

**Evaluación del rendimiento y calidad del fruto en interacción de germoplasma de
tomate y bacterias del género *Bacillus* en presencia del nematodo nodulador
(*Meloidogyne* spp.).**

Juan Andrés Pimiento Gil

Esteban Quintero Hernández

Universidad de Caldas

Facultad Ciencias Agropecuarias

Programa de Ingeniería Agronómica

Manizales, Caldas

2022

**Evaluación del rendimiento y calidad del fruto en interacción de germoplasma de
tomate y bacterias del género *Bacillus* en presencia del nematodo nodulador
(*Meloidogyne* spp).**

Juan Andrés Pimiento Gil

Esteban Quintero Hernández

Director: Nelson Ceballos Aguirre. I.A; Ph. D

Trabajo de grado para optar al título de

Ingeniero agrónomo

Universidad de Caldas

Facultad Ciencias Agropecuarias

Programa de Ingeniería Agronómica

Manizales, Caldas

2022

Nota de aceptación

Fue aprobado por:

Dedicatoria

*En honor a todos mis ancestros de los cuales guardo un poco de la memoria de cada uno
en mí.*

*A mis abuelos Nohemy y Arnulfo quienes me han enseñado el valor de la sabiduría e
inteligencia, a mi madre Gladis Gil por tan inefable apoyo y acompañamiento en cada uno
de mis pasos. A toda mi familia quienes me han visto superarme y han puesto todo su amor
en darme confianza y enseñanzas necesarias para lograr mis metas.*

*Sin duda a la ciencia y el arte y a todos cuyos aportes han hecho despertar en mí la
inclinación en específico por la naturaleza y el mundo agropecuario, ya que esto es posible
por “estar en hombros de gigantes”.*

Juan Andrés Pimiento Gil

*A mi madre Diana Hernández García y padre Luis Fernando Quintero Cuervo por instruir,
corregir, educar, acompañar y brindar un excelente entorno para mi desarrollo como
persona y profesional.*

*A mi abuela Fabiola Cuervo, por compartir con amor y paciencia su pasión por sus
plantas ...plantas que despertaron en mi niñez inquietud por el reino vegetal y aquellos con
que interactúa, que en mi presente me apasionan.*

Esteban Quintero Hernández

Agradecimientos

A nuestra alma mater por ser fuente inconmensurable de diversidad intelectual, cultural y de razonamiento, a la facultad de Ciencias Agropecuarias por brindar las herramientas necesarias para la comprensión de los factores que componen al campo agrícola y su constante evolución y a cada uno de nuestros docentes por impartir los conocimientos que nos hacen y harán partícipes del desarrollo que potencia la producción de alimentos y la protección del medio ambiente.

Gracias Nelson Ceballos por tan paciente, disciplinada, apasionada, amena y comprometida labor de enseñanza, por el acompañamiento en el recorrido durante nuestro pregrado y por abrirnos las puertas para hacer parte del presente estudio de investigación.

A todos aquellos que posibilitaron el establecimiento, desarrollo y desenlace de nuestras carreras y del presente estudio.

A nosotros.

Tabla de contenido

Resumen	1
Introducción	3
Objetivos	6
Objetivo general:	6
Objetivos específicos:	6
Marco teórico	7
Tomate	7
Características botánicas del tomate	8
Etapas fenológicas	8
Recursos genéticos del tomate	9
Características del tomate tipo cereza	11
Nematodos	13
<i>Meloidogyne</i> spp.	13
Taxonomía	13
Distribución.....	13
Biología.....	14
Ataque	15
Síntomas.....	16
Control biológico	16
Potencial del control biológico en nematodos:	17
Bacterias	18
<i>Bacillus</i> spp.....	18
Taxonomía	18
Biología.....	19
Metodología	22
Localización.....	22
Preparación del terreno	22
Genotipos	23
Siembra y trasplante	23
Tratamientos	24
Diseño experimental	24
Inoculación de bacterias	25
Inoculación de nematodos.....	26
Manejo agronómico.....	27
Rendimiento y calidad	27
Análisis estadístico.....	27
Resultados y discusión	29
Variables de rendimiento.....	29

VARIABLES DE CALIDAD DEL FRUTO.....	37
Conclusiones	45
Recomendaciones	46
Bibliografía	47

Lista de gráficas

Gráfica 1. Respuestas de los genotipos de tomate frente a las variables de rendimiento y porcentaje de severidad en presencia del nematodo nodulador (<i>Meloidogyne</i> spp.).....	32
Gráfica 2. Efecto de los tratamientos sobre el rendimiento de los genotipos en presencia del nematodo nodulador (<i>Meloidogyne</i> spp.)	34
Gráfica 3. Efecto de los tratamientos sobre el PPF y NFT de los genotipos en presencia del nematodo nodulador (<i>Meloidogyne</i> spp.).....	36
Gráfica 4. Respuestas de los genotipos a las variables de calidad (firmeza y contenido de sólidos solubles totales) en presencia del nematodo nodulador (<i>Meloidogyne</i> spp.).....	38
Gráfica 5. Efecto de los tratamientos sobre la firmeza y CSST en presencia del nematodo nodulador (<i>Meloidogyne</i> spp.).....	40
Gráfica 6. Efecto de los tratamientos sobre el CSST de frutos de los genotipos en presencia del nematodo nodulador (<i>Meloidogyne</i> spp.).....	41
Gráfica 7. Efecto de los tratamientos sobre la firmeza de frutos de los genotipos en presencia del nematodo nodulador (<i>Meloidogyne</i> spp.).....	44

Lista de tablas

Tabla 1. Especies de tomate derivadas de especies silvestres y colores característicos.....	10
Tabla 2. Características de interés agronómico de los tipos de tomate cereza y chonto.....	12
Tabla 3. Ejemplos de microorganismos usados como control biológico de patógenos.....	17
Tabla 4. Características morfológicas de cepas del género <i>Bacillus</i>	19
Tabla 5. Tratamientos (Indicativos de abreviaciones).....	25
Tabla 6. Análisis de varianza (valores $Pr < F$) para la interacción genotipo y bacterias del género <i>Bacillus</i> sobre las variables de rendimiento en el cultivo de tomate en presencia de (<i>Meloidogyne</i> spp.).....	29
Tabla 7. Interacción de genotipo y bacterias sobre variables de rendimiento y porcentaje de severidad en presencia del nematodo nodulador de la raíz (<i>Meloidogyne</i> spp.).....	30

Lista de figuras

Figura 1. Ciclo de vida de <i>Meloidogyne</i> spp.....	15
Figura 2. Mecanismos de acción de <i>Bacillus subtilis</i>	21
Figura 3. Diagrama del diseño experimental establecido.....	25

Lista de fotos

Foto 1. Establecimiento del sistema de producción en macrotúnel.....	22
Foto 2. Establecimiento y fase de semillero de las plántulas de tomate.....	23
Foto 3. Inoculación de las cepas bacterianas.....	26
Foto 4. Inoculo de <i>Meloidogyne spp.</i>	27

Lista de anexos

Anexo 1. Ficha técnica semilla Híbrido comercial.....	58
Anexo 2. Ficha técnica producto biológico comercial.....	59
Anexo 3. Ficha técnica producto químico comercial.....	62

Resumen

El tomate, *Solanum lycopersicum* L, es la hortaliza de mayor importancia económica a nivel global por su área sembrada y producción. En Colombia es un producto destinado a la producción comercial y para la seguridad alimentaria; generalmente se cultiva de forma convencional y como método habitual de control de plagas se recurre a la aplicación excesiva de productos químicos. *Meloidogyne* spp. es uno de los principales problemas en los suelos cultivados, debido a que puede reducir hasta el 68% de la producción total; las bacterias del género *Bacillus* son una alternativa positiva de control biológico del patógeno. Se evaluó la respuesta promisorio del germoplasma de tomate y bacterias nativas del género *Bacillus* en presencia del nematodo (*Meloidogyne* spp.) sobre el rendimiento y calidad del fruto en cuatro genotipos (IAC 1687, Coly 007, Híbrido comercial y Variedad comercial). La investigación se desarrolló en la granja Montelindo de la Universidad de Caldas ubicada en el municipio de Palestina Caldas a una altura de 1.050 msnm, con temperatura media 22.8°C, precipitación promedio anual de 1.800 mm y humedad relativa de 76%. El diseño experimental fue parcelas divididas con bloques completos al azar, cada uno con 7 tratamientos y 3 repeticiones, la unidad experimental constó de 6. Las variables evaluadas fueron: Rendimiento (t/ha), número de frutos totales (NFT), peso promedio del fruto (PPF) (gramos), contenido de sólidos solubles (CSS) (°Brix), firmeza (kg. f). El análisis de varianza (ANAVA) para el genotipo se realizó mediante el software SAS, los tratamientos o interacciones que presentaron resultados significativos, se aplicaron posteriormente pruebas de rango múltiple de Duncan para definir las alternativas más efectivas sobre el comportamiento agronómico del cultivo de tomate en presencia del nematodo. IAC 1687 e Híbrido comercial presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) sobre el rendimiento entre genotipos, alcanzado en promedio 18,38 y 16,20 t/ha; la interacción genotipo*tratamiento solo Híbrido comercial presentó diferencias significativas en interacción con el tratamiento producto biológico comercial (PBC) (i.a. *Bacillus subtilis*, raza (QTS 713), de igual manera, con el mismo tratamiento IAC 1687 expresó el mayor rendimiento (21,1 y 21,8 t/ha respectivamente) presentando aumentos del 34 y 18% respectivamente frente a los resultados de los tratamientos Testigo con nematodos (TNEM), aunque los tratamientos con bacterias nativas no presentaron diferencias significativas demostraron mantener los rendimientos en

presencia del nematodo. Sólo COLY 007 presentó diferencias significativas respecto a NFT siendo el testigo sin nematodos (TSNEM) quien reportó la mayor media (141 frutos); sólo IAC 1687 y COLY007 presentaron diferencias significativas de PPF reportando las mayores medias en interacción con el tratamiento *Bacillus infantis* GIBI 177 (31,09 y 31,94 gramos respectivamente) demostrando incrementos del 64 y 66% comparados con los resultados obtenidos por TNEM. El germoplasma evaluado presentó diferencias significativas ($P < 0.05$) respecto a las variables de calidad: contenido de sólidos solubles (CSS) ($^{\circ}$ Brix) y firmeza cuyos resultados fueron inversamente proporcionales entre los tipos de tomate, exponiendo a IAC 1687 como la variedad con el mejor comportamiento (6.5° Brix) frente a la variable CSS y al Híbrido comercial como el genotipo con frutos de mayor firmeza (1.75 kg. f). Las comparaciones de las medias obtenidas de los tratamientos frente a las variables de calidad demostraron que solo la variable CSS presentó diferencias significativas, siendo TSNEM el tratamiento con mayor valor promedio (5.3° Brix). La interacción genotipo*tratamiento demostró que en interacción con el tratamiento PBC, la variedad IAC 1687 alcanzó el mayor CCS (7.5° Brix) y el Híbrido comercial obtuvo el mayor valor de firmeza (1,90 kg. f) valores 3 y 10% superiores a los alcanzados por TNEM respectivamente. Con relación a las bacterias nativas, *Bacillus subtilis* GIBI200 ejerció el mayor efecto sobre el CSS en los genotipos Híbrido comercial y Variedad comercial (4.7 y 4.2° Brix respectivamente), además, con la misma cepa, la firmeza resultó ser influenciada en las variedades comerciales e IAC 1687. El material IAC se destacó en este estudio llegando a ser promisorio por sus atributos inherentes deseados en características de rendimiento y calidad. Se demostró que la respuesta del germoplasma de tomate en interacción con bacterias del género *Bacillus* en presencia de *Meloidogyne* spp. fue positiva al demostrar que la producción y calidad del fruto se mantuvieron superiores con la influencia de los tratamientos biológicos.

Introducción

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es el segundo cultivo con mayor volumen de producción mundial, para el año 2021 la producción mundial fue aproximadamente de 252 M de toneladas (t), y, en Colombia para el año 2020 se estimó en 576.733 toneladas de tomate fresco (González *et al.*, 2022; Faostat, 2022); es una hortaliza ampliamente sembrada debido a su consumo en fresco y de productos derivados en la dieta humana, además, se le atribuye que posee biocompuestos benéficos para la salud humana (García *et al.*, 2019) y se considera uno de los cultivos con mayor importancia debido a su uso comercial, áreas sembradas y rendimientos (García-Jaramillo *et al.*, 2022).

En Colombia, es un cultivo de gran importancia ya que se produce con fines comerciales, pero también hace parte de la seguridad alimentaria de habitantes de zonas rurales. La producción en corto tiempo, la adaptabilidad a diferentes pisos térmicos, diferentes tipos de suelo y su poco requerimiento de área de siembra lo hacen óptimo para ser una hortaliza de huerta o de un gran cultivo comercial (Bojacá *et al.*, 2017). A nivel nacional su cultivo se realiza de forma tradicional y como método habitual de control de plagas, se recurren a productos químicos que representan un riesgo ambiental (Serrato Bohórquez, 2020).

Estudios reportan problemáticas asociadas al uso de plaguicidas con categoría toxicológica I y II, la falta de capacitación a los operarios en su manejo, la no calibración de los equipos usados para su aplicación y la alta frecuencia de aplicación de productos; también menciona el riesgo del ingrediente activo frecuentemente utilizado para el control de insectos y nematodos denominado Carbofuran, ya que, presenta un alto potencial de lixiviación, convirtiéndose en un riesgo para los cuerpos de agua superficiales que se encuentran cerca a los agroecosistemas donde son aplicados (Serrato Bohórquez, 2020).

Los patógenos habitantes del suelo hacen parte de los problemas del cultivo de tomate convirtiéndose en amenazas debido a la dificultad de su control o erradicación pues poseen diversas habilidades para colonizar las plantas y permanecer en el suelo durante largos periodos de tiempo sin hospedantes. Uno de los principales problemas en el cultivo

de tomate es con frecuencia el nematodo nodulador, *Meloidogyne* spp. el cual debido a su alta infestación y severidad de los daños puede llegar a reducir de 28 a 68% de la producción total, son las especies *M. javanica*, *M. hapla* y *M. arenaria* quienes causan el mayor nivel de pérdidas en el cultivo de tomate (Garcés Santana, 2022).

El nematodo nodulador debilita las puntas de la raíz e inhibe su desarrollo, estimulan una formación radical excesiva e induce la formación de hinchamientos en las raíces privando a las plantas de sus nutrientes y causando pérdidas considerables producto de la disminución considerable de la producción (Agrios, 2005). Su efecto debilitador ocasiona grandes pérdidas económicas para los agricultores (Talavera *et al.*, 2014).

El método de control más usado para dicho patógeno es el químico a pesar de las regulaciones internacionales; además, el control de plagas y enfermedades en cultivos experimenta un incremento en el consumo de productos fitosanitarios altamente tóxicos y perjudiciales al ambiente, lo cual aumenta el riesgo de consumir alimentos contaminados (Serrato Bohórquez, 2020). Por lo tanto, para una correcta protección de los cultivos frente a esta problemática es imprescindible el uso de todas las medidas de control disponibles y su integración (Abuslin & Vaca, 2017).

Sin embargo, la producción agrícola sostenible sugiere la implementación de las Buenas Prácticas Agrícolas, definidas como prácticas aplicadas en las unidades productivas desde la planeación del cultivo hasta la cosecha, el empaque y transporte del alimento –frutas, hortalizas y otros con el fin de asegurar un medio ambiente sano, la seguridad y bienestar de los trabajadores (Ciro Basto & Villegas Estrada, 2010). Las estrategias de las BPA evitan el uso de agroquímicos y si es el caso de aplicarlo, se espera que este uso no supere los Límites Máximos Residuales. Sin embargo, existiendo claridad en estos objetivos, algunos productores aplican productos químicos en épocas de máximas cosechas como prevención, por temor a perder su cultivo e incumplen totalmente con las estrategias planeadas ya que no es permitida la presencia de plagas (Páez *et al.*, 2011).

La búsqueda de estrategias de control eficientes, ecológicas y sostenibles, han llevado al desarrollo de alternativas para el control de plagas y enfermedades, tal es el caso del

control biológico y la producción de productos biológicos que contienen microorganismos como ingrediente activo (Moreno-Velandia *et al.*, 2018). Consecuentemente, el control biológico ha presentado avances significativos respecto a la investigación de microorganismos de los que se conoce que potencialmente reducen los daños causados por el ataque de nematodos debido a su efecto antagonista, parasitario, nemostático y mejorador en el rendimiento. Las bacterias del género *Bacillus* han demostrado ser organismos de gran efectividad para el manejo de nematodo nodulador por su efecto antagónico sobre juveniles y la inhibición de la eclosión de huevos, tal es el caso de *B. subtilis* (Liu *et al.*, 2014). Tales facultades son atribuidas ya que producen una amplia gama de moléculas biológicamente activas y potencialmente inhibitorias para el crecimiento de fitopatógenos, por ejemplo: compuestos orgánicos volátiles, enzimas hidrolíticas (quitinasa y proteasa) y sustancias extracelulares que proveen a la planta de una resistencia sistémica inducida (RSI) (Huang *et al.*, 2009; Lee & Kim, 2015; Lopez, 2015; Gao *et al.*, 2016).

De acuerdo con Bottini *et al.*, (2004); de Garcia Salamone *et al.*, (2005); Ahmad *et al.*, (2008); Lopez (2015) se ha comprobado que algunas especies de bacterias del género *Bacillus* producen fitohormonas tales como giberelinas, citoquininas y ácido indolacético, por tal razón, *Bacillus* spp. son consideradas promotoras de crecimiento (Puente *et al.*, 2010). Estas hormonas además de la inducción de crecimiento participan en procesos fisiológicos tales como: desarrollo de inflorescencias, germinación de semillas, promoción del desarrollo de frutos, retraso de senescencia, activación de yemas laterales en dormancia, entre otros (Borjas-Ventura *et al.*, 2020). Además, algunas especies sintetizan sideróforos involucrados en la disponibilidad del hierro, solubilizan fósforo aumentando su biodisponibilidad para la planta (López, 2015).

