

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y NEGOCIOS SAN QUINTÍN

CAMPUS ENSENADA



T E S I S

**COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE VARIEDADES DE TOMATE HEIRLOOM
INOCULADAS CON MICROORGANISMOS (*Bacillus spp.*) ENDÉMICOS DEL VALLE
DE SAN QUINTÍN**

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

PRESENTA

HECTOR EDUARDO GOMEZ SOTO

DIRECTOR DE TESIS

DR. ÁNGEL MANUEL SUÁREZ HERNÁNDEZ

SAN QUINTÍN, ENSENADA, B. C.

MAYO DE 2024



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



“Comportamiento agronómico de variedades de tomate Heirloom inoculadas con microorganismos (*Bacillus spp.*) endémicos del Valle de San Quintín”

TESIS

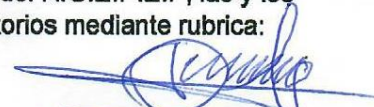
PARA CUBRIR LOS REQUISITOS NECESARIOS PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO

PRESENTA

HECTOR EDUARDO GOMEZ SOTO
352922

A quien el Comité de Tesis autoriza el trabajo terminal, después de haber efectuado una revisión minuciosa del mismo y de acuerdo con el Art. 19 del R.G.E.P.E.P, las y los señores profesores emiten los siguientes votos aprobatorios mediante rubrica:


ÁNGEL MANUEL SUÁREZ
HERNÁNDEZ
DIRECTOR


ONECIMO GRIMALDO
JUÁREZ
CODIRECTOR


JUAN CARLOS VAZQUEZ
ANGULO
SINODAL


ISIDRO BAZANTE
GONZALEZ
SINODAL


CARLOS CECENA DURAN
SINODAL

“Por la Realización Plena del Ser”

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
 DE BAJA CALIFORNIA



FACULTAD DE INGENIERÍA
 Y NEGOCIOS
 SAN QUINTÍN

DEDICATORIA

Dedico con todo mi corazón y amor esta presente tesis; a mi Padre, a mi Madre, mi esposa y mi hija, pero sobre todo a Dios, ya que gracias a todo el apoyo que me brindaron, el sostén que me ofrecieron y las bendiciones que me dieron, pude concluir esta hermosa etapa de mi vida. Por ello ahora les doy mi trabajo en ofrenda por su paciencia y amor incondicional, por esforzarse siempre con migo para tener algo mejor en un futuro próximo y realizarme como profesionalista.

Este proyecto no fue nada facil, pero estuvieron apoyándome y ayudándome hasta donde sus alcances lo permitían, por ello gracias infinitas todos ustedes.

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis, si bien ha requerido de esfuerzo y mucha dedicación por parte del autor y director de tesis, no hubiese sido posible su finalización sin la cooperación desinteresada de todas y cada una de las personas que a continuación mencionare, las cuales han sido un soporte demasiado importante en momentos de angustia, preocupación y desespero.

Primero y antes de todo, doy gracias a Dios, por estar conmigo en cada paso que he dado, por guiar mi camino y haber puesto en el a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante el periodo de estudio y antes de todo eso.

Agradezco al Dr. Ángel Manuel Suarez Hernández, por enriquecer con sus conocimientos y sugerencias el desarrollo de esta tesis. Por siempre aconsejarme, ser paciente y constante durante todo este proceso de preparación. Usted formo parte importante de esta historia con sus aportes profesionales que lo caracterizan.

Gracias a mis padres Toribio Gómez y Trinidad Soto por preocuparse por mi bienestar, sus consejos y experiencia ha ayudado a que se cumplan uno a uno todos mis objetivos, siempre han sido mis mejores guías de vida, aun desde el cielo mi padre me ilumina para seguir adelante con mis proyectos.

A Esmeralda mi ahora esposa, quien estuvo siempre a mi lado en los días y noches más difíciles durante mis horas de estudio, sus conocimientos y apoyo brindado fue de suma importancia, gracias por ser mi compañera durante toda la carrera universitaria y por siempre enriquecer aún más mis proyectos, pero sobre todo te agradezco por esa personita tan hermosa que nos