali, Baja California. *OmniaScience*. 52 p.
- Baninasab B. and Ghobadi C. (2011). Influence of paclobutrazol and application methods on high-temperature stress injury in cucumber seedlings. *Journal Plant Growth Regulation*, 30:213-219.
- Bojaca C. y Monsalve O. (2012). *Manual de producción de pepino bajo invernadero*. Primera edición, Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, 208 p.

- Cadahia C. (2005). *Fertirrigación: cultivos hortícolas, frutales y ornamentales*. Madrid, España: Mundi-Prensa. 681 p.
- Cao Y., Tian Y., Gao L. and Chen Q. (2016). Attenuating the negative effects of irrigation with saline water on cucumber (*Cucumis sativus* L.) by application of straw biological-reactor. *Agricultural Water Management*, 163:169-179.
- Cardona-Mejía C. y Mesa-Cobo N. C. (2015). *Entomología económica y manejo de plagas*. Valle del Cauca, Colombia.: Universidad Nacional de Colombia. 408 p.
- Castellanos J. Z. (Ed). (2004). *Manual de producción hortícola en invernadero*. México: INTAGRI. 469 p.
- Castilla-Prados N. y Bretones-Castillo F. (1983). El pepino en invernadero. *Horticultura: Revista de Industria Distribución y Socioeconomía Hortícola*, 9:17-24.
- Castro L., Flores L. y Uribe L. (2011). Efecto de vermicompost y quitina sobre el control de *Meloidogyne incognita* en tomate a nivel de invernadero. *Agronomía Costarricense*, 35(2):21-32.
- Chaves-Barrantes N. F. y Gutiérrez-Soto M. V. (2017a). Respuestas al estrés por calor en los cultivos: II. Tolerancia y tratamiento agronómico. *Agronomía Mesoamericana*, 28:255-271.
- Chaves-Barrantes N. F. y Gutiérrez-Soto M. V. (2017b). Respuestas al estrés por calor en los cultivos: I. Aspectos moleculares, bioquímicos y fisiológicos. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1):237-253.

- Chen B., Saltveit M. E. and Beckles D. M. (2019). Chilling-stress modifies DNA methylation level in cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedling radicle to regulate elongation rate. *Scientia Horticulturae*, 252:14-19.
- Cid del Prado Vera I., Tovar Soto A., Hernández J. (2001). Distribución de Especies y Razas de *Meloidogyne* en México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 19(1):32-39.
- Coyne D. L., Nicol J. M. y Claudius-Cole B. (2007). *Nematología práctica: Una guía de campo y laboratorio*. SP-IPM Secretariat, International Institute of Tropical Agriculture (IITA), Cotonou, Benin. 83 p.
- Cruz-Delgado D., León-Rodríguez J. A. y Altamirano-Cárdenas J. R. (2013). México: Factores explicativos de la producción de frutas y hortalizas ante la apertura comercial. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 19(3):267-278.
- Cuenca-Condoy M., Marbán-Mendoza N., Vargas-Hernández M. and Rebollar-Alviter A. (2012). Survey of plant-parasitic nematodes in vineyards in Valle de Guadalupe, B. C. México. *Nematropica*, 42:26-33.
- Devran Z., Mistanoglu I. and Ozalp T. (2017). Occurrence of mixed populations of root-knot nematodes in vegetable greenhouses in Turkey, as determined by PCR screening. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 124:617-630.
- Díaz-Valdés T., Allende-Molar R., Ortiz-Meza J. A., García-Estrada R. S. y Carrillo-Fasio J. A. (2014). Nematodos fitoparásitos asociados al cultivo de papaya (*Carica papaya* L.) en Colima, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(2):317-323.