Conocida la implementación de controladores biológicos que posibilitan el control de plagas y enfermedades en el cultivo de Tomate, el presente trabajo pretendió evaluar el comportamiento específico de cepas de bacterias nativas del género *Bacillus* como alternativas biológicas para impactar positivamente sobre el rendimiento y la calidad del fruto del cultivo de tomate en presencia del nematodo nodulador.

Objetivos

Objetivo general:

Evaluar la respuesta del germoplasma de tomate y bacterias del género *Bacillus* en presencia del Nematodo nodulador (*Meloidogyne* spp) sobre el rendimiento y calidad del fruto.

Objetivos específicos:

Determinar el comportamiento agronómico de genotipos de tomate en presencia de *Meloidogyne* spp.

Identificar el efecto de 3 aislados de cepas bacterianas del género *Bacillus* sobre el rendimiento y calidad de tomate en presencia de *Meloidogyne* spp.

Evaluar la interacción cepa bacteriana - introducción sobre el rendimiento y calidad del fruto en presencia de *Meloidogyne* spp.

Marco teórico

Tomate

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es el segundo cultivo con mayor volumen de producción mundial, se estima que para el año 2021 la producción mundial fue aproximadamente de 252 M de toneladas (González *et al.*, 2022), es la hortaliza más sembrada debido a su consumo en fresco y de productos derivados en la dieta humana, además, se le atribuye que posee biocompuestos benéficos para la salud humana (García *et al.*, 2019) y es considerado uno de los cultivos con mayor importancia debido a su uso comercial, áreas sembradas y rendimientos (García-Jaramillo *et al.*, 2022).

En Colombia, es un cultivo de gran importancia ya que se produce con fines comerciales, pero también hace parte de la seguridad alimentaria de habitantes de zonas rurales. La producción en corto tiempo, la adaptabilidad a diferentes pisos térmicos, diferentes tipos de suelo y su poco requerimiento de área de siembra lo hacen óptimo para ser una hortaliza de huerta o de un gran cultivo comercial (Bojacá *et al.*, 2017). La producción nacional de tomates frescos para el año 2020 fue de 576.333 toneladas sobre un área aproximada de 8.783 ha, por ende, se estima un rendimiento aproximado de 65,7 toneladas por hectárea (García-Jaramillo *et al.*, 2022), estas cifras comparadas con los reportes del año 2019 exhiben la tendencia del aumento en la dinámica de producción y tecnificación del cultivo puesto que para dicho año se estimaron rendimientos aproximados de 25,2 t/ha (Minagricultura, 2019).

Los estudios genéticos acompañados de la variabilidad genética propia de esta Solanácea han permitido la obtención de variedades que posibilitan la adaptación a condiciones ambientales y transfieren cualidades como resistencia o tolerancia a plagas y enfermedades (Rodríguez *et al.*, 2013). Pues bien, dicha variabilidad genética acompañada de la implementación de nuevas estrategias agrícolas son alternativas que se requieren implementar para garantizar la inocuidad y seguridad de los alimentos, posibilitando producciones ajustadas a modelos en los cuales la producción de tomate se hace más aceptable al no tener fuertes impactos con el medio ambiente, productores y consumidores (Silvana, M *et al.*, 2011).

En áreas cultivadas con tomate y en donde hace presencia *Meloidogyne* spp. su incidencia provoca disminución en rendimiento y calidad (Inés Vásquez, 2021) condición no deseada por los cultivadores y por la cual ejercen métodos de control con productos de síntesis química, dejando de lado alternativas que posibilitan la reducción del uso de productos no amigables con el ambiente (Serrato Bohórquez, 2020); sin embargo, los cultivares que poseen en su estructura genética el gen *Mi* presentan un control eficaz sobre *Meloidogyne* spp. por su respuesta hipersensible asociada con muerte celular local en sitios de penetración y lesiones necróticas en lugares de alimentación, además de tener mayor éxito cuando se involucran metabolismos secundarios de la planta en los procesos de transducción de señales del gen (Wubie & Temesgen, 2019).

Características botánicas del tomate

Cuenta con un sistema radical compuesto por una raíz principal (30 a 50 cm de longitud aproximadamente), raíces secundarias (pueden extenderse hasta 1.50 m) y adventicias. Su arquitectura aérea está compuesta por un tallo cilíndrico principal en el cual se desarrollan hojas (compuestas imparipinnada con folíolos peciolados, lobulados, de borde dentado y recubiertas por vellosidades) y tallos cilíndricos secundarios e inflorescencias; su diámetro es de 2 cm a 4 cm aproximadamente, los diferentes tallos se encuentran cubiertos por vellosidades y están provistos por meristemos apicales en su zona distal para el desarrollo de primordios foliares y florales, las flores generalmente cuentan con 5 sépalos, 5 de pétalos e igual número de estambres (ambos de color amarillo); se encuentran unidas a un eje floral por medio de un pedicelo y conforman las inflorescencias en forma de racimos los cuales se desarrollan cada 2 o 3 hojas y los frutos son bayas bi o pluriloculares que varían en peso y color de acuerdo a las características de los materiales vegetales empleados (Gorini, 2018).

Etapas fenológicas

El tiempo transcurrido entre etapas estará determinado por la variedad a sembrar, permitiendo encontrar diferencias en la velocidad de desarrollo de cada etapa, además, el crecimiento del cultivo se verá también influenciado pues existen materiales con crecimiento determinado, indeterminado y semideterminado (López Mar, 2014).

De acuerdo con López Marín (2014) las etapas fenológicas son:

1. Desarrollo de semillero, periodo en el cual se produce la formación inicial de estructuras aéreas.
2. Crecimiento vegetativo, etapa en la cual se da el desarrollo continuo de la planta (estructuras vegetativas y racimos de flores).
3. Floración e inicio del cuajado de fruta, este periodo comprende el inicio de la floración hasta la fecundación de las flores y su transformación en fruto.
4. Inicio de desarrollo del fruto, etapa en la cual el fruto inicia su cuajamiento y alcanza su tamaño ideal.
5. Maduración del fruto, el fruto llega al estado ideal de cosecha

Recursos genéticos del tomate

El germoplasma es cualquier tejido vivo del cual pueden desarrollarse nuevas plantas, puede ser una semilla o cualquier otra parte de la planta que se utilice para propagación vegetativa convencional o para regenerar nuevas plantas a través de cultivo de tejidos (Gutiérrez, 2015). También se usa para describir los recursos genéticos, o precisamente el ADN de un organismo, son de gran importancia ya que sirven de fuentes de alelos para transferir características deseadas a plantas de importancia económica las cuales poseen una estrecha base genética (Ebert *et al.*, 2007).

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una planta dicotiledónea, perteneciente a la familia Solanáceas (González *et al.*, 2022); de la sección Lycopersicon derivada del género *Solanum* del que se destaca la especie *L. esculentum* cultivar que posee nueve especies silvestres relacionadas, de las cuales las formas más promisorias son *Lycopersicon esculentum* var. *Cerasiforme* y *L. Pimpinellifolium* (Vallejo, 1999). La obtención de cultivares de tomate actuales fue el producto de la domesticación de *L. esculentum* var. *cerasiforme* variedad que fue producto de la migración de formas silvestres originarias del Perú, transportadas a través de Ecuador, Colombia, Panamá y América Central hasta llegar finalmente a México (Vallejo, 1999).

Además de las características alimenticias y fenológicas que hacen del tomate una hortaliza atractiva para su cultivo y consumo, su variabilidad genética la hace aún más llamativa. Se conocen numerosas especies de tomate derivadas de especies de origen

silvestre (aquellas que crece de manera libre en sus centros de origen) (Tabla 1) que en la actualidad permiten la obtención de los frutos consumidos que cumplen con las cualidades físicas del fruto demandadas para el mercado (Rodríguez *et al.*, 2013).

Tabla 1. Especies de tomate derivadas de especies silvestres y colores característicos

Nombre científico	Color del fruto
<i>Solanum chilense</i> D.	Verde a verde blanquecino con franjas púrpura
<i>Solanum peruvianum</i> L.	Generalmente verde o verde blanco, a veces con coloraciones púrpuras
<i>Solanum pennellii</i> C.	Verde
<i>Solanum pimpinellifolium</i> L.	Rojo
<i>Solanum lycopersicum</i> L.	Rojo

Nota. Revisión de (Pérez, 2010).

Según Janssen *et al.*, (2016) la resistencia es la habilidad de suprimir la reproducción o el desarrollo del patógeno. De las especies mencionadas anteriormente se destacan sus características genéticas que han permitido introducir genes de resistencia a cultivares actuales, tal es el caso del gen *Mi* introgresado de *S. peruvianum*, posibilitando la resistencia a las tres principales especies de nematodos fitopatógenos en el cultivo de tomate *Meloidogyne incognita*, *M. javanica* y *M. arenaria*, y de los genes *Tm-2* y *Tm-22* quienes confieren resistencia al virus *Tomato mosaic virus* (ToMV) (Janssen *et al.*, 2016).

Por otra parte, a las especies *S. chilense*, *S. pimpinellifolium* (gen *Ve*) y *S. pennellii* se les atribuyen genes que confieren resistencia contra patógenas limitantes del cultivo entre los cuales se destacan hongos como *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, *Verticillium albo-atrum* y *V. dahliae*; virus como *Tomato yellow leaf curl virus* (TYLCV) (Janssen *et al.*, 2016).

Pues bien, se ha centrado la atención en *Solanum lycopersicum* L. debido a la importancia económica alcanzada por sus propiedades organolépticas al consumo y cualidades agronómicas al cultivarse. En Colombia, se cultivan generalmente 5 tipos de tomate: tipo Milano, tipo Fresco larga vida, tipo Chonto, tipo Cereza, tipo Industrial (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015).

Perilla *et al.*, (2011), mencionan que el nivel de demanda nacional e internacional de tomate producido bajo cubierta ha llevado a captar la atención sobre el potencial genético del tomate tipo cereza que para Colombia al ser parte de los centros de origen se convierte en una alternativa óptima para su producción y un cultivo rentable para sus productores como en el caso de las introducciones IAC391, IAC1621 e IAC1688 (tipo cereza élite) que muestran “valores superiores en la relación beneficio/costo y positivos en la tasa de retorno, así como un adecuado rendimiento” (de Jesús Herrera *et al.*, 2015).

Características del tomate tipo cereza

El tomate tipo cereza tiene gran aceptación e importancia gracias a su particular desarrollo vegetativo generalmente de carácter invasivo y productivo dentro del cual se destaca la maduración uniforme en los racimos y a nivel comercial su uso en fresco y para la decoración de platos. De acuerdo a la variedad, la morfología de los frutos puede variar entre formas pera, redondos o achatados, de igual manera el color varía entre amarillo, rojo, naranja y morado, se agrupan en racimos de 15 o más frutos pequeños de tamaños entre 18 y 30 mm con pesos aproximados de 10 g; también, existen otras variedades de esta especie que poseen frutos de tamaño mediano agrupados de a 6 o 9 (Corpoica, 2012).

Sin embargo, este tipo de material no es de los preferidos por los productores; el desconocimiento de su valor y sus usos han mantenido su producción en porcentajes bajos; cerrando la oportunidad a la introducción de estos nuevos materiales quienes son poseedores de genes de resistencia a *Phytophthora infestans* y a nematodos como *Meloidogyne* spp (Gómez Duque *et al.*, 2015).

A nivel general, el tomate cereza se diferencia de los cultivares tipo "chonto" por los valores expresados en caracteres de producción como peso promedio de fruto, número

de frutos por racimo, número de flores por racimo y número de racimos por planta; y en caracteres de calidad de fruto como contenido de sólidos solubles, diámetro de fruto, color exterior del fruto, contenido vitamina C, licopeno y β -caroteno (Ceballos Aguirre, 2012) (Tabla 2).

Tabla 2. Características de interés agronómico de los tipos de tomate cereza y chonto

Carácter	Tomate Cereza	Tomate Chonto	Fuente
Peso promedio del fruto	10 a 30 g	60 a > 80 g	(Nuez, 1999; www.fao.org).
Número de frutos por racimo	15 a 50	6 a 8	(Infoagro, 2009; Henao & Serna, 2009).
Número de flores por racimo	12 a 117	9 a 10	(Boada & Mejía, 2009; Betancurt & Fernández, 2008).
Número de racimos por planta	10 a 13	8 a 9	(Aristizabal, 2009; Henao & Serna, 2009).
Contenido de sólidos solubles ($^{\circ}$ Brix)	5.4 a 8.7	3.4 a 4.3	(Macua <i>et al.</i> , 2009; Márquez & Cano 2005).
Diámetro de fruto (cm)	1 a 3	>4.4	(Nuez, 1999; www.fao.org).
Color exterior del fruto	Rojo intenso	Rojo	(Nuez, 1999; Henao & Serna, 2009).
Vitamina C (mg/100gpf)	> 57 (10)	20	(Miller & Tanksley, 1990; Jaramillo & Atehortúa 2002).
Licopeno (mg/100 gpf)	> 10	1.82	(Rodríguez, 1999; Roselló <i>et al.</i> , 2005).
β - caroteno (μ g/ g)	3.0	1.44	(Rodríguez, 1999; Roselló <i>et al.</i> , 2005).

Nota. Revisión de (Ceballos Aguirre, 2012).

Nematodos

Son animales filiformes, en mayor parte son de tamaño microscopio (300 a 1000 μm de largo y 15 a 35 μm de ancho) cubiertos por una cutícula hialina marcada por estrías u otras marcas, no presentan segmentos en su cuerpo (Chaves *et al.*, 2019).

Sus hábitos alimenticios varían y con ellos estructuras físicas como los aparatos bucales, un estilete bien desarrollado es el correspondiente a aquellos con hábitos alimenticios fitófagos, los cuales son clasificados como nematodos fitoparásitos. Estos pequeños animales tienen la facultad de penetrar con esta estructura bien desarrollada las raíces, el estilete tiene una longitud que no alcanza 1 μm y es por este pequeño tamaño que enfocan su alimentación en la extracción de nutrientes presentes en las células de las raíces (Esquivel, 2015).

Algunos nematodos cambian de apariencia una vez encuentran un lugar apropiado de la raíz para alimentarse, formar y depositar sus huevos tal y como lo hacen las hembras de *Meloidogyne* sp., las cuales se hinchan en estado adulto (Esquivel, 2015).

***Meloidogyne* spp.**

Taxonomía

Reino: Animalia

Filo: Nematoda

Clase: Chromadorea

Orden: Tylenchida

Familia: Heteroderidae

Género: *Meloidogyne*

Especie: *Meloidogyne* spp. (Integrated Taxonomic Information System, 2022).

Distribución

Los nematodos formadores de nódulos de la raíz se encuentran en todo el mundo, con mayor frecuencia y abundancia en regiones con clima cálido y tórrido e inviernos cortos y moderados. Atacan a más de 2.000 especies de plantas, incluyendo a la mayoría

de las plantas cultivadas, debilitan las puntas de la raíz e inhiben su desarrollo, estimulan una formación radical excesiva, pero principalmente inducen la formación de hinchamientos en las raíces, las cuales privan a las plantas de sus nutrientes, deforman y disminuyen el valor comercial de muchas raíces de consumo (Agrios, 2005). Cuando las plantas susceptibles son infectadas en la etapa de plántula, las pérdidas son considerables y pueden dar lugar a la destrucción total del cultivo. Las infecciones que sufren las plantas adultas pueden tener sólo efectos ligeros sobre la producción o pueden disminuir en forma considerable la producción (Agrios, 2005).

Biología

Huevo, Juveniles (1-2-3-4) y adulto son los estadios correspondientes al ciclo de vida de *Meloidogyne* (Figura 1), el desarrollo y sobrevivencia de cada ciclo se ve influenciado por factores ambientales y disponibilidad de un hospedante (Moens *et al.*, 2009). El ciclo de vida se completa entre 25 y 60 días, dependiendo fundamentalmente de la temperatura del suelo. Con unos 500 grados-día, el ciclo se cierra en 25 días. Las temperaturas de 25-30 °C son ideales para el crecimiento y el desarrollo de este nematodo. Temperaturas inferiores a 15 °C o superiores a 33 °C interrumpen el desarrollo de las hembras que no llegan a completar su madurez. El estado de resistencia lo constituyen el huevo y las larvas del segundo estadio (Chávez, 2004).

Según Guzmán *et al.*, (2009), los nematodos del género *Meloidogyne* spp. se clasifican como endoparásitos sedentarios por su comportamiento alimenticio y hábito migratorio en el cual las hembras inmaduras penetran a las raíces desde el suelo para encontrar un sitio óptimo de alimentación donde permanecen y continúan con su desarrollo morfológico. Posteriormente las hembras al ser fecundadas se llenan de huevos tomando un aspecto globoso dentro de las raíces lo que produce hipertrofia en los tejidos de las mismas, dando lugar a la formación de nódulos (Palomino, 2008). Generalmente pasan el invierno en el suelo en forma de huevos. En primavera, conforme la temperatura del suelo se incrementa, los juveniles de segundo estadio J2, eclosionan, emigran a través del suelo y penetran en las raíces de las plantas hospedadoras, donde establecen sitios de alimentación. Durante el crecimiento, los juveniles van engrosando y mudando hasta convertirse en hembras adultas o machos. Las hembras son redondeadas e inmóviles, los

machos filiformes y generalmente abandonan la raíz pues no se alimentan. Las hembras producen hasta 3000 huevos envueltos en una masa gelatinosa (Talavera, 2003).

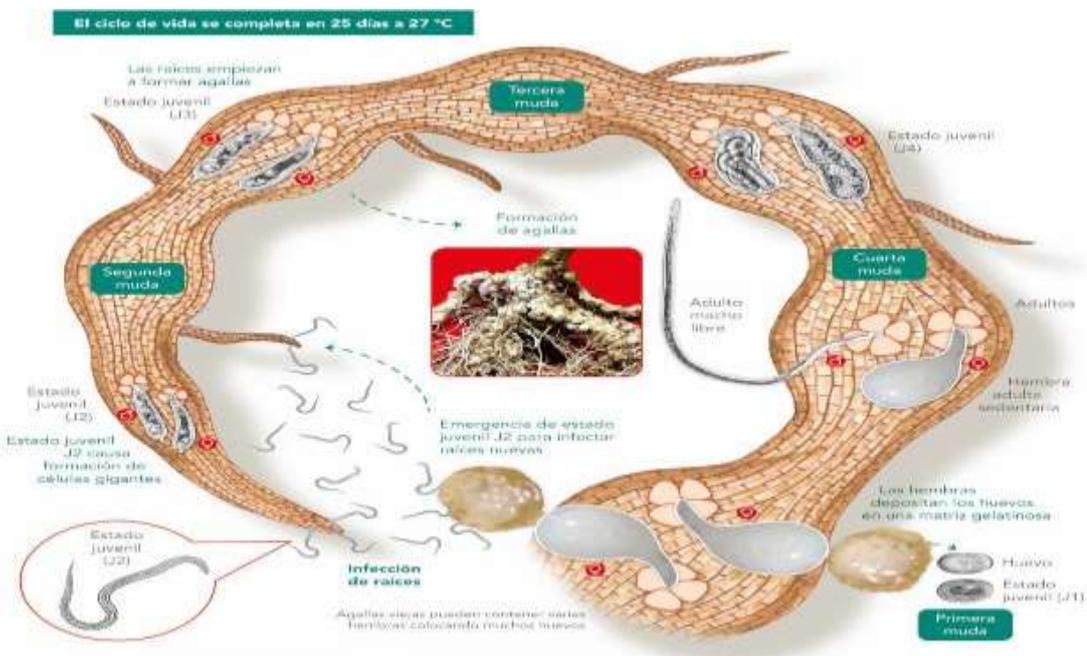


Figura 1. Ciclo de vida de *Meloidogyne* spp. (Piedrahita *et al.*, 2020).

Ataque

Este parásito penetra por el ápice o punto de crecimiento de la raíz y se establece en el parénquima vascular de manera sedentaria hasta completar su ciclo de vida. Se alimenta del contenido interno de las células de la raíz pinchando y extrayendo el mismo con el estilete, una especie de aguja hipodérmica que tiene el nematodo en la boca. Las raíces a su vez, reaccionan a la invasión produciendo numerosas células hipertrofiadas, conocidas como células gigantes, en cada punto en donde haya un nematodo alimentándose. La producción exagerada de células gigantes destruye la integridad de los haces vasculares, ocasionando un flujo deficiente de agua y nutrientes en la planta. Según el nematodo se va desarrollando, su cuerpo se engrosa hasta tomar la forma de una pera y, una vez alcanza la adultez, deposita hasta 3000 huevos envueltos en una matriz gelatinosa fuera de la raíz. Eventualmente, de estos huevos salen los estados juveniles que van a infectar o reinfectar ésta u otras plantas cercanas (Vicente, 2007).

Síntomas

Los síntomas típicos que produce *Meloidogyne*, son agallas en las raíces de las plantas infectadas, afectando la absorción de agua y nutrientes. Como consecuencia de esto, el crecimiento de la planta se retarda, las hojas presentan deficiencia de nutrientes, marchitez, amarillamiento y necrosis, la floración se puede reducir y consecuentemente el número de frutos es menor (Dagatti *et al.*, 2014), marchitez con la existencia de humedad en el suelo (Arias *et al.*, 2009) y finalmente la reducción de la producción y calidad de los frutos; convirtiéndose entonces en un problema que requiere de observación y control ya que ocasiona en cultivos de tomate tipo Cherry pérdidas del 25 al 50% en su rendimiento (Cardona-Piedrahita *et al.*, 2016).

Control biológico

El control biológico consiste en la regulación del número de organismos vivos, reducir la incidencia y/o la gravedad de la enfermedad mediante la acción de enemigos naturales presentes en condiciones naturales, bien sea a través de la introducción de especies no nativas (estrategia inundativa) o a través de la conservación del entorno para favorecer su acción (Moreno-Velandia *et al.*, 2018). La forma de interactuar de los microorganismos que controlan enfermedades en plantas pueden resultar de un antagonismo directo contra un patógeno que comparte el mismo nicho ecológico, el modo de acción incluye el parasitismo, competición por nutrientes y antibiosis. Estas interacciones no son exclusivas de cada uno, sino que cada cepa puede tener varios modos de acción. También, pueden actuar por acción indirecta a través de la resistencia inducida, este ocurre cuando se aplica un agente inductor previo a la inoculación del patógeno que resulta en niveles reducidos de la enfermedad (Moreno-Velandia *et al.*, 2018).

Las características deseables de un agente de control biológico incluyen: Antagonismo, especificidad, inocuidad para plantas y animales no objeto del biocontrol, producción de estructuras de resistencia capaces de persistir en el suelo en ausencia de su hospedero o en condiciones naturales, rápida colonización del suelo, crecimiento a pH y temperaturas similares a las del suelo, compatibilidad con las prácticas agronómicas,

fácil producción a gran escala en medios artificiales, facilidad de almacenamiento y aplicación, procesos de producción y manipulación seguros para la salud y medio ambiente y bajo costo (Verdejo & Talavera, 2017).

Potencial del control biológico en nematodos:

Los nematodos fitoparásitos coexisten en la rizosfera con hongos, bacterias, algas y otros microorganismos que han sido aislados e identificados como enemigos naturales de nematodos y demás patógenos, convirtiéndose en actores del control biológico natural en los agroecosistemas (Cano *et al.*, 2004; Moreno-Velandia *et al.*, 2018). La siguiente tabla (Tabla 3) exhibe ejemplos de microorganismos mencionados por Cano *et al.*, (2004) en los que se describe el modo de acción para el control del nematodo.

Tabla 3. Ejemplos de microorganismos usados como control biológico de patógenos

ORGANISMO	ESPECIE	MODO DE ACCIÓN
Hongo	<i>Arthrobotrys oligospora</i>	Usa una red pegajosa, formada por nódulos con los que se adhieren al nematodo
Hongo	<i>Stylopaga</i> sp.	Captura los nematodos por medios de hifas individuales
Hongo	<i>Catenaria</i> sp., <i>Myzocytiium</i> sp., <i>Haptoglossa</i> sp., <i>Verticillium</i> sp..	Endoparásitos de nematodos vermiformes
Hongo	<i>Paecilomyces lilacinus</i> ; <i>Dactylella oviparasitica</i> ; <i>Catenaria auxiliaris</i> .	Parásitos de huevos, hembras y quistes.
Bacteria	<i>Pasteuria penetrans</i>	Parásito
Bacteria	<i>Bacillus subtilis</i>	Antibiosis

Fuente. (Cano *et al.*, 2004).

Bacterias

Son un grupo abundante de microorganismos del suelo sobre los cuales se han realizado pocos esfuerzos para determinar su potencial de uso. Las posibles causas son:

1. Las bacterias son menos conspicuas que los hongos
2. Los efectos de los hongos en muchos casos son espectaculares y fáciles de observar, los de las bacterias son más sutil.
3. Las bacterias son más difíciles de identificar y de propagar que los hongos. Existen dos modos de acción de las bacterias sobre los nematodos: parasítico y acción química (Rojas-Miranda *et al.*, 1996).

La zona de influencia de la raíz en el suelo, rizosfera, es una zona de intensa actividad microbiana. Algunas bacterias de esta zona exhiben una activa colonización de la raíz y son conocidas como rizobacterias; entre ellas, se distinguen aquellas que son promotoras del crecimiento en plantas (PGPR, por sus siglas en inglés).

Las PGPR se utilizan principalmente para la inducción de resistencia en vegetales contra enfermedades transmitidas por insectos. La protección se caracteriza por una reducción en los síntomas de la enfermedad, reducción en la incidencia de la infección viral e incremento en la producción de la planta, en comparación con plantas sin tratar (Cristancho, 2019).

***Bacillus* spp.**

Taxonomía

Reino: Bacteria.

Filo: Firmicutes.

Clase: Bacilli.

Orden: Bacillales.

Familia: Bacillaceae.

Género: *Bacillus*.

Especie: *Bacillus* spp. (Integrated Taxonomic Information System, 2022).

Biología

La familia Bacillaceae consiste en bacterias en forma de bastón que forman endosporas y abarca especies del género *Bacillus* el cual se identifica mediante criterios de morfología y bioquímica (Tabla 4), son aerobias o anaerobias facultativas con forma de varilla. El género incluye individuos termofílicos, psicrófilicos, acidófilos, alcalófilos, halotolerantes y halófilos, son capaces de crecer a temperaturas, valores de pH y concentraciones de sal que pocos otros organismos podrían sobrevivir. Muchas especies del género exhiben una amplia gama de habilidades fisiológicas que les permiten vivir en todos los ambientes naturales. Tienen la capacidad de formar endosporas, estructuras resistentes al calor, al frío, a la radiación, a la desecación y a los desinfectantes. Cuentan con la capacidad de producir una gran cantidad de enzimas, antibióticos y otros metabolitos (Turnbull *et al.*, 1991; Moreno-Velandía *et al.*, 2018).

Tabla 4. Características morfológicas de cepas del género *Bacillus*

Características	Reacción	
Morfología	<i>B. subtilis</i> MBTDMFRI; <i>B. subtilis</i> Ba27	<i>B. subtilis</i> MTCC 441
Color de la colonia en agar	Blanco cremoso	Blanco cremoso
Tamaño	Grande	Grande
Forma	Irregular	Irregular
Margen	Ondulado	Ondulado
Elevación	Plano	Plano
Forma celular	Varilla	Varilla
Tinción de Gram	G+	G+
Formación de endosporas	(+)	(+)
Pigmentación	(-)	(-)

Fuente. (Anusree & Vijayan, 2016).

Una amplia variedad de especies del género *Bacillus* demuestran comportarse de manera antagónica frente a plagas y enfermedades de diferentes cultivos, inhibiendo el desarrollo y establecimiento de patógenos mediante mecanismos de excreción de antibióticos, sideróforos, enzimas líticas, toxinas y al actuar como inductoras de resistencia sistémica en las plantas (Villarreal-Delgado *et al.*, 2018).

Bacillus spp. Tiene una actividad antibiótica biocontroladora de muchos organismos puesto que produce metabolitos secundarios que son tóxicos para otro microorganismo o que inhiben las actividades celulares vitales. Esta capacidad les provee de un margen competitivo, especialmente en la colonización de sustratos orgánicos donde la competencia por espacio y alimentos es intensa, además su crecimiento aerobio o en ocasiones anaerobio ligados a la producción de endosporas hacen de dichas bacterias microorganismos con facultades de resistencia a situaciones de estrés que dificulta su establecimiento y desarrollo de colonias. (Cano *et al.*, 2004; Villarreal *et al.*, 2018)

Se han reportado diversos mecanismos de acción (Figura 2), que incluyen efectos en el crecimiento vegetal a través de la síntesis de hormonas vegetales como las auxinas, citoquininas y giberelinas, sintetizan sideróforos involucrados en la disponibilidad del Fe, algunas especies solubilizan fósforo aumentando su biodisponibilidad para la planta, producen una amplia gama de moléculas biológicamente activas potencialmente inhibitorias para el crecimiento de fitopatógenos (Pedraza *et al.*, 2020). *Bacillus subtilis* tiene un promedio de 4-5% de su genoma dedicado a la síntesis de antibióticos y tiene el potencial para producir más de dos docenas de compuestos antimicrobianos estructuralmente diferentes, entre los que se destacan los lipopéptidos (LPs) de tres familias: Las surfactinas, Iturinas y Fengycinas que son bio-tensioactivos, con propiedades emulsionantes y espumantes además están implicados en la formación del biofilm que tiene efecto antibacteriano, antifúngico y participan desencadenando la resistencia sistémica inducida en la planta (López, 2015)

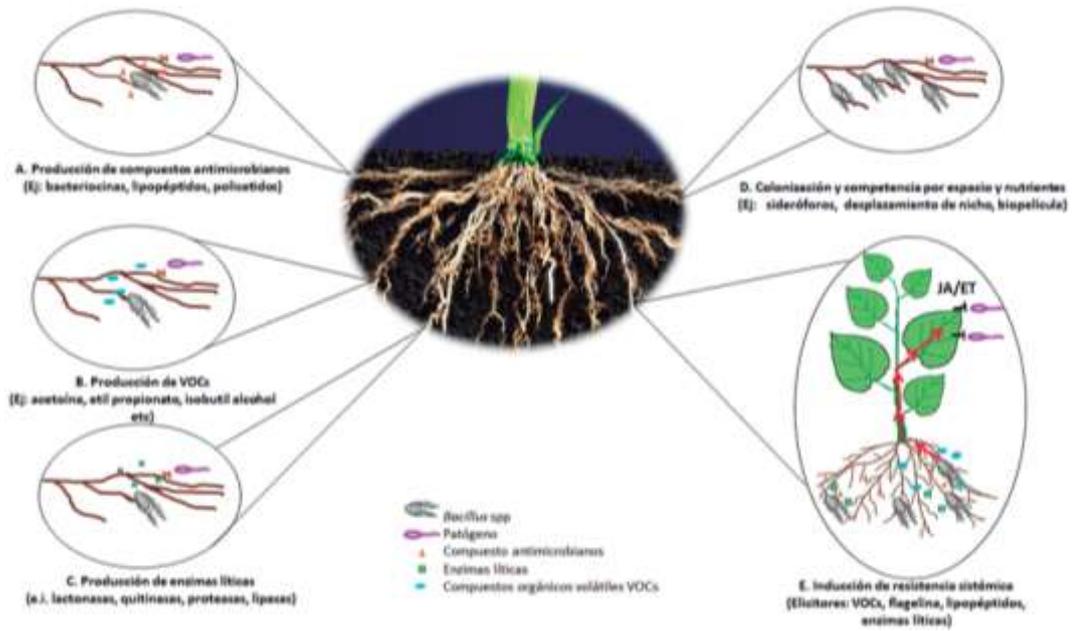


Figura 2. Mecanismos de acción de *Bacillus subtilis* (Pedraza *et al.*, 2020).

Metodología

Localización

La granja Montelindo está ubicada a 38 Km de Manizales, vereda Santagueda, municipio de Palestina con un área de 64 ha, a 1.050 msnm con una temperatura media de 22,8 °C, radiación solar de 320-350 calorías/cm²/día, precipitación promedio anual de 1.800 mm, humedad relativa de 76%, suelos con una pendiente de 5%, francos arenosos y franco arcillosos de origen volcánico.

Preparación del terreno

Se instaló una cobertura de plástico tipo negro calibre 1,2 en “V” o mulch invertido para evitar que el suelo se contaminara con nematodos no correspondientes al estudio, el suelo previamente se desinfectó con dazomet (Anexo 1), se dejó 15 días cubierto con la finalidad de exponerlo a solarización y se depositó sobre la cobertura plástica. Es importante resaltar que la desinfestación del suelo no solo acaba con los organismos patógenos para las plantas, también afecta los organismos benéficos y necesarios para el óptimo desarrollo del cultivo.

Adicionalmente se instaló una estructura de macrotúnel con plástico agroclear X provisto de filtro de 360 nm e inhibidor benzotriazol (Foto 1).



Foto 1. Establecimiento del sistema de producción en macrotúnel. Fuente: Autores

Genotipos

Se evaluaron dos introducciones de tomate silvestre tipo cereza, una proveniente al germoplasma de la Universidad de Caldas (COLY007) cuyo genotipo es moderadamente susceptible al ataque por nematodos a densidades mayores a 1000 individuos/planta (Padilla-Hurtado *et al.*, 2022) y otra proveniente de Accesiones del Instituto Agronómico de Campinas, Brasil IAC1687 cuyo genotipo es moderadamente resistente al ataque por nematodos con densidades de población de 1000 individuos/planta (Padilla-Hurtado *et al.*, 2022). Además, se evaluaron paralelamente los materiales chonto: Híbrido comercial resistente a nematodos (Anexo 2) y Variedad comercial (susceptible).

Siembra y trasplante

La siembra de los materiales se realizó en la granja Tesorito, en bandejas de 72 lóculos y un sustrato de turba “*Sphagnum*”. Luego de que las plantas alcanzaron el tamaño ideal (3 a 5 hojas verdaderas) fueron trasplantadas en la Granja Montelindo (Foto 2).



Foto 2. Establecimiento y fase de semillero (a) plántulas de tomate a punto de trasplante (b). Fuente: Autores.

Tratamientos

Se evaluaron 7 tratamientos. 3 cepas de *Bacillus* spp. que fueron seleccionadas previamente *in vitro* por su potencial nematocida y proporcionadas por los laboratorios de Bacteriología de la UAM: *B. infantis* (GIBI 177), *B. subtilis* (GIBI 200) *B. pumilus* (GIBI 206), el producto biológico comercial (PBC) i.a. *Bacillus subtilis*, raza (QTS 713) 1×10^9 ufc/g 1.34% de 1×10^9 UFC/g (Anexo 3), el producto químico comercial (PQC) i.a. Cadusafos (Anexo 4) y finalmente el testigo con nematodos (TNEM) y el testigo sin nematodos (TSNEM).

Diseño experimental

Se estableció un diseño en parcelas divididas, con bloques completamente al azar, las parcelas principales estuvieron constituidas por 4 genotipos y las parcelas secundarias por los 7 tratamientos conformados por las bacterias nativas, los productos comerciales y los testigos, se establecieron 3 repeticiones y la unidad experimental fue de 6 plantas de tomate, para un total de 18 plantas por tratamiento de acuerdo con la figura 3.