- Dong L., Huang C., Huang L., Li X. and Zuo Y. (2012). Screening plants resistant against *Meloidogyne incognita* and integrated management of plant resources for nematode control. *Crop Protection*, 33:34-39.
- Eisenback J. D. and Triantaphyllou H. H. (1991). *Root-knot nematodes: Meloidogyne species and races*. 191-274 p., In, W. R. Nickle, ed., *Manual of Agricultural Nematology*. Marcell Dekker: New York.
- El-Eslamboly A. A. S. A. and Deabes A. A. A. (2014). Grafting cucumber onto some rootstocks for controlling root- knot nematodes. *Minufiya Journal of Agricultural Research*, 39(3):1109-1129.
- Elsheery, N. I., Helaly M. N., Omar S. A., John S. V. S., Zabochnicka-Swiatek M., Kalaji H. M. and Rastogi A. (2020). Physiological and molecular mechanisms of salinity tolerance in grafted cucumber. *South African Journal of Botany*, 130:90-102.
- Fan H. F., Ding L., Xu Y. L. and Du C. X. (2017). Antioxidant system and photosynthetic characteristics responses to short-term PEG-induced drought stress in cucumber seedling leaves. *Russian Journal of Plant Physiology*, 64(2):162-173.
- Flores-Lara Y., Rivera-Orduño B., Arias-Tobin E. B. y Delgado-Quintanar E. P. (2010). Nematodos asociados al cultivo del olivo (*Olea europaea* L). *INVURNUS* 5(1):23-27.

- Furtana G. B. and Tipirdamaz R. (2010). Physiological and antioxidant response of three cultivars of cucumber (*Cucumis sativus* L.) to salinity. *Turkish Journal of Biology*, 34:287-296.
- Giné A., Bonmatí A., Sarro A., Stchiegel A., Valero J., Ornat C., Fernández C. and Sorribas F. J. (2013). Natural occurrence of fungal egg parasites of root-knot nematodes *Meloidogyne* spp. in organic and integrated vegetable production systems in Spain. *BioControl*, 58:407-416.
- Giné A., González C., Serrano L. and Sorribas F. J. (2017). Population dynamics of *Meloidogyne incognita* on cucumber grafted onto the Cucurbita hybrid RS841 or ungrafted and yield losses under protected cultivation. *European Journal of Plant Pathology*, 148:795-805.
- Gong B., Bloszies S., Li X., Wei M., Yang F., Shi Q. and Wang X. (2013). Efficacy of garlic straw application against root-knot nematodes on tomato. *Scientia Horticulturae*, 1161:49-57.
- Goreta Ban S., Žanić K., Dumičić G., Raspudić E., Vuletin Selak G. and Ban D. (2014). Growth and yield of grafted cucumbers in soil infested with root-knot nematodes. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 74(1):29-34.
- Gupta R. C., Miller Mukherjee I. R., Doss R. B., Malik J. K. and Milatovic D. (2017). *Organophosphates and Carbamates*, In *Reproductive and Developmental Toxicology* (Second Edition), Academic Press, 609-631 p.
- Gupta S. K. and Thind T. S. (2018). *Disease Problems in Vegetable Production*. India: Scientific publishers. 585 p.

- Hassell R. L. and Memmott F. (2008). Grafting Methods for Watermelon Production. *HortScience*, 43(6):1677-1679.
- Howard R. J., Garland J. A. and Seaman W. L. (1994). *Diseases and pests of vegetable crops in Canada*. Canada: The Canadian Phytopathological Society and the Entomological Society of Canada. 1021 p.
- Huang W., Cui J., Liu S., Kong L., Wu Q., Peng H., He W., Sun J. and Peng D. (2016). Testing various biocontrol agents against the root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) in cucumber plants identifies a combination of *Syncephalastrum racemosum* and *Paecilomyces lilacinus* as being most effective. *Biological Control*, 92:31-37.
- Jang J. Y., Choi Y. H., Shin T. S., Kim T. H., Shin K., Park H. W., Kim Y. H., Kim H., Choi G. J., Jang K. S., Cha B., Kim I. S., Myung E. J. and Kim J. C. (2016). Biological Control of *Meloidogyne incognita* by *Aspergillus niger* F22 Producing Oxalic Acid. *PLoS ONE*, 11(6):1-15.
- Jonathan E. I. (2010). *Nematology: Fundamentals & applications*. New india Publishing Agency. 280 p.
- Jones J. G., Kleczewski N. M., Desaegeer J., Meyer S. F. L. (2016). Evaluation of nematicides for southern root-knot nematode management in lima bean. *Crop Protection*, 96:151-157.
- Jones J., Gheysen G. and Fenoll C. (2011). *Genomics and Molecular Genetics of Plant-Nematode Interactions*. Springer. 557 p.