T3R3	T4R3	T2R3	T4R3
T6R3	T5R3	T1R3	T6R3
T4R3	T1R3	T7R3	T5R3
T2R3	T7R3	T5R3	T3R3
T5R3	T6R3	T6R3	T1R3
T7R3	T3R3	T4R3	T2R3
T3R3	T2R3	T3R3	T7R3
T3R2	T4R2	T4R2	T2R2
T6R2	T7R2	T6R2	T1R2
T4R2	T6R2	T5R2	T3R2
T5R2	T2R2	T2R2	T7R2
T1R2	T3R2	T1R2	T4R2
T2R2	T5R2	T7R2	T6R2
T7R2	T1R2	T3R2	T5R2

T2R1	T2R1	T2R1	T3R1
T4R1	T7R1	T5R1	T1R1
T7R1	T3R1	T4R1	T7R1
T6R1	T6R1	T3R1	T2R1
T3R1	T1R1	T1R1	T4R1
T1R3	T5R1	T6R1	T5R1
T5R1	T4R1	T7R1	T6R1
IAC1687	COLY007	SANTA CRUZ	ROBLE

Figura 3. Diagrama del diseño experimental establecido. Elaboración propia.

Tabla 5. Tratamientos (Indicativos de abreviaciones)

Tratamientos	Indicador
<i>Bacillus infantis</i> (GIBI 177)	T1
<i>Bacillus subtilis</i> (GIBI 200)	T2
<i>Bacillus pumilus</i> (GIBI 206)	T3
Producto biológico comercial (PBC) i.a. <i>Bacillus subtilis</i> , raza (QTS 713)	T4
Producto químico comercial (PQC) i.a. <i>Cadusafos</i>	T5
Testigo sin nematodos (TSNEM)	T6
Testigo con nematodos (TNEM)	T7

Nota. Las barras de color corresponden a cada unidad experimental del tratamiento establecido.

Inoculación de bacterias

Las cepas de *Bacillus* fueron proporcionadas y preparadas a la concentración ideal en una fase previa (*in vitro*) dirigida por la Universidad Católica de Manizales, las cuales fueron estandarizadas a 1×10^8 UFC/ml en 2.5 ml/litro de H₂O, posteriormente en campo

se realizaron 3 aplicaciones [200 ml/planta]. La primera aplicación en drench fue 8 ddt, luego el día 27 ddt y por último 47 ddt (Foto 3). El producto biológico comercial, se aplicó al mismo tiempo que las bacterias nativas, siguiendo la recomendación del fabricante y utilizando una dosis media de 5ml/l de agua, que es la registrada en la ficha técnica (Anexo 3).



Foto 3. Inoculación de las cepas bacterianas. Fuente: Autores.

Inoculación de nematodos

La inoculación se realizó 22 d.d.t con una suspensión a una concentración de 1000 individuos de *Meloidogyne* spp., en 200 ml de agua por planta (Foto 4). En los cuatro puntos cardinales de cada sitio donde fueron sembradas las plántulas se hicieron hoyos de aproximadamente 5 cm de profundidad para facilitar que el nematodo colonizara homogéneamente las raíces de las plántulas, y con la ayuda de una jeringa se aplicaron 50 ml de la suspensión en cada hoyo.

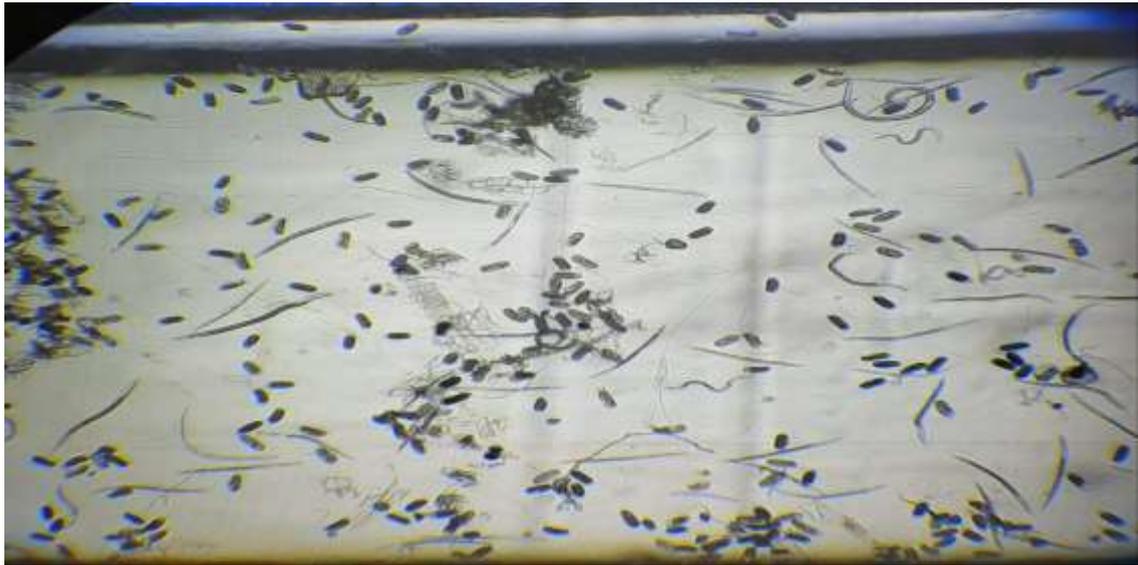


Foto 4. Inoculo de *Meloidogyne spp.* Fuente: Autores.

Manejo agronómico

El manejo agronómico del cultivo, se llevó a cabo de acuerdo con las recomendaciones técnicas de Jaramillo *et al.*, (2012), el cual contó con las labores culturales respectivas que demandó su desarrollo.

Rendimiento y calidad

Se cosecharon periódicamente los frutos que alcanzaron la madurez organoléptica, registrando el peso total en gramos y número de frutos en cada cosecha de manera individual para cada planta al final se estimó el rendimiento y se expresó en t/ha.

Para la calidad de los frutos de cada planta de cada genotipo se midieron la resistencia a la penetración (kg. f) con un penetrómetro marca Hanna y el contenido de sólidos solubles (°Brix) con un refractómetro digital marca Hanna.

Análisis estadístico

El análisis estadístico de las variables evaluadas se realizó mediante el software SAS, con el cual se determinó mediante análisis de varianza (ANAVA) el genotipo, los

tratamientos o las interacciones que tuvieron resultados significativos, posteriormente se sometieron a pruebas de rango múltiple de Duncan para definir cuáles fueron las alternativas más efectivas para el desarrollo del cultivo de tomate y que se pueden incluir en un manejo integrado de *Meloidogyne* spp.

Resultados y discusión

VARIABLES DE RENDIMIENTO

De acuerdo con el análisis de varianza (ANAVA), las fuentes de variación tratamiento e interacción entre genotipo*tratamiento no presentaron diferencias estadísticas significativas ($P < 0,01$), mientras que, la fuente de variación genotipo presentó diferencias altamente significativas ($P < 0,01$) mediante las cuales se demostró que los resultados para las variables rendimiento (t/ha), número de frutos totales (NFT), peso promedio del fruto (PPF) fueron consecuencia de los materiales de siembra establecidos (Tabla 6).

Tabla 6. Análisis de varianza (valores $Pr < F$) para la interacción genotipo y bacterias del género *Bacillus* sobre las variables de rendimiento en el cultivo de tomate en presencia de *Meloidogyne* spp.

FUENTE	GL	Rendimiento (t/ha)	NFT	PPF
Genotipo	3	0,064*	<,0001**	<,0001**
Tratamiento	6	0,2614 Ns	0,4772 Ns	0,4487 Ns
Genotipo* Tratamiento	18	0,3910 Ns	0,1755 Ns	0,2320 Ns

**Denota diferencias altamente significativas ($P < 0,01$), * denota diferencias significativas ($P < 0,05$), Ns: No diferencias estadísticas significativas. NFT: Número de frutos totales. PPF: Peso promedio del fruto (g).

El genotipo COLY007, al parecer presentó segregación o falta de estabilidad genética, debido a que, se encontraron plantas que expresaron diferencias fenotípicas respecto a las variables de rendimiento descritas anteriormente; los genotipos comerciales se caracterizaron por tener frutos de mayor peso y tamaño, comparados con los genotipos silvestres (Tabla 7).

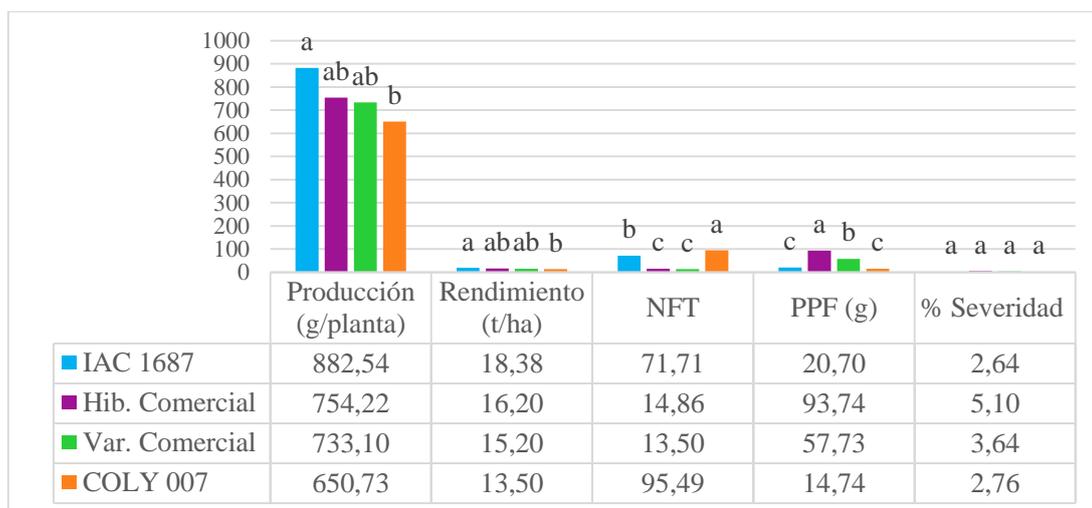
Tabla 7. Interacción de genotipo y bacterias sobre variables de rendimiento y porcentaje de severidad en presencia del nematodo nodulador de la raíz (*Meloidogyne* spp.)

Genotipo	Tratamiento	Producción (g/planta)	Rendimiento(t/ha)	NFT	PPF	% Severidad
COLY 007	PQC	499,56 a	10,40 a	121 ab	5,95 b	1,83 b
	GIBI177	494,12 a	10,29 a	52,56 b	31,94 a	2,3 b
	GIBI200	516,89 a	10,76 a	81,11 ab	17,06 b	1,7 b
	GIBI206	1004,11 a	20,91 a	91,56 ab	11,85 b	0,5 b
	PBC	641,44 a	13,36 a	72,89 ab	12,36 b	0 b
	TNEM	851,56 a	17,74 a	108,78 ab	11,19 b	13 a
	TSNEM	547,44 a	11,40 a	140,56 a	12,81 b	0 b
	IAC 1687	PQC	676,67 a	14,09 a	51,44 a	28,60 ab
GIBI177		959,56 a	19,99 a	61,89 a	31,09 a	3,83 ab
GIBI200		993,67 a	20,7 a	81,67 a	17,61 ab	4 ab
GIBI206		687 a	14,31a	59,89 a	19,53 ab	1 ab
PBC		1046,89 a	21,79 a	87,33 a	17,8 ab	4,3 a
TNEM		858,67 a	17,88 a	82 a	10,75 ab	4,3 a

	TSNEM	955,33 a	19,9 a	77,78 a	19,56 ab	0 b
Híbrido comercial (Resistente)	PQC	611,78 ab	12,74 ab	6,78 a	89,73 a	1,6 a
	GIBI177	854,33 ab	17,79 ab	5,7 a	76,53 a	1,4 a
	GIBI200	793,56 ab	16,53 ab	8,78 a	94,99 a	2,3 a
	GIBI206	995,33 a	20,73 ab	7,56 a	114,85 a	2,2 a
	PBC	907,33 ab	21,14 a	12,89 a	79,61 a	3,3 a
	TNEM	667,33 ab	13,9 ab	6,89 a	95,4 a	9,8 ab
	TSNEM	449,89 b	10,54 b	4,11 a	105,09 a	0 a
Variedad comercial (Susceptible)	PQC	578,44 a	12,05 a	12,89 a	52,39 a	0,5 b
	GIBI177	860,63 a	17,93 a	16,13 a	64,32 a	1,5 b
	GIBI200	913,44 a	19,02 a	16,11 a	49,01 a	4,5 ab
	GIBI206	656,11 a	13,6 a	10,33 a	56,46 a	0,7 b
	PBC	755,22 a	15,73 a	13,22 a	60,88 a	13,8 a
	TNEM	559,33 a	11,65 a	10,67 a	58,03 a	4,5 ab
	TSNEM	822,67 a	18,38 a	15,44 a	63,73 a	0 b

Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (P<0,05)

Según la respuesta de los genotipos frente a las variables de rendimiento (Gráfica 1), la variedad silvestre IAC 1687 reportó la mayor media de producción (882,54 g/planta), en consecuencia, el mayor rendimiento 18,38 t/ha (Densidad de siembra = 20.833 plantas/ha); y el Híbrido comercial presentó el segundo mayor rendimiento (16,20 t/ha). La moderada resistencia de la variedad IAC 1687 con densidades de población mayores a 1000 individuos de *Meloidogyne* spp./planta (Padilla-Hurtado *et al.*, 2022) y resistencia del Híbrido comercial nematodo nodulador (Anexo 2) a causa del gen *Mi* (Inés Vásquez, 2021) fueron características que condicionaron los comportamientos de rendimiento entre los genotipos tipo Cherry y Chonto, por tal razón, entre variedades silvestres se presentaron diferencias de rendimiento del 27% y entre comerciales del 6%; sin embargo, la diferencia de rendimiento ligado al porcentaje de severidad entre genotipos comerciales (Hib. comercial = 5,10%; Variedad comercial = 3,64%) (Gráfica 1) demostró que, aunque el Híbrido comercial alcanzó el mayor rendimiento, fue quien presentó la mayor severidad. Teniendo en cuenta que el ciclo de cosecha del cultivo tuvo una duración de 2.5 meses (9 pases de cosecha), es de esperarse que las producciones alcanzadas por los genotipos pudieron llegar a ser mayores de haberse realizado los 14 pases de cosecha que generalmente se llevan a cabo en cultivos de tomate.



Gráfica 1. Respuestas de los genotipos de tomate frente a las variables de rendimiento y porcentaje de severidad en presencia del nematodo nodulador (*Meloidogyne* spp.). Letras diferentes indican diferencias significativas (P<0,05).

Los resultados de la evaluación entre genotipos de las variables NFT y PPF fueron inversos entre tomates tipo Chonto y Cherry; de modo que, los genotipos tipo chonto

presentaron los mayores resultados de PPF y los Cherry el mayor NFT (Gráfica 1). Cabe destacar que el comportamiento de la variedad COLY007 fue producto de la segregación de fenotipos mencionada anteriormente y que el comportamiento de superioridad del Híbrido comercial respecto a las variables de rendimiento se vi influenciado por la expresión de resistencia al nematodo.

Según Blandón Aguirre (2017); Mongue *et al.*, (2021) el rendimiento es una variable determinada por la acumulación de biomasa de las plantas y es un factor que define a materiales silvestres como promisorios. Sin embargo, la producción debe estar acompañada de expresiones de homogeneidad referentes peso promedio del fruto morfotipo y calibre del fruto (Díaz Espinosa 2021) para cumplir con los requerimientos referentes a los estándares de calidad del mercado (S.I.S, 2022). Por tal razón, las respuestas de las variedades a las variables de rendimiento destacan a IAC 1687 como material promisorio, ya que al compararse con la variedad COLY 007 registró el mayor rendimiento y PPF (> 29%), además, presentó comportamientos de estabilidad de morfotipo y peso promedio del fruto.

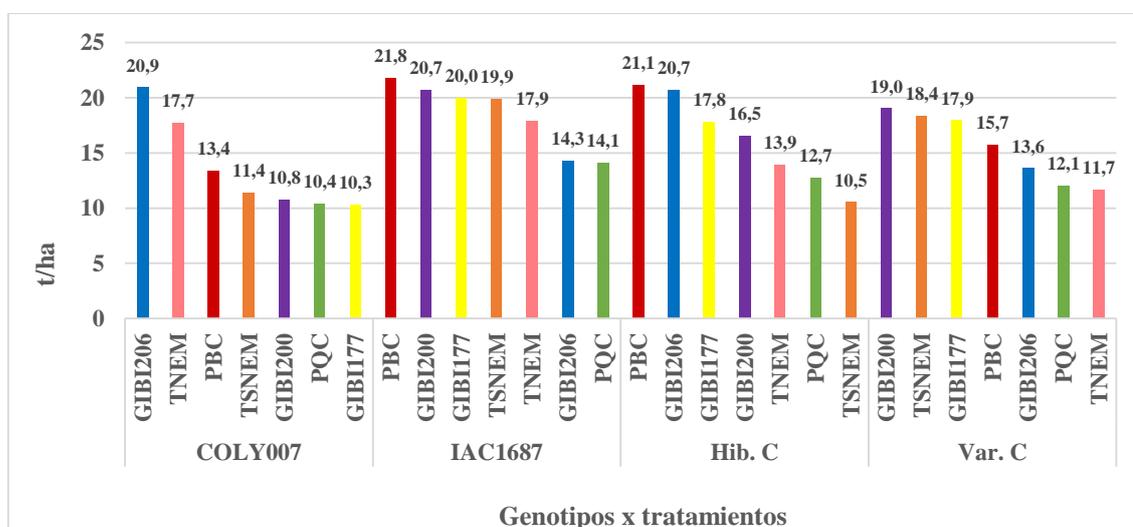
De acuerdo con las pruebas realizadas de rango múltiple de Duncan para la interacción genotipos*tratamiento (Tabla 7), sólo el Híbrido comercial presentó diferencias significativas de rendimiento en interacción con el tratamiento PBC (21,14 t/ha); sin embargo, en interacción con el mismo tratamiento la variedad IAC 1687 reportó la mayor media general de rendimiento (21,79 t/ha) (Gráfica 2). Los resultados demostraron incrementos de rendimiento del 34 y 18% comparados con los respectivos tratamientos TNEM de los genotipos Híbrido comercial e IAC 1687.

Según Yavad (2020), los microorganismos llegan a ser gestores de la modificación en dinámicas de desarrollo y producción del cultivo, por tal razón, aún sin presentar diferencias significativas, la interacción genotipos*cepas bacterianas demostró tener efectos positivos sobre el rendimiento en presencia del nematodo y señaló que el comportamiento de las bacterias no fue específico ya que varió en función del genotipo y la variable evaluada, tal es el caso de los genotipos Híbrido comercial y COLY 007 que en interacción con *Bacillus pumilus* GIBI 206 reportaron las mayores medias de

rendimiento (20,73 y 20,91 t/ha respectivamente), de igual manera IAC 1687 y Variedad comercial con *Bacillus subtilis* GIBI 200 reportaron 20,7 y 19,02 t/ha respectivamente.

Alcedo & Reyes (2018) señalaron que diversos microorganismos promotores de crecimiento son utilizados para incrementar la producción de cultivos; dicha afirmación fue confirmada por Peralta (2021) quien reportó que la inoculación con *Bacillus subtilis* con dosificación de 0,0048 cc en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) alcanzó un rendimiento (12 t/ha) 25% mayor al obtenido por el testigo (9 t/ha).

Además del número de pases de cosechas, se atribuyen a la desinfección del suelo los rendimientos reportados. Según Mamani & Filippone (2018) la asociación simbiótica que presentan algunas rizobacterias entre ellas bacterias del genero *Bacillus* con las plantas, las convierten en aliadas del desarrollo y proceso natural de nutrición, no obstante, la desinfección del suelo acarrea problemáticas orientadas a la pérdida biológica (vacío biológico) y la disminución de su fertilidad (Cuellas *et al.*, 2019). Ahora bien, teniendo en cuenta el ingrediente activo de los tratamientos, se evidencia la acción positiva de los productos biológicos comparados con el tratamiento PQC quien al actuar exclusivamente como insecticida demostró resultados inferiores a los de las bacterias comerciales y nativas.

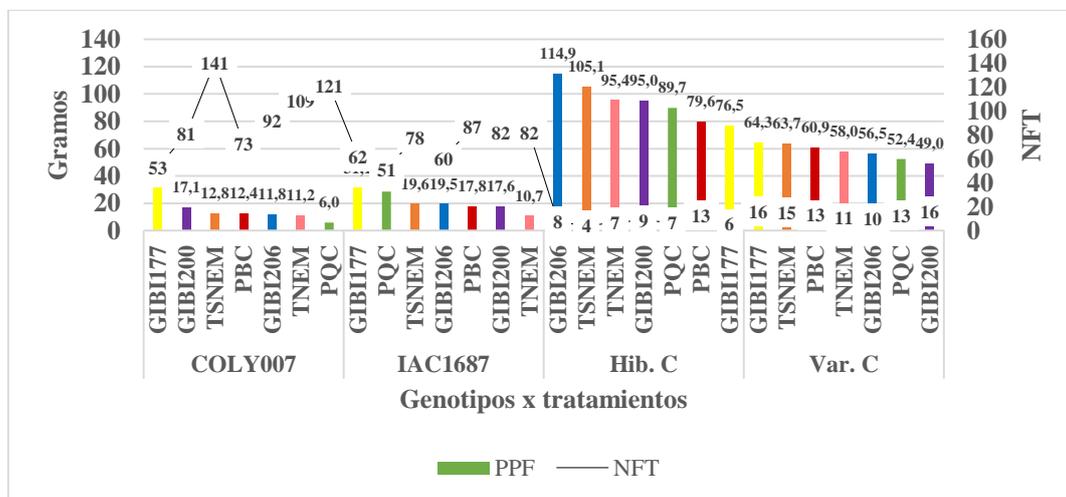


Gráfica 2. Efecto de los tratamientos sobre el rendimiento de los genotipos en presencia del nematodo nodulador (*Meloidogyne* spp.). GIBI 177: *B. infantis*; GIBI 200: *B.*

subtilis; GIBI 206: *B. pumilus*; PQC: Producto químico comercial; PBC: Producto biológico comercial; TNEM: Testigo con nematodos; TSNEM: Testigo sin nematodos.

La prueba de rango múltiple de Duncan para la variable PPF demostró que sólo las variedades IAC 1687 y COLY007 en interacción con el tratamiento *Bacillus infantis* GIBI 177 presentaron diferencias significativas (Tabla 7) reportando pesos promedio de 31,09 y 31,94 gramos respectivamente que comparados con los respectivos tratamientos TNEM presentaron incrementos del peso del 64 y 65% (Gráfica 3), además, sin presentar diferencias significativas la Variedad comercial en interacción con *Bacillus infantis* GIBI 177 registró el mayor PPF general (64,3 gramos).

Según Chávez Suárez *et al.*, 2012; Blandón Aguirre, 2017 la constitución genética, la influencia de los factores bióticos y la influencia ejercida por los factores ambientales son las claves que determinan los resultados de producción obtenidos de los individuos, por tal razón, sino es ejercida una fuente de estrés sobre un individuo, este se verá en la facultad de manifestar su potencial productivo. Sólo la variedad COLY007 presentó diferencias significativas referentes a la variable NFT y reportó el mayor NFT con el tratamiento TSNEM (141 frutos), de acuerdo con las severidades expuestas en la Tabla 7 el resultado alcanzado por TSNEM se relaciona con la inexistencia de afectación del nematodo en los individuos (0%). Cabe recordar que la segregación fenotípica expuesta por la variedad COLY 007 fue un factor que determinó los resultados expuestos.



Gráfica 3. Efecto de los tratamientos sobre el PPF y NFT de los genotipos en presencia

del nematodo nodulador (*Meloidogyne* spp.). GIBI 177: *B. infantis*; GIBI 200: *B. subtilis*; GIBI 206: *B. pumilus*; PQC: Producto químico comercial; PBC: Producto biológico comercial; TNEM: Testigo con nematodos; TSNEM: Testigo sin nematodos.

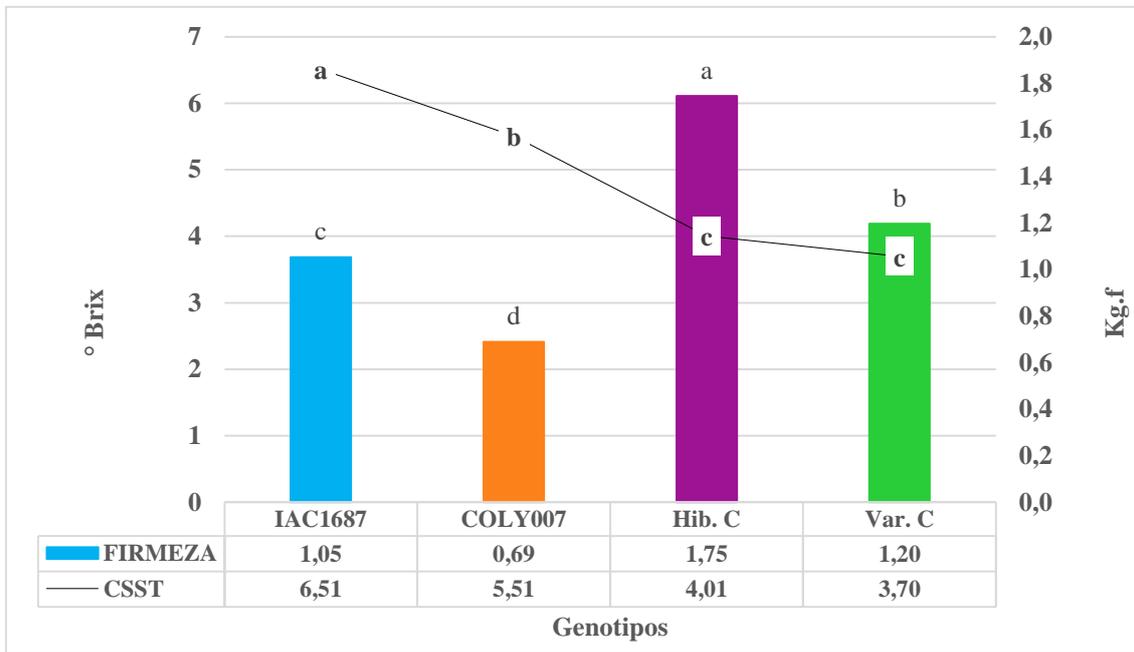
No obstante, sin presentar diferencias significativas, las interacciones de los genotipos IAC 1687 e Hib. Comercial en interacción con el tratamiento PBC reportaron las mayores medias de NFT (87,33 y 12,89 frutos correspondientemente), los resultados comparados con los TNEM demostraron aumentos del 6 y 46% en el orden dado. Peralta (2021) mediante la inoculación con producto biológico comercial (I.a *Bacillus subtilis* (2.5×10^{10} ufc)) en plantas de tomate comprobó que el peso de los frutos cosechados de las plantas inoculadas con la mayor dosificación llegó a ser 20% mayor a los obtenidos del testigo.

Es posible que la concentración de unidades formadoras de colonias de los tratamientos (GIBI 177, GIBI 200, GIBI 206 (1×10^8 ufc)) y PBC (1×10^9 ufc/g) influyó sobre los resultados obtenidos y por tal motivo PBC en interacción con los genotipos demostró en repetidas ocasiones comportamientos superiores a los de las bacterias nativas.

Queda abierta la brecha para conclusiones y nuevas investigaciones puesto que los resultados expuestos fueron el producto de la inoculaciones individual de microorganismos para cada tratamiento, pero, posiblemente los resultados pueden tender a cambiar de manera positiva si dichos microorganismos son aplicados como mezclas microbianas que ligadas al manejo agronómico llegan a tener efectos positivos sobre la productividad del cultivo, tal y como lo concluyen Marino *et al.*, (2016) “*La inoculación de rizobacterias a cultivos agrícolas es una herramienta para incrementar los rendimientos en los cultivos, sin embargo el tipo de microorganismos, la mezcla, además de las condiciones y sobre todo la densidad que se aplique pueden ser determinantes en el efecto que se pueda observar en el rendimiento del cultivo*”

VARIABLES DE CALIDAD DEL FRUTO

De acuerdo con las pruebas realizadas de rango múltiple de Duncan para las variables de calidad en frutos con madurez organoléptica, se observó que la fuente de variación germoplasma evaluado presentó diferencias significativas ($P < 0,05$); el comportamiento de las variables contenido de sólidos solubles (CSS) ($^{\circ}$ Brix) y firmeza (kg. f) fue inverso en los materiales silvestres y comerciales. En consecuencia, los materiales silvestres presentaron mayor contenido de $^{\circ}$ Brix y menor firmeza (debido a sus fenotipos de menor tamaño) todo lo contrario se observó en los materiales chonto con valores promedios igual y menor a 4 $^{\circ}$ Brix y firmezas superiores influenciadas por sus tamaños y epidermis (Gráfica 4).



Gráfica 4. Respuestas de los genotipos a las variables de calidad (firmeza y contenido de sólidos solubles totales) en presencia del nematodo nodulador (*Meloidogyne* spp.). Letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

La variedad IAC 1687 presentó diferencias significativas en la variable CSS ($P < 0,05$) por lo cual fue superior a los demás materiales reportando un valor medio de 6.5 $^{\circ}$ Brix, seguido de la variedad COLY007 (5.5 $^{\circ}$ Brix), el Híbrido comercial alcanzó 3.4 $^{\circ}$ más que la Variedad comercial. El CSS de tomate Cherry es en gran medida influenciado por aspectos genéticos, Ceballos-Aguirre *et al.*, (2020) hallaron que hubo diferencias

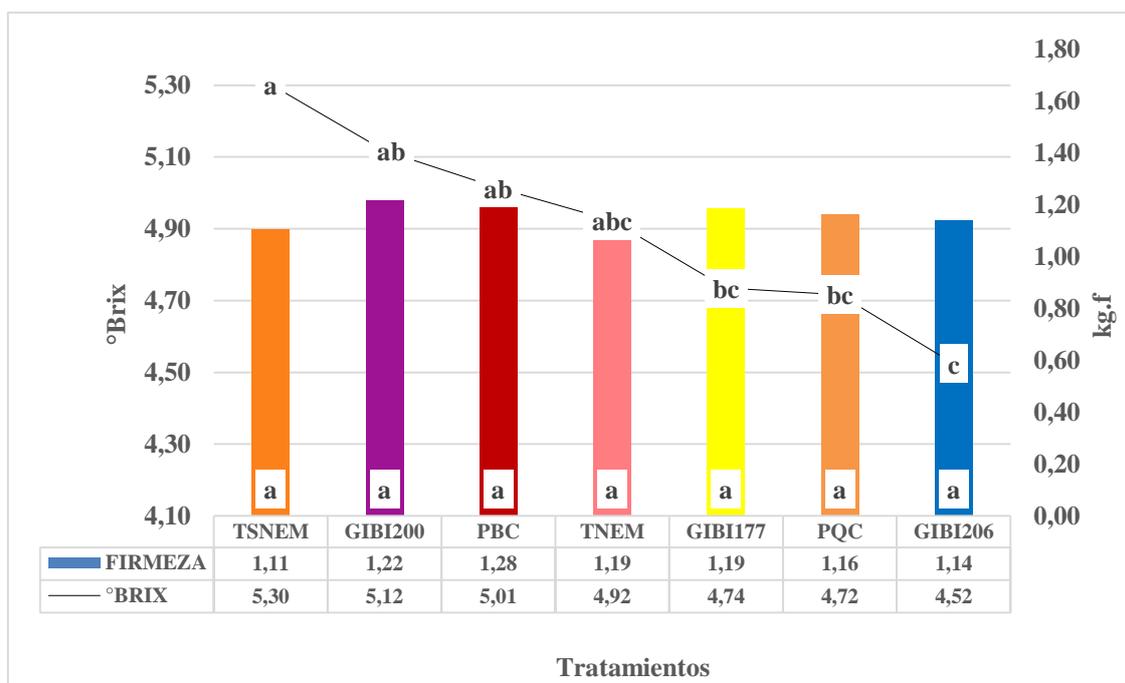
significativas para todas las fuentes de variación con una media de 5.55 °Brix ya que el % de la suma total de cuadrados del efecto genotípico para este carácter fue del 62,55 %, sin embargo, el efecto de la interacción Genotipo X Ambiente representó el 24,20% y el 13,25% correspondió al efecto del ambiente.

Monge-Pérez (2015) en Costa Rica encontró que el material tipo “uva” JMX 1178 bajo condiciones de invernadero obtuvo los valores más altos de CSS en dos pruebas diferentes (8.4 y 11.6 °Brix), aunado a ello observaron que tomates de menor peso (< 20 g) tuvieron la tendencia a contener más CSS sin embargo tomates con peso de fruto promedio mayor al de tomate Cherry pueden tener niveles aceptables en esta variable (< 4°Brix) debido a que en gran parte el contenido de CSS está determinado por la variedad como se mencionó anteriormente, por ejemplo, según Domene *et al.*, (2017) frutos de tomate Cherry variedad Genio alcanzaron valores de 6.1°Brix, en cambio frutos de tomate larga vida variedad Ramyle expresó un 4.1 °Brix.

Por otro lado, Ceballos Aguirre (2012) realizó una comparación de caracteres agronómicos de los materiales cherry y chonto y reportó valores de CSS entre 5.4 a 8.7 y entre 3.4 a 4.3 respectivamente. Dichos reportes concuerdan con lo observado en este estudio para esta variable de calidad de los germoplasmas evaluados cuyos valores expresados de CSS estuvieron dentro del rango.

Los valores de firmeza presentaron diferencias significativas donde los frutos del Hib. Comercial presentó los mayores valores promedio (1.75 kg. f) seguido de la variedad comercial con 1.2 kg.f. Los frutos de tomate silvestre presentaron los menores valores de firmeza, el material IAC 1687 obtuvo 1.05 kg.f y COLY007 tuvo el menor valor con 0.69 kg.f. La medida de la firmeza expresa la resistencia de la cutícula al penetrómetro, por lo que es un buen indicativo de la dureza del fruto en ese momento, pero no de la vida postcosecha del fruto. Domene *et al.*, (2017) reportan tomates larga vida con un valor promedio de firmeza de 21,27 N, significativamente mayor (nivel 5 %) que el del tipo cherry el cual alcanzó 19.6 N. Estos valores mencionados difieren de los encontrados en este estudio para los materiales evaluados posiblemente por ser variedades diferentes, a pesar de ello se destaca la tendencia que tiene el tomate Cherry a poseer una menor firmeza que otros tipos de tomate.