- Jones, J. T., Haegeman A., Danchin E. G., Gaur H. S., Helder J., Jones M. G., Kikuchi T., Manzanilla-López R., Palomares-Rius J. E., Wesemael W. M. and Perry R. N. (2013) Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology*, 14:946-961.
- Kennedy M. W. and Harnett W. (2013). *Parasitic Nematodes: Molecular Biology, Biochemistry and Immunology*. Second edition. CABI. 432 p.
- Lee J. M., Kubota C., Tsao S. J., Bie Z., Hoyos-Echevarria P., Morra L. and Oda M. (2010). Current status of vegetable grafting: Diffusion, grafting techniques, automation. *Scientia Horticulturae Reviews*, 127:93-105.
- Lee S. I., Lee K. J., Chun H. H., Ha S., Gwak H. J., Kim H. M., Lee J. H., Choi H. J., Kim H. H., Shin T. S., Park H. W. and Kim J. C. (2018). Process development of oxalic acid production in submerged culture of *Aspergillus niger* F22 and its biocontrol efficacy against the root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 41(3):345-352.
- Li J., Zhang F., Fang D., Li Z., Gao M., Wang H. and Wu D. (2014). Effects of water and nitrogen supply on the growth and water use efficiency of cucumber (*Cucumis sativus* L) under fertigation. *Scientia Agricultura Sinica*, 47(22):4475-4487.
- Li Q., Yu B., Gao Y., Dai A. and Bai J. (2011). Cinnamic acid pretreatment mitigates chilling stress of cucumber leaves through altering antioxidant enzyme activity. *Journal of Plant Physiology*, 168:927-934.

- Li X. Z. and Chen S. X. (2017). Screening and identification of cucumber germplasm and rootstock resistance against the root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*). *Genetics and Molecular Research*, 16(2):gmr16029383
- Ling L., Mao Z., Zhai M., Zeng F., Yang Y. and Xie B. (2017). Transcriptome profiling of *Cucumis metuliferus* infected by *Meloidogyne incognita* provides new insights into putative defense regulatory network in Cucurbitaceae. *Scientific reports*, 7:3544.
- Liu B., Ren J., Zhang Y., An J., Chen M., Chen H., Xu C. and Ren H. (2015). A new grafted rootstock against root-knot nematode for cucumber, melon, and watermelon. *Agronomy for Sustainable Development*, 35:251-259.
- López-Gómez M. and Verdejo-Lucas S. (2017). Penetration and post-infection development of root-knot nematodes in watermelon. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 15(4):e1010.
- López-Zamora C. M. (2003). *Guía técnica: Cultivo del pepino*. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal. Guía técnica no. 17, 45 p.
- Luc M., Sikora R.A. and Bridge J. (2005). *Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture*. Second edition. CABI Publishing. 896 p.
- Mace M. E., Bell A. A. and Beckman C. H. (1981). *Fungal wilt diseases of plants*. Estados Unidos: Academic press.
- Martelo Y., Cortés M. y Restrepo D. (2011). Dinámica de impregnación al vacío en apio (*Apium graveolens* L.) y pepino (*Cucumis sativus* L.). *Revista MVZ Córdoba*, 16(2):2584-2592.