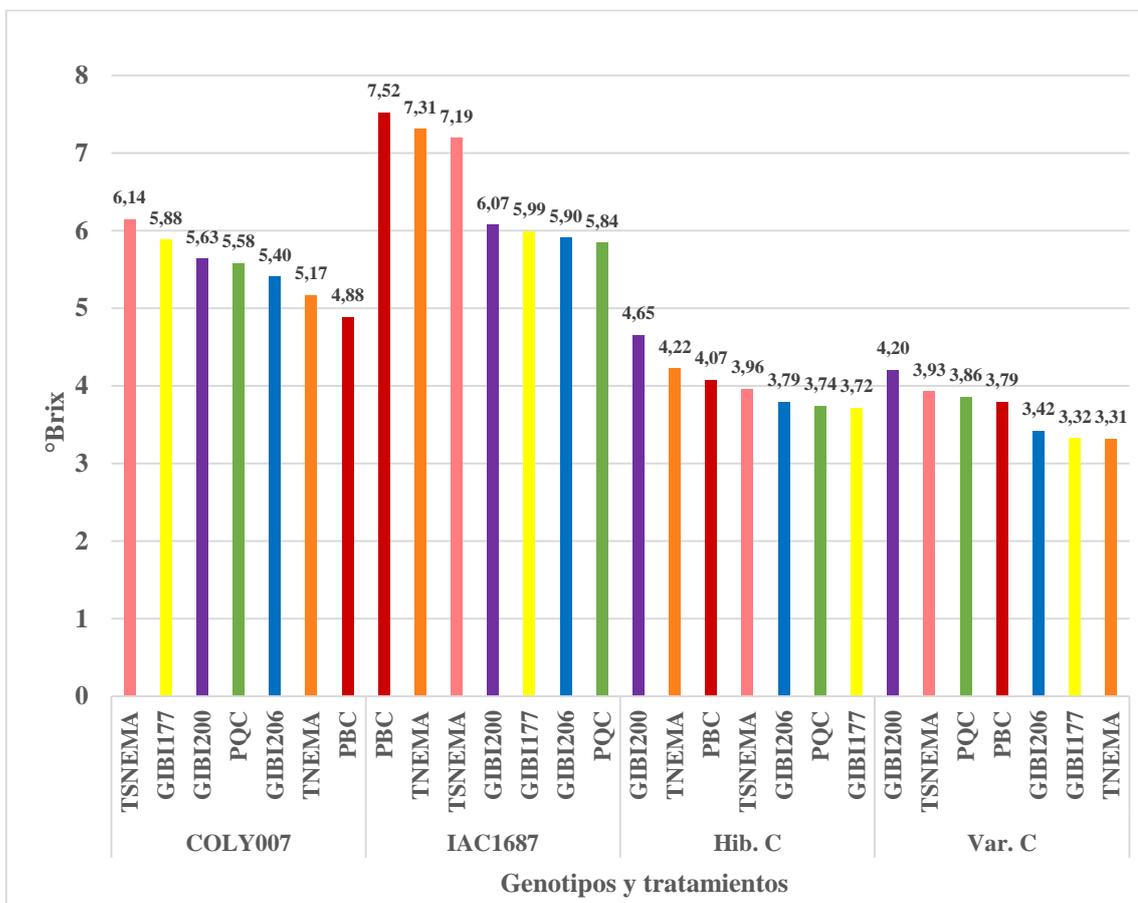
La prueba de rango múltiple de Duncan sobre la fuente de variación tratamiento demostró diferencias significativas ($P < 0,05$) sobre el CSS. De modo contrario, no hubo diferencias significativas de los tratamientos sobre la firmeza del fruto, a pesar de ello a nivel general los valores medios más altos se obtuvieron con los tratamientos PBC (1.28 kg. f) y GIBI 200 (1.20 kg. f). Hubo una mayor firmeza de todos los tratamientos incluido el testigo con nematodos (1.19 kg. f) de aquel sin nematodos (1.11 kg. f) (Gráfica 5).



Gráfica 5. Efecto de los tratamientos sobre la firmeza y CSST en presencia del nematodo nodulador (*Meloidogyne* spp.). GIBI 177: *B. infantis*; GIBI 200: *B. subtilis*; GIBI 206: *B. pumilus*; PQC: Producto químico comercial; PBC: Producto biológico comercial; TNEM: Testigo con nematodos; TSNEM: Testigo sin nematodos. Letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

El tratamiento TSNEM presentó los valores promedio más altos de °Brix (5.3). De igual manera, *Bacillus subtilis* GIBI 200 y PBC mostraron un efecto similar sobre CCS de 5.1 y 5.01 respectivamente superando al TNEM. Estos resultados sugieren que existe relación entre el CCS y la infección causada por *Meloidogyne* spp., ya que en su ausencia las plantas lograron expresar el más alto contenido de °Brix, también se observa que los tratamientos PBC y el *Bacillus subtilis* GIBI 200 pudieron contribuir al mantenimiento de este atributo de calidad en presencia de la infección. Las cepas *Bacillus infantis* GIBI 117 y *Bacillus pumilus* GIBI 206 junto al PQC no presentaron algún beneficio sobre el ataque de *Meloidogyne* spp. en el germoplasma evaluado (Gráfica 5).

La prueba de rango múltiple de Duncan para la respuesta genotipo*Tratamiento sobre CSS, reportó que a nivel general se obtuvieron valores entre 3.3 y 4.7 °Brix para los tomates chonto comerciales y valores entre 4.9 y 7.5 °Brix para los materiales tipo Cherry (Gráfica 6).



Gráfica 6. Efecto de los tratamientos sobre el CSST de frutos de los genotipos en presencia del nematodo nodulador (*Meloidogyne* spp.). GIBI 177: *B. infantis*; GIBI 200: *B. subtilis*; GIBI 206: *B. pumilus*; PQC: Producto químico comercial; PBC: Producto biológico comercial; TNEM: Testigo con nematodos; TSNEM: Testigo sin nematodos.

La variedad COLY007 expresó el máximo valor de °Brix en ausencia del nematodo (6.14); a excepción del PBC que tuvo solo 4.88 °Brix, todos los demás tratamientos tuvieron valores más altos que el testigo con nematodos. La cepa comercial de *Bacillus* tuvo efecto contrario al de COLY007 en IAC 1687 puesto que alcanzó un CSS de 7.5 °Brix siendo el más alto. Sobre este material el testigo con nematodos fue el segundo

mejor tratamiento (7.3°Brix) seguido del testigo sin nematodos (7.2°Brix), además se observó una tendencia de disminución de CSS con las 3 cepas evaluadas y el PQC.

El comportamiento observado en los materiales cherry indica que COLY007 pudo ser afectado en su calidad cuando hubo presencia del nematodo, incluso cuando se aplicó el PBC pudo no recuperar este atributo. A su vez el material IAC 1687 demostró tener rasgos de resistencia en cuanto a característica de CSS según el fenotipo y la bacteria asociada a él.

La cepa GIBI 200 tuvo el mejor efecto en ambos materiales chonto comerciales con un máximo de 4,7 °Brix y 4,2 °Brix para el Híbrido y la Variedad respectivamente. El tratamiento con nematodos en el híbrido comercial tuvo el segundo y mejor valor (4.2°Brix) en contraste con todos los demás controles incluido el que no tenía nematodos que tuvieron valores inferiores. Además, la variedad comercial presentó afectación en CSS en presencia de *Meloidogyne* spp. ya que expresó el menor valor de °Brix (3,3). Los resultados con el control químico, la cepa comercial y dos de las cepas nativas (GIBI 206 y 177) fueron inferiores al testigo sin nematodos ya que este último tuvo el segundo valor más alto de CSS. Estos resultados sugieren que puede existir especificidad sobre la sinergia entre las variedades y las diferentes cepas bacterianas.

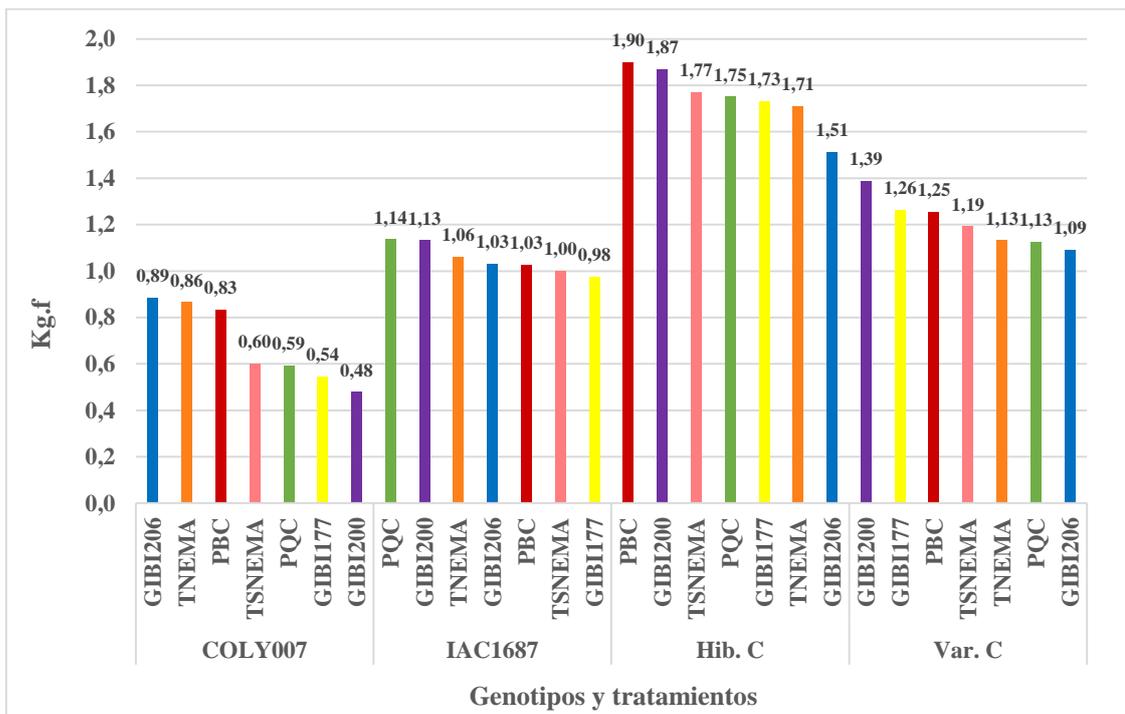
Guerrero (2018) reportó diferencias significativas al aplicar cepas bacterianas en tomate tipo saladette con respecto al testigo sin inocular, puesto que superaron los valores óptimos de referencia alcanzando una media superior de 5.27 °Brix con la bacteria *Pseudomona* spp y 5.17 °Brix con una mezcla de *Bacillus* y *Pseudomona* spp. Dicho efecto se pudo comprobar al ver que las cepas bacterianas evaluadas fueron beneficiosas en el aspecto de calidad de frutos con madurez organoléptica en ambos estudios. Díaz (2021) infesto tomate con *Nacobbus aberrans* y encontró que las aplicaciones de cepas de *Bacillus* mejoraron el crecimiento del tomate durante las primeras semanas; sin embargo, al no ejercer un control sobre el nematodo concluye que la eficacia de un organismo antagonista en el control biológico depende de factores a considerar como la especie y/o aislado del agente utilizado, la especie y/o variedad del cultivo, así como también el género y/o especie del nematodo que se quiere controlar. Es posible que el efecto de las bacterias sobre un material vegetal esté determinado por alguna

compatibilidad con la planta e incluso con otras bacterias de la rizosfera y debido a ello se haya observado los resultados.

En un estudio realizado en mora sin espinas, (Robledo-Buriticá *et al.*, 2018) observaron un efecto a largo plazo (48 semanas) después de siembra con aplicaciones endógenas de una mezcla de bacterias promotoras de crecimiento vegetal (BPCV) ya que dicho tratamiento alcanzó valores similares a la fertilización mineral, aunque no hubo diferencias significativas GIBI 200 + GIBI 206 mostraron un mejor efecto sinérgico que estando solas. Así mismo, la fertilización convencional al 100%N registró mayor CSS en comparación con el de 50% N+ biofertilizantes sobre el cultivo de pepino, sin embargo, esta concentración disminuyó hacia los días 15 y 20 de conservación en el tratamiento convencional, mientras que los pepinos procedentes del tratamiento con biofertilizantes fueron capaces de mantener la concentración de CSS a lo largo del periodo de almacenamiento (Gómez Cruz, 2015).

Existe un aumento en la absorción de elementos nutritivos por las plantas cuando son inoculadas con BPCV, este aumento se atribuye a la producción de fitohormonas en el medio de crecimiento, que estimula el desarrollo de las raíces y por ende una mejor absorción de agua y de elementos nutritivos (Guerrero, 2018). Por lo tanto, se permite suponer que existe un beneficio al aplicar *Bacillus sp.* sobre el cultivo de tomate incluso en presencia de *Meloidogyne spp.* al evidenciar estos resultados (Gráfica 6).

La fuerza de penetración está relacionada con la firmeza de los frutos la cual está considerada como un buen indicador de la madurez, depende del estado de la fruta en el momento de recolección, la temperatura y forma de almacenamiento y puede relacionarse con el color externo (Gómez Cruz, 2015). En la interacción genotipo*tratamiento sobre la firmeza, los materiales tipo chonto obtuvieron los valores más altos, entre 1.9 kg.f y 1.1 kg.f para el Híbrido Comercial y la Variedad Comercial respectivamente, valores entre 1.5 y 0.5 fueron expresados por los materiales tipo cherry (Gráfica 7).



Gráfica 7. Efecto de los tratamientos sobre la firmeza de frutos de los genotipos en presencia del nematodo nodulador (*Meloidogyne* spp.). GIBI 177: *B. infantis*; GIBI 200: *B. subtilis*; GIBI 206: *B. pumilus*; PQC: Producto químico comercial; PBC: Producto biológico comercial; TNEM: Testigo con nematodos; TSNEM: Testigo sin nematodos.

El material COLY007 obtuvo el mejor valor en interacción con el tratamiento *Bacillus pumilus* GIBI 206, seguido por TNEM con medias de 0.89 y 0.86 respectivamente. Solo el tratamiento PBC superó al TSNEM a diferencia de los tratamientos PQC, *Bacillus infantis* GIBI 177 y *Bacillus subtilis* 200 que tuvieron valores inferiores. El material IAC 1687 obtuvo la mayor firmeza en interacción con el tratamiento el tratamiento PQC con 1.14 kg.f, seguido por la cepa *Bacillus subtilis* GIBI 200 con 1.13 kg.f siendo mínima la diferencia. El testigo con nematodos superó a los demás tratamientos, el menor valor se obtuvo con la cepa *Bacillus infantis* GIBI 177 que fue inferior incluso a TSNEM. En el Hib. comercial únicamente la cepa *Bacillus pumilus* GIBI 206 fue inferior al TSNEM ya que obtuvo el menor valor de firmeza (1.51 kg. f). Los mejores resultados se obtuvieron con la cepa comercial (1.9 kg. f), seguido por la cepa GIBI 200 (1.87 kg. f); el testigo sin nematodos superó a los demás tratamientos. Los tratamientos PQC y GIBI 206 no presentaron beneficios sobre la firmeza de la variedad comercial al ser inferiores a TNEM y TSNEM.

Gómez Cruz *et al.*, (2015) evaluaron la inoculación en pepino (*Cucumis sativus*) de BPCV+ 50% de la fertilización Nitrogenada en comparación al 100%N y no mostraron diferencias significativas en las pérdidas de peso a los 10, 15 y 20 ddc sin embargo los frutos de plantas con *Bacillus* fueron más firmes al final de la evaluación, demostrando que los biofertilizantes en combinación a la fertilización mineral puede ser una alternativa viable principalmente debido a la utilización de menores cantidades de fertilizantes nitrogenados, incluso otros minerales esenciales y fitohormonas.

Mena-Violante *et al.*, (2009) demostraron que las aplicaciones de BPCV en raíces tomate tienen efecto positivo sobre su comportamiento agronómico aumentando la longitud (20%) del peso fresco (19%) y rendimiento (28%) con respecto al testigo control, aunado a ello dicho tratamiento con *Bacillus subtilis* tuvo un 25% menos de incidencia por microorganismos para consumo después de 10 días después de cosecha, fueron un 22% más firmes y presentaron una reducción en la actividad de la enzima poligalacturonasa de frutos en estadio tardío de maduración en comparación con el testigo control.

Conclusiones

El comportamiento agronómico de los genotipos evaluados demostró que la variedad IAC 1687 e Híbrido comercial (genotipos con expresión de resistencia) en presencia del nematodo presentaron los mejores resultados de rendimiento y calidad.

La interacción cepa bacteriana*introducción presentó efectos positivos sobre las variables de rendimiento y calidad del fruto en presencia de *Meloidogyne*; sin embargo, el comportamiento de las bacterias no fue específico y varió en función del germoplasma y la variable evaluada.

Las variables CCS y firmeza son determinadas en gran en gran porción por características genéticas, sin embargo, la inoculación de BPCV en el cultivo de tomate con presencia de *Meloidogyne* spp. ejerció efectos positivos reflejados en el aumento de los resultados de las variables de calidad.

Los resultados reportados por los genotipos en interacción con PBC (*Bacillus subtilis*, raza (QTS 713)) comparados con los alcanzados por las cepas nativas sugieren la concentración de ufc/g como factor precursor de efectos diferenciales sobre los resultados esperados.

Recomendaciones

Evaluar el efecto de la variación de concentraciones, dosificaciones y frecuencias de aplicación de las bacterias inoculadas sobre las variables de rendimiento del cultivo de tomate, además, evaluar el efecto de las bacterias nativas inoculadas como consorcios bacterianos.

Determinar la efectividad de establecimiento de los microorganismos.

Determinar el efecto de la interacción genotipos*bacterias sobre la conservación de propiedades físicas y nutricionales y la duración en anaquel de los frutos.

Bibliografía

1. Abuslin, S. A., & Vaca, G. A. (2017). Control del nematodo nodulador de la raíz *Meloidogyne incognita* en el cultivo de tomate utilizando los hongos *Pochonia chlamydosporia*, *Paecilomyces lilacinus*, el extracto botánico *Tagetes patula* y el nematicida oxamil.
2. Agrios, G.N. 2005. Plant pathology. 5th. ed. Academic Press, NY.
3. Ahmad, F., Ahmad, I., Khan M. (2008). Screening of free-living rhizospheric bacteria for their multiple plant growth promoting activities. *Microbiological Research* 163(2), 173-181. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2006.04.001>
4. Alcedo, Y. C., & Reyes, I. (2018). Microorganismos promotores de crecimiento en el biocontrol de *Alternaria alternata* en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Bioagro*, 30(1), 59-66.
5. Anusree, V.N., & K.K.Vijayan (2016). Bioprospecting of novel antimicrobial metabolites from *Bacillus subtilis* MBTDCMFRI Ba37 and *Pseudomonas aeruginosa* MBTDCMFRI Ps04 of tropical estuarine habitats of Cochin, India and its application in fish health management.
6. Arias, Y., González, I., Rodríguez, M., Rosales, C., Suárez, Z., & Peteira, B. (2009). Aspectos generales de la interacción tomate (*Solanum lycopersicon* L.) _ *Meloidogyne incognita*. *Revista de Protección Vegetal*, 24(1), 1-13.
7. Aristizabal, G. M. 2009. Caracterización y evaluación de recursos genéticos de tomate pajarito (*Lycopersicon esculentum* mill. Var. *Cerasiforme* A.gray). Trabajo de grado para optar al título de ingeniero agrónomo. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Caldas. 64p. 47
8. Betancurt, M y J.P. Fernández. 2008. Comportamiento agronómico y fitosanitario de dos híbridos de tomate (*lycopersicon esculentum* Mill.) bajo condiciones semicontroladas en la granja Tesorito. Universidad de Caldas. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Trabajo de grado para optar al título de ingeniero agrónomo. Programa Ingeniería Agronómica. 56p.
9. Blandón Aguirre, F. (2017). *Evaluación y selección de líneas de tomate (Solanum Lycopersicum Mill) tolerantes a enfermedades y con alta productividad en San Isidro,*

- Darío y Jinotega, primera y postrera 2015* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Agraria).
10. Boada, M., J. Mejía, N. Ceballos y F. Orozco. 2010. Evaluación agronómica de treinta introducciones de tomate silvestre tipo cherry (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Agronomía* 18 (2): 59 – 67.
 11. Bojacá, C. R., Villagrán, E. A., Gil, R., & Franco, H. (2017). *El riego y la fertilización del cultivo del tomate*. Universidad Jorge Tadeo Lozano.
 12. Borjas-Ventura, R., Julca-Otiniano, A., & Alvarado-Huamán, L. (2020). Las fitohormonas una pieza clave en el desarrollo de la agricultura. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 8(2), 150-164.
 13. Bottini, R., Cassán, F., & Piccoli, P. (2004). Gibberellin production by bacteria and its involvement in plant growth promotion and yield increase. *Applied microbiology and biotechnology*, 65(5), 497-503. <https://doi.org/10.1007/s00253-004-1696-1>
 14. Cámara de Comercio de Bogotá. (2015). *Manual de Tomate* Cámara de Comercio de Bogotá Centro de Información Empresarial (CIEB).
 15. Cano, E., López, J. A., Cano, E., Carballo, C. V., & Guharay, F. (2004). Control biológico de plagas agrícolas (No. 53). Bib. Orton IICA/CATIE.
 16. Cardona-Piedrahita, L. F., Castaño-Zapata, J., & Aguirre, N. C. (2016). Respuesta de quince introducciones de tomate cherry (*Solanum lycopersicum* L.) al nemátodo Nodulador (*Meloidogyne* spp. GOELDI) e identificación de las especies. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 40(156), 450-460.
 17. Ceballos Aguirre, N., & Vallejo Cabrera, F. A. (2012). Evaluating the fruit production and quality of cherry tomato (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 65(2), 6593-6604. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v65n2/v65n2a04.pdf>
 18. Ceballos Aguirre, N. (2012). *Evaluación agronómica, molecular e interacción genotipo-Ambiente de introducciones de tomate tipo cereza* (Doctoral dissertation, Universidad de Caldas).
 19. Ceballos-Aguirre, N., Vallejo-Cabrera, F. A., & Morillo-Coronado, Y. (2020). Estimating genotype-environment interactions for internal fruit quality traits in cherry tomatoes. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 14(3), 361-374.

20. Chaves, E. J., Echeverría, M. M., Merlo Álvarez, H., & Salas, A. (2019). Clave para determinar géneros de nematodos del suelo de la República Argentina.
21. Chávez Suárez, L., Álvarez Fonseca, A., & Ramírez Fernández, R. (2012). Apuntes sobre algunos reguladores del crecimiento vegetal que participan en la respuesta de las plantas frente al estrés abiótico. *Cultivos Tropicales*, 33(3), 47-56.
22. Chávez, E.J. 2004. Nematodos en cultivos hortícolas del sudeste bonaerense. Seminario Avances en la sustitución/eliminación del bromuro de metilo en la desinfección de suelos y sustratos. (2): 52-58.
23. CIRO BASTO, P. C., & VILLEGAS ESTRADA, BERNARDO (2010). Mis buenas prácticas agrícolas: guía para agroempresarios.
24. Corpoica. (2012). TECNOLOGÍA PARA EL CULTIVO DE TOMATE BAJO CONDICIONES PROTEGIDAS. Bogotá, D.C.
25. CRISTANCHO, A. (2019). Resistencia inducida contra las enfermedades.. ENFERMEDADES del cafeto en Colombia.
26. Cuellas, M., Amoia, P., & Delmazzo, P. (2019). Efecto de diferentes tratamientos de desinfección del suelo sobre las propiedades edáficas. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 35(1), 26-37.
27. Dagatti, C. V., Becerra, V. C., & Herrera, M. E. (2014). Caracterización de daños producidos por *Meloidogyne* spp.(Nemata: Tylenchida) en la Vid en Mendoza, Argentina/Characterization of damage caused by *Meloidogyne* spp.(Nemata: Tylenchida) in grapevines in Mendoza, Argentina. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 31(2), 51-62.
28. de Garcia Salamone, I. E., Hynes, R. K., & Nelson, L. M. (2005). Role of cytokinins in plant growth promotion by rhizosphere bacteria. In *PGPR: biocontrol and biofertilization* (pp. 173-195). https://doi.org/10.1007/1-4020-4152-7_6
29. De Jesús Herrera, H., Hurtado-Salazar, A., & Ceballos-Aguirre, N. (2015). Estudio técnico y económico del tomate tipo cereza elite (*Solanum lycopersicum* L. var. cerasiforme) bajo condiciones semicontroladas. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 9(2), 290-300.
30. Diaz Espinosa, E. E. (2021). *Producción de jitomate (Lycopersicum esculentum L.) mediante manejo agroecológico y microorganismos promotores del crecimiento* (Master's thesis, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla).

31. Díaz, M. A. (2021). Efecto de la aplicación de tres especies del género *Bacillus* sobre plantas de tomate infestadas con *Nacobbus aberrans* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata). http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/133336/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
32. Domene, J. C., Gázquez, M. D., & Segura y Meca, D. E. (2017). Evaluación de sustancias nutritivas y bioactivas en tres tipos de tomate: Asurcado (RAF), Cherry y Larga Vida MA Actas de Horticultura, I Jornadas del grupo de Alimentación y Salud.
33. Ebert, A., Astorga, C., Ebert, I., Mora, A., & Umaña, C. (2007). Securing Our Future: CATIEs Germplasm Collections Turrialba, CR CATIE. Serie Técnica. Boletín Técnico, (26), 204.
34. Esquivel, A. (2015). MANUAL MORFOLOGÍA DE LOS NEMATODOS . En D. T. Bongers, MORFOLOGÍA DE LOS NEMATODOS (págs. 3-41). Costa Rica.
35. FAO. 2006. Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires. Commission du codex alimentarius. Rapport de la treizième session du comité du codex sur les fruits et légumes frais. Mexico (Mexique) 25 - 29 septembre 2006. En: www.fao.org. 15 de abril de 2010. U.S. International Trade Commission (USITC).
36. Faostat, 2022. Agriculture statistics on crops. Core production data en: https://www.fao.org/faostat/es/#rankings/commodities_by_country
37. Gao, H., Qi, G., Yin, R., Zhang, H., Li, C., & Zhao, X. (2016). *Bacillus cereus* strain S2 shows high nematocidal activity against *Meloidogyne incognita* by producing sphingosine. *Scientific reports*, 6, 28756, 1-11. <https://doi.org/10.1038/srep28756>
38. García, I. L., Santos, A., Montorio, A. M., Yanguas, J. M. B., Burgos, J. M., Recio, A. A., & Ruiz, S. C. (2019). Tomate de industria. Campaña 2018. *Navarra agraria*, (232), 11-20.
39. García-Jaramillo, D. J., López-Zapata, S. P., Bustamante-Granada, S., López, W. R., Castaño-Zapata, J., & -Aguirre, N. (2022). Reacción y rendimiento de microinjertos de tomate (*Solanum* spp.) inoculados con *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Sacc.) Snyder & Hansen causante del marchitamiento vascular. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*.

40. Garcés Santana, N. A. (2022). *Efecto de Trichoderma harzianum para el control de Meloidogyne incognita, en el cultivo de tomate (Solanum lycopersicum L.)* (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2022).
41. Gómez Cruz, B. A. (2015). Efectos de la aplicación de biofertilizantes y fosfitos de potasio durante cultivo y un recubrimiento de poli (acetato de vinilo-co-alcohol vinílico) sobre la calidad y vida poscosecha de pepino (*Cucumis sativus L.*).
42. Gómez Duque, A. M., Castaño Zapata, J., & Ceballos Aguirre, N. (2015). Evaluating cherry tomato type (*Solanum spp.*) against late blight tomato *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary and root-knot nematode (*Meloidogyne spp.*) in two production systems. *Agronomía*, 23(1), 66-81.
43. González, I. A., Cidoncha, C. M., & Ruiz, S. C. (2022). Tomate de industria: campaña 2021. *Navarra agraria*, (250), 25-32.
44. Gorini, F. (2018). *Guía completa del cultivo del tomate*. Parkstone International.
45. GUERRERO, J. A. M. (2018). *RIZOBACTERIAS PROMOTORAS DE CRECIMIENTO VEGETAL EN EL COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE TOMATE* (Doctoral dissertation, Instituto Tecnológico de Torreón).
46. Gutiérrez, B. (2015). Consideraciones para el muestreo y colecta de germoplasma en la conservación ex situ de recursos genéticos forestales. *Conservación de Recursos Genéticos Forestales, Principios y Prácticas*. Santiago, Chile. Instituto Forestal.
47. Guzmán, P., Castaño, Z., & Villegas, E. (2009). PRINCIPALES NEMATODOS FITOPARÁSITOS Y SÍNTOMAS. *agron* (20) 1, 38-50.
48. Henao, G. Y. A. y C. A Serna. 2009. Efecto de la aplicación de ácido giberélico (AG3) en época de floración sobre el desarrollo, rendimiento y calidad de dos híbridos de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) bajo condiciones semicontroladas. Trabajo de grado para título de ingeniero agrónomo. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Caldas. Pag.24. 56 p.
49. Huang, Y., Xu, C., Ma, L., Zhang, K., Duan, C., & Mo, M. (2009). Characterisation of volatiles produced from *Bacillus megaterium* YFM3.25 and their nematocidal activity against *Meloidogyne incognita*. *European Journal of Plant Pathology*, 126(3), 417– 422. <https://doi.org/10.1007/s10658-009-9550-z>
50. Inés Vásquez, S. (2021). Alternativas bioecológicas para el control de nemátodos fitopatógenos en tomate rojo (*Solanum lycopersicum L.*) cultivado en invernadero.

51. Infoagro. 2009. El cultivo de Tomate. En: <http://www.infoagro.com/hortalizas/tomate.htm>. 10 Marzo de 2009.
52. Integrated Taxonomic Information System (2022). Taxonomía del género Bacillus. (En Red). Fecha de consulta: 19 de mayo de 2020. Disponible en: <http://www.catalogueoflife.org/annual-checklist/2013/browse/tree/id/13090573>
53. Integrated Taxonomic Information System (2022). Taxonomía del género Meloidogyne. (En Red). Fecha de consulta: 19 de octubre de 2022. Disponible en: https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=63578#null
54. Janssen, D., García , C., Ruiz, L., de Cara, M., Simón, A., & Martínez, Á. (28 de 05 de 2016). *Canales sectoriales*. Obtenido de Resistencia a enfermedades en los cultivos de tomate producidos en España: <https://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/157141-Resistencia-a-enfermedades-en-los-cultivos-de-tomate-producidos-en-Espana.html>
55. Jaramillo J.E y L. Atehortúa. 2002. El poder de los vegetales. Propiedades y usos populares de las hortalizas de clima frío moderado. p.13. Compendio 2. Centro de Investigación la selva, Corpoica Regional cuatro, Antioquia, Colombia. 60 p.
56. Jaramillo, J., Eliecer, J., Sánchez, L., Germán, D., Rodríguez, V., & Aguilar, P. A. (2012). Tecnología para el cultivo de tomate bajo condiciones protegidas. CORPOICA, Bogotá, Colombia, 482.
57. Lee, Y. S., & Kim, K. Y. (2015). Antagonistic Potential of *Bacillus pumilus* L1 Against RootKnot Nematode, *Meloidogyne arenaria*. *Journal of Phytopathology*, 164(1), 29–39. <https://doi.org/10.1111/jph.12421>
58. Liu, H. X., Li, S. M., Luo, Y. M., Luo, L. X., Li, J. Q., & Guo, J. H. (2014). Biological control of *Ralstonia* wilt, *Phytophthora* blight, *Meloidogyne* root-knot on bell pepper 128 by the combination of *Bacillus subtilis* AR12, *Bacillus subtilis* SM21 and *Chryseobacterium* sp. R89. *European journal of plant pathology*, 139(1), 107-116. <https://doi.org/10.1007/s10658-013-0369-2>
59. López Marín, L. M. (2014). Manual técnico del cultivo de tomate. San José, Costa Rica: INTA.

60. López, S. (2015). Bacillus, un género que alberga especies que cumplen diversos roles biológicos. Recuperado de: https://inta.gob.ar/sites/default/files/lic._lopez_bacillus.pdf.
61. Macua, J.I, Lahoz, I, Santos, A, Zabaleta, J, Calvillo C.F. 2009. Tomate de industria: Variedades de tomate tipo cherry o cereza para cosecha única. En Navarra Agraria 172:14-20
62. Mamani, A. I. D. F., & Filippone, M. P. (2018). Bioinsumos: componentes claves de una agricultura sostenible.
63. Márquez, C y P. Cano. 2005. Producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. Actas Portuguesas de Horticultura 5:1:219-224.
64. Mena-Violante, H. G., Cruz-Hernández, A., Paredes-López, O., Gómez-Lim, M. Á., & Olalde-Portugal, V. (2009). Fruit texture related changes and enhanced shelf-life through tomato root inoculation with Bacillus subtilis BEB-13BS. Agrociencia, 43(6), 559-567. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952009000600001
65. Miller, J.C. And S.D. Tanksley. 1990. RFLP analysis of phylogenetic relationships and genetic variation in the genus Lycopersicon. Theoretical and applied genetics 80: 437-448.
66. Minagricultura. 2019. Cadena de las hortalizas. Dirección de cadenas agrícolas y forestales.
67. Moens, M., Perry, R., & Starr, J. L. (2009). Meloidogyne species - a diverse group of novel and important plant parasites. Root-knot Nematodes, 1-17.
68. Monge-Pérez, J. E. (2015). Evaluación de 60 genotipos de tomate (Lycopersicon esculentum Mill.) cultivados bajo invernadero en Costa Rica. InterSedes, 16(33), 83-122. Disponible en: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.scielo.sa.cr/pdf/is/v16n33/a06v16n33.pdf>
69. Moreno-Velandia, C. A., Cotes, A. M., Beltrán-Acosta, C., Bettiol, W., & Elad, Y. (2018). Control biológico de fitopatógenos del suelo. *Control biológico de fitopatógenos, insectos y ácaros: agentes de control biológico, 1*, 144-220.
70. Nuez, F. 1999. Desarrollo de nuevos cultivares. In F. Nuez [ed.], El cultivo del tomate, 625-669. Mundi-Prensa, Madrid, Spain.

71. Padilla-Hurtado, B., Morillo-Coronado, Y., Tarapues, S., Burbano, S., Soto-Suárez, M., Urrea, R., & Ceballos-Aguirre, N. (2022). Evaluation of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) population density for disease resistance screening of tomato germplasm carrying the gene Mi-1. *Chilean journal of agricultural research*, 82(1), 157-166.
72. Páez, M. I., Uribe, M. V., Díaz, S. M., Castro, R. A., Barbosa, E., Londoño, A., & Carvajal, N. (2011). EVALUACIÓN DE RIESGO EN HUMANOS POR PLAGUICIDAS EN TOMATE CULTIVADO CON SISTEMAS TRADICIONAL Y BPA (BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS). *Revista de Ciencias*, 15.
73. Palomino, K. (2008). Hidroponía Comercial (Tomates y Lechugas). Macro.Página: 47. Tomado de <http://www.ebooks7-24.com.ezproxy.ucaldas.edu.co/?il=7735&pg=48>.
74. Pedraza, L. A., López, C. E., & Uribe-Vélez, D. (2020). Mecanismos de acción de *Bacillus* spp.(Bacillaceae) contra microorganismos fitopatógenos durante su interacción con plantas. *Acta biológica colombiana*, 25(1), 112-125.
75. Pérez, M. (2010). Mejoramiento genético en *Solanum lycopersicum* para la resistencia al pasador del fruto *Neoleucinodes elegantalis* Guenéé (Lepidoptera: Crambidae). In *13. Congreso Agropecuario y Forestal CONAGROF, San José (Costa Rica), 4-6 Ago 2010.*
76. Piedrahita, Ó. A., Montañez, C. Z., & Nicora, H. D. 2020. Interacciones fisiológicas de plantas con nematodos fitoparásitos: una revisión. *Bol. Cient. MusHist. Nat. U. de Caldas*, 4-5.
77. Puente, M., García, J., Rubio, E., & Peticari, A. (2010). Microorganismos promotores del crecimiento vegetal empleados como inoculantes en trigo. *INTA–Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. Publicación Miscelánea*, (116).
78. Robledo-Buriticá, J., Aristizábal-Loaiza, J. C., Ceballos-Aguirre, N., & Cabra-Cendales, T. (2018). Influence of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on blackberry (*Rubus glaucus* Benth. cv. thornless) growth under semi-cover and field conditions. *Acta Agronómica*, 67(2), 258-263.
79. Rodríguez, A. 1999. Antioxidantes – salud. En: <http://www.elmundo.es/salud/1999/326/02184.html>. 28 de Noviembre de 2010).
80. Rodríguez, G. R., Pereira da Costa, J. H., Pratta, G. R., Zorzoli, R., & Picardi, L. A. (2013). Recursos genéticos y genómicos para mejorar la calidad del fruto en tomate. *Agromensajes*, 35, 30-34.