- Mashela P. W. and Pofu K. M. (2012). Interactive effects of *Meloidogyne incognita* race 2, *Bradyrhizobium japonicum* and crude extracts of *Cucumis myriocarpus* fruit on *Vigna unguiculata*. *Crop Protection*, 40:69-72.
- Miao L., Li S., Bai L., Anwar A., Li Y., He C. and Yu X. (2019). Effect of grafting methods on physiological change of graft union formation in cucumber grafted onto bottle gourd rootstock. *Scientia Horticulturae*, 244:249-256.
- Mohsin S. M., Hasanuzzaman M., Bhuyan M. H. M. B., Parvin K. and Fujita M. (2019). Exogenous tebuconazole and trifloxystrobin regulates reactive oxygen species metabolism toward mitigating salt-induced damages in cucumber seedling. *Plants*, 8: 428.
- Navarrete X., Ron L., Viteri P. and Viera W. (2018). Parasitism of the root knot nematode *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White) chitwood in five wild Solanaceae species. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 71(1):8367-8373.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2002). *El cultivo protegido en clima Mediterráneo*. Roma, Italia: FAO. 340 p.
- Ouzounidou G., Giannakoula A., Ilias and Zamanidis P. (2016). Alleviation of drought and salinity stresses on growth, physiology, biochemistry and quality of two *Cucumis sativus* L. cultivars by Si application. *Brazilian Journal of Botany*, 39(2):531-539.
- Perry R. N. and Moens M. (2013). *Plant nematology*. Second edition. CAB International. 568 p.

- Perry R. N., Moens M. and Starr J. L. (2009). *Root-knot nematodes*. CAB International. 488 p.
- Pinheiro J. B., Silva G. O, Oliveira V. R., Amaro G. B. and Morais A. A. (2019). Prospection of genetic resistance resources to root-knot nematodes in cucurbit genotypes. *Horticultura Brasileira*, 37:343-347.
- Pustovoitova T. N., Zhdanova N. E. and Zholkevich V. N. (2004). Changes in the levels of IAA and ABA in cucumber leaves under progressive soil drought. *Russian Journal of Plant Physiology*, 51(4):513-517.
- Rahil M. H. and Qanadillo A. (2015). Effects of different irrigation regimes on yield and water use efficiency of cucumber crop. *Agricultural Water Management*, 148:10-15.
- Ravichandra N. G. (2014). *Horticultural Nematology*. Springer India. 411 p.
- Reche M. J. (1995). *Poda de hortalizas en invernadero (calabacín, melón, pepino y sandía)*. Hojas divulgadoras Núm. 1-2/95 HD. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España. 32 p.
- Reddy P. P. (2016). *Sustainable crop protection under protected cultivation*. Springer E-book. 434 p.
- Rivera-Cota G. (2007). *Conceptos Introductorios a la Fitopatología*. Editorial Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica. 346 p.
- Romero-Bastidas M., Macías-Curiel M. G., Carrillo-Fasio A., Rojas-Contreras M., Hernández-Rubio J. S., Duarte-Osuna J. D. (2019). Identificación y

- distribución de especies de *Meloidogyne* en Baja California Sur, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(2):337-349.
- Rouphael Y., Cardarelli M., Colla G. and Rea, E. 2008. Yield, mineral composition, water relations, and water use efficiency of grafted mini-watermelon plants under deficit irrigation. *Hortscience*, 43(3):730-736.
- SAGARPA. (2018). Sistema de información agroalimentaria de consulta (SIACON). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. Recuperado de <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>
- Saucet S. B., Ghelder C. V., Abad P. and Esmenjaud D. (2016). Resistance to root-knot nematodes *Meloidogyne spp.* in woody plants. *New Phytologist*, 211:41-56.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación - Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SAGARPA-SIAP). (2018). Recuperado de <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Secretaria de Economía – Sistema de Información Arancelaria Vía Internet (SE-SIAVI). (2019). Recuperado de <http://www.economia-snci.gob.mx/>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2018). Atlas Agroalimentario 2012-2018. Distrito Federal, México: SIAP.
- Shen D., Li X., Feng L., Wang H., Song J., Yang C. and Gong, H. (2007): Evaluation on Resistance of Cucurbitaceae Germplasm Resources to Root-knot Nematode. *Journal of Plant Genetic Resources*, 8:340-342.