81. Rojas-Miranda, T., Bertsch-Hernández, F., & García-González, J. E. (1996). Consideraciones sobre control biológico de nematodos fitoparásitos.(ISBN 9977-64-863-8.). In Congreso Nacional Agronómico y de Recursos; Naturales X/Congreso Nacional de Fitopatología III/Congreso Nacional de; Suelos II.(Puede la agricultura sostenible ser competitiva?). Memoria, San; José, CR, 8-12 Jul 1996, 1996-07-08..
82. Roselló, S., A.M. Adalid., J. Cebolla-Cornejo y F. Nuez. 2005. Cuantificación indirecta rápida del contenido en Licopeno y p-caroteno en variedades tradicionales de tomate. *Actas Portuguesas de Horticultura*. 4: 429-435.
83. S.I.S. (4 de Julio de 2022). *Importancia de la selección de tomates de calidad* . Obtenido de SUMINSA INSPECTION SYSTEMS: <https://suminsaindustria.com/importancia-de-la-seleccion-de-tomates-de-calidad/>
84. Serrato Bohórquez, N. A. (2020). Evaluación de riesgo ambiental de plaguicidas en agroecosistemas de tomate bajo invernadero y libre exposición de Colombia.
85. Silvana, M., Ramiro, P., Luis, G. J., & Cristian. (2011) L. Ensayo de cultivares de tomate bajo condiciones agroecológicas.
86. Talavera, M. & Salmerón, T. & Flor-Peregrín, E. & Vela, Md & Chiroso-Ríos, M. & Fernández, M. & Verdejo-Lucas, Soledad. (2014). Manejo integrado de nematodos fitoparásitos en cultivos hortícolas.
87. Talavera, M. (2003). Manual de nematología agrícola. Introducción al análisis y control nematológico para agricultores y técnicos de agrupaciones de defensa vegetal. México: Edit. Limusa, 1-9.
88. Turnbull, P. C., Kramer, J. M., & Melling, J. (1991). *Bacillus*. Manual of clinical microbiology, 5, 296-303.
89. Vallejo, F. A. (1999). Mejoramiento genético y producción de tomate en Colombia. Palmira: Universidad Nacional de Colombia.
90. Verdejo-Lucas, Soledad & Talavera, M.. (2017). Control biológico de nematodos en cultivos hortícolas.
91. Villarreal-Delgado, M. F., Villa-Rodríguez, E. D., Cira-Chávez, L. A., Estrada-Alvarado, M. I., Parra-Cota, F. I., & Santos-Villalobos, S. D. L. (2018). El género *Bacillus* como agente de control biológico y sus implicaciones en la bioseguridad agrícola. *Revista mexicana de fitopatología*, 36(1), 95-130.

92. Wubie, M., & Temesgen, Z. (2019). Resistance Mechanisms of Tomato (*Solanum lycopersicum*) to Root-Knot Nematodes (*Meloidogyne* species). *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, *11*(2), 33-40.
93. Yadav, A. N. (2020). Plant microbiomes for sustainable agriculture: current research and future challenges. *Plant microbiomes for sustainable agriculture*, 475-482.

Anexos

Anexo 1. Información técnica desinfectante del suelo

FORMULACIÓN

Granulado

INGREDIENTE ACTIVO

Dazomet

CLASIFICACIÓN TOXICOLÓGICA

III MEDIANAMENTE TÓXICO

NUMERO DE REGISTRO

ICA 2394

PRESENTACIÓN

20 Kg

Dosis

350 - 600 Kg/Ha

Recomendaciones

El producto debe incorporarse a una profundidad de 15-25 cm. En caso de nematodos que forman quistes y en suelos infestados por *Verticillium alboatrum* y *Fusarium oxysporum* var. *Cubense*, la incorporación debe efectuarse hasta 30 cm.

Anexo 2. Ficha técnica semilla Híbrido comercial

TOMATE CHONTO ROBLE F1

Presentación

Sobre x 1.000 Y 5.000 semillas

RESISTENCIAS Y V1: Verticillium wilt, raza 1 FFF: Fusarium wilt raza 1,2,3
TOLERANCIAS N: Root knot nematode ToMV: Tomato Mosaic Virus Sw:
Tomato Spotted wilt
P: Bacteria speck
Ty: Tomato Yellow leaf Curl Virus

Clima	Inicio de cosecha	Vigor	Tamaño	Forma	Poscosecha	Color de piel
Frío Moderado (1.800 a 2.200)	75 a 90 días después de trasplante	Alto	6 a 9 cm de diámetro ecuatorial	Chontoso	Larga Vida	Rojo intenso

La información contenida en este folleto, fue obtenida después de la realización de ensayos de campo.

Los resultados pueden variar de acuerdo con la región, el clima, el sistema de siembra, etc.

Anexo 3. Ficha técnica PBC

RHAPSODY® 1.34 SC  Bayer CropScience

Suspensión Concentrada SC

Biofungicida

Uso agrícola

Reg. Nal. ICA No. 5798

A nombre de BASF QUIMICA COLOMBIANA S.A

COMPOSICIÓN GARANTIZADA

Ingrediente activo:

Bacillus subtilis, raza (QTS 713) 1×10^9 ufc/g 1.34%

Ingredientes aditivos:

Auxiliares de formulación c.s.p. 100%

Contiene 13.40 gramos de ingrediente activo por litro de producto comercial equivalente a 1×10^{12}

INSTRUCCIONES DE PRIMEROS AUXILIOS

— En caso de intoxicación llame al médico inmediatamente o lleve al paciente al médico y muéstrele la etiqueta de este producto.

— En caso de contacto con los ojos, lave con abundante agua por mínimo 15 minutos, cubra el ojo afectado y lleve al paciente al médico.

— En caso de contacto con la piel, retire la ropa y bale al paciente con abundante agua y jabón y lleve al médico.

— En caso de intoxicación por inhalación, retire la víctima de la zona de contaminación, lleve al aire libre y mantenga al paciente acostado de medio lado y vigile que éste respire.

GUÍA PARA EL MÉDICO

— Medidas de descontaminación general y seguir tratamiento sintomático.

MEDIDAS PARA LA PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE:

— En caso de derrame, recoger con materiales absorbentes (aserrín o tierra seca), guardarlo en bolsa plástica y/o caneca y deseche acorde con la entidad local competente.

— No asperjar áreas fuera del cultivo a tratar. Lave el equipo en el sitio de la aplicación y deseche esta agua en el área tratada.

— No contaminar lagos, ríos, estanques ni arroyos con desechos o envases vacíos.

— Respetar las franjas de seguridad en relación a cuerpos de agua, carreteras troncales, núcleos de población humana y animal, o cualquiera otra área que requiera protección especial, 10 metros (terrestre) y 100 metros (aérea).

EN CASO DE EMERGENCIA LLAMAR:

CISPROQUIM: Línea de información para atención de emergencias con productos químicos (24 horas) 01-8000-916012 y 2886012.

“NINGÚN ENVASE QUE HAYA CONTENIDO BIOIFUNGICIDAS DEBERÁ UTILIZARSE PARA CONSERVAR ALIMENTOS O AGUA POTABLE”. “DESPUÉS DE USAR EL CONTENIDO, ENJUAGUE TRES (3) VECES ESTE ENVASE Y VIERTA EL AGUA EN LA MEZCLA DE APLICACIÓN. LUEGO DESTRÚYALO.”

RECOMENDACIONES DE USO

RHAPSODY® 1.34 SC presenta múltiples modos de acción para invadir y atacar hongos fitopatógenos. Trabaja primero creando una zona de inhibición en la hoja, previniendo el ataque de patógenos.

RHAPSODY® 1.34 SC también detiene el crecimiento de los patógenos por competencia por los nutrientes y espacio en la superficie

de la hoja.

RHAPSODY® 1.34 SC destruye el tubo germinativo y el micelio del patógeno, estos diferentes modos de acción resultan en un efectivo control de las enfermedades, con muy poca posibilidad de que los patógenos desarrollen resistencia.

FRECUENCIA Y ÉPOCA DE APLICACION

Cultivo	Plaga que controla	Dosis (L/Ha)	Época y número de aplicaciones
Tomate	Gota Phitophtora Infestans	2.5 - 10 cm ³ /L	Realizar aplicaciones periódicas con los primeros síntomas de la enfermedad con intervalos de 7 días entre ellas.

Rosa	Mildeo Polvoso Sphaerotheca pannosa	5 -10 cm ³ /L	Iniciar aplicaciones cuando se observen los primeros síntomas de la enfermedad realizando una aplicación semanal.
------	---	-----------------------------	---

COMPATIBILIDAD Y FITOTOXICIDAD

RHAPSODY® 1.34 SC No debe mezclarse con plaguicidas, surfactantes o fertilizantes foliares sin antes realizar una prueba de compatibilidad (miscibilidad) y fito-compatibilidad con el producto que se desea mezclar.

RHAPSODY® 1.34 SC en las dosis y frecuencia recomendadas, es compatible con los cultivos registrados, sin embargo se recomienda pruebas de fito-compatibilidad con nuevas variedades y/o híbridos.

INFORMACIÓN SOBRE RESPONSABILIDAD

El fabricante garantiza que las características físico-químicas del producto corresponden a las anotadas en la etiqueta y que mediante registro oficial de venta se verificó que es apto para los fines aquí recomendados de acuerdo con las indicaciones de empleo.

CATEGORÍA TÓXICOLÓGICA: II

CUIDADO – ALTAMENTE TÓXICO

Formulado por:

BAYER CROP SCIENCE UNA DIVISIÓN DE BAYER S. A.

Línea 01 8000 111212

Bogotá, D.C., Colombia

® *Marca Registrada*

Anexo 4. Ficha técnica PQC

RUGBY® 10 G 

Granulado - GR

Insecticida-nematicida agrícola

Reg. Nal. ICA No. 2903

Titular del registro: FMC Latinoamérica S.A.

COMPOSICIÓN GARANTIZADA:

Ingrediente activo:

Cadusafos 100 g/Kg

S,S-di-sec-butyl O-ethyl phosphorodithioate, formulación a 20 °C

Ingredientes aditivos: C.s.p. 1 Kg

CONSULTE CON UN INGENIERO AGRÓNOMO.

INSTRUCCIONES DE USO Y MANEJO: RUGBY® 10 G es un insecticida que actúa por contacto, no sistémico. Su Ingrediente activo es Cadusafos el cual es empleado para el control de nemátodos y plagas del suelo. RUGBY® 10 G debe ser incorporado al suelo cerca de las plantas o en la línea de siembra del cultivo, la aplicación debe realizarse en condiciones de buena humedad en el suelo, como por ejemplo después de un riego o en época lluviosa.

RECOMENDACIONES DE USO:

Cultivo	Blanco biológico	Dosis	P.C.	P.R.
Banano y Plátano (Musa sp.)	Nemátodo Barrenador (Radophulus spp.) Nemátodo lesionado (Pratylenchus spp.)	25-30 g/planta	N.D.	24 horas
Rosa (Rosa sp.)	Sinfilidos (Scutigerella immaculata)	100-150 Kg/Ha	N.A.	24 horas
Papa	Chisas	9 Kg/Ha	90 días	24 horas

(Solanum tuberosum)	(Ancognatha spp.)			
Piña (Ananas sativus)	Sinfilidos (Scutigera) inmaculata	30 Kg/Ha	N.A	N.A
P.C.: Periodo de Carencia. P.R.: Periodo de Reingreso. N.A.: No Aplica. N.D.: No Disponible.				

FRECUENCIA Y ÉPOCA DE APLICACIÓN: En banano y plátano aplique dos veces al año. Distribuya el producto uniformemente dentro de un radio de 60 cm en semicírculo, frente al hijo seleccionado. Se recomienda aplicar en periodo lluvioso.

En el cultivo de rosa, la aplicación debe realizarse en condiciones de humedad en el suelo, incorporando el producto.

En papa debe realizarse una aplicación alrededor del cuello de la planta, al momento del aporque, en condiciones de humedad incorporando el producto.

En piña la aplicación debe realizarse en presiembra con condiciones de humedad en el suelo, incorporando el producto.

FITOTOXICIDAD: Pruebas de campo demostraron que RUGBY® 10 G no es fitotóxico cuando se emplea bajo las dosis y las recomendaciones de la etiqueta.

COMPATIBILIDAD: Es compatible con los insecticidas empleados comúnmente.

LEA CUIDADOSAMENTE ESTA ETIQUETA ANTES DE USAR EL PRODUCTO

MANTÉNGASE BAJO LLAVE FUERA DEL ALCANCE DE LOS NIÑOS

PRECAUCIONES Y ADVERTENCIAS DE USO Y APLICACIÓN:

- No comer, beber o fumar durante las operaciones de mezcla y aplicación.
- Use ropa protectora, overol, botas, guantes y respirador con protección ocular durante el manipuleo y la aplicación. No ingresar al área tratada antes de 24 horas, si necesita entrar antes del periodo de reentrada, use overol, guantes y respirador con protección ocular.
- Después de usar el producto cámbiese, lave la ropa contaminada y báñese con abundante agua y jabón.
- Conservar el producto en el envase original etiquetado y cerrado.

INSTRUCCIONES DE PRIMEROS AUXILIOS:

— En caso de intoxicación llame al médico inmediatamente o lleve el paciente al médico y muéstrole la etiqueta.

— En caso de contacto con, los ojos lavarlos con abundante agua fresca por lo menos por 15 minutos, si la irritación ocurre y persiste, obtenga atención médica y si el contacto fue con la piel, lavarse con abundante agua y jabón, remueva la ropa contaminada y/o botas, y lávela con agua y jabón. Obtenga atención médica inmediata.

— Si el producto es inhalado, remueva la persona al aire fresco, si la respiración se dificulta, obtenga atención médica. Si la persona no respira de respiración artificial y vea el médico inmediatamente.

— Si el producto es ingerido suministre 1 o 2 vasos de agua e induzca al vómito presionando la parte posterior de la garganta con el dedo. Nunca induzca al vómito o suministre nada a una persona inconsciente. Contacte al médico.

ANTÍDOTO: Este producto es un inhibidor de la colinesterasa. Si no se observa cianosis administre de 2 a 4 mg de atropina intravenosa (para niños 0.02-0.05 mg/Kg). Repita la administración de atropina a intervalos de 5 a 10 minutos hasta que ocurra la atropinización (piel seca y enrojecida, taquicardia, dilatación pupilar), y manténgala durante 48 horas. En caso de cianosis administre una dosis inicial de atropina por vía intramuscular e inicie procedimiento para mejorar ventilación.

Simultáneamente administre 2-PAM de 1 a 3 gramos (20-40 mg/Kg para niños) en 100 mL de solución salina durante 15 a 30 minutos. Si hay edema pulmonar adminístrela lentamente por vía intravenosa en solución al 5% en agua durante 5 minutos.

CONTRAINDICACIONES: Morfina, reserpina, fenotiazinas y teofilina.

ATENCIÓN DE EMERGENCIAS TOXICOLÓGICAS 24 HORAS: CISPROQUIM: 018000916012, en Bogotá 2886012.

MEDIDAS PARA LA PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE: Este producto es altamente tóxico para peces y organismos acuáticos. No contaminar las fuentes de agua con los restos de la aplicación o sobrantes del producto. No contaminar lagos, ríos, estanques o arroyos con los desechos y envases vacíos.

ALMACENAMIENTO Y MANEJO DEL PRODUCTO: Almacene en lugar seco y bien ventilado. No almacene en lugares cerca al fuego, llamas o superficies calientes. Mantenga el producto en el empaque original. Mantenga fuera del alcance de niños y animales.

NINGÚN ENVASE QUE HAYA CONTENIDO PLAGUICIDAS DEBE UTILIZARSE PARA CONTENER ALIMENTOS O AGUA PARA CONSUMO.

DESPUÉS DE USAR EL CONTENIDO, DESTRUYA ESTE ENVASE Y DEPOSÍTELO EN LOS SITIOS DESTINADOS POR LAS AUTORIDADES LOCALES PARA ESTE FIN.

INFORMACIÓN SOBRE RESPONSABILIDAD: El titular del registro garantiza que las características fisicoquímicas del producto contenido en este envase corresponden a las anotadas en la etiqueta y que es eficaz para los fines aquí recomendados, si se usa y maneja de acuerdo con las condiciones e instrucciones dadas.

PRESENTACIÓN: 1 y 15 Kg.

CATEGORÍA TOXICOLÓGICA: III

MEDIANAMENTE TÓXICO

CUIDADO - BANDA AZUL

Formulado por:

FMC CORPORATION

Agricultural Products Group Philadelphia, PA, USA
1735 Market Street

Importado y distribuido por:

FMC LATINOAMÉRICA S.A.

Tel.: (57 1) 6351504 - (57 1) 6571900
Bogotá, D.C., Colombia