- Singh R. and Phulera S. (2015). *Plant Parasitic Nematodes: The Hidden Enemies of Farmers*. In book: Environmental Issues for Socio-ecological Development, Edition: first Excel India Publishers New Delhi, India. 68-81 p.
- Snyder R. L., Orang M., Bali K. and Eching S. (2000). Basic Irrigation Scheduling (BIS). Recuperado de [http://biomet.ucdavis.edu/irrigation\\_scheduling/bis/BIS.htm](http://biomet.ucdavis.edu/irrigation_scheduling/bis/BIS.htm)
- Sotiroudis G., Melliou E., Sotiroudis T. G. and Chinou I. (2010). Chemical analysis, antioxidant and antimicrobial activity of three greek cucumber (*Cucumis sativus*) cultivars. *Journal of Food Biochemistry*, 34:61-78.
- Suárez-Hernández A. M., Grimaldo-Juárez O., García-López A. M., González-Mendoza D., and Huitrón-Ramírez M. V. (2017). Influence of rootstock on postharvest watermelon quality. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 23(1):49-58.
- Talavera M., Verdejo-Lucas S., Ornat C., Torres J., Vela M. D., Macias F. J., Cortada L., Arias D. J., Valero J. and Sorribas F. J. (2009). Crop rotations with Mi gene resistant and susceptible tomato cultivars for management of root-knot nematodes in plastic houses. *Crop Protection*, 28:662-667.
- Terefe M., Tefera T. and Sakhuja P. K. (2009). Effect of a formulation of *Bacillus firmus* on root-knot nematode *Meloidogyne incognita* infestation and the growth of tomato plants in the greenhouse and nursery. *Journal of Invertebrate Pathology*, 100:94-99.

- Trainer M. S., Gros J. P., Quiroz R. D. L. C., Gonzales C. N. A., Mateille T. and Roussos S. (2014). Commercial biological control agents targeted against plant-parasitic root-knot nematodes. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 57(6):831-841.
- University of California Division of Agriculture and Natural Resources (UCANR). 1990. *Integrated Pest Management for Small Grains*. University of California, Agriculture and Natural Resources. 126 p
- Wan S., Kang Y., Wang D. and Liu S. (2010). Effect of saline water on cucumber (*Cucumis sativus* L.) yield and water use under drip irrigation in North China. *Agricultural Water Management*, 98(1):105-113.
- Wang G. L., Chen X. L., Chang Y. N., Du D., Li Z. and Xu X. Y. (2015). Synthesis of 1,2,3-benzotriazin-4-one derivatives containing spirocyclic indoline-2-one moieties and their nematicidal evaluation. *Chinese Chemical Letters*, 26:1502-1506.
- Wang H., Li J., Cheng M., Zhang F., Wang X., Fan J., Wu L., Fang D., Zou H. and Xiang Y. (2019). Optimal drip fertigation management improves yield, quality, water and nitrogen use efficiency of greenhouse cucumber. *Scientia Horticulturae*, 243:357-366.
- Wang L., Zhou H., Guo S., An Y., Shu S., Lu N. and Sun J. (2018). Exogenous spermidine maintains the chloroplast structure of cucumber seedlings and inhibits the degradation of photosynthetic protein complexes under high temperature stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 40:47.

- Ye D., Qi Y., Cao S., Wei B. and Zhang H. (2017). Histopathology combined with transcriptome analyses reveals the mechanism of resistance to *Meloidogyne incognita* in *Cucumis metuliferus*. *Journal of Plant Physiology*, 212:115-124.
- Zhang Z., Liu S., Zhang Q., Wang Z., Meng F. and Yu X. (2009). Effects of root-knot nematode on physiological and biochemical indices of cucumber seedlings grafted on different rootstocks. *Shandong Agricultural Sciences*, 7:82-86.
- Zhao D., Zhao H., Zhao D., Zhu X., Wang Y., Duan Y., Xuan Y. and Che L. (2018). Isolation and identification of bacteria from rhizosphere soil and their effect on plant growth promotion and root-knot nematode disease. *Biological Control*, 119:12-19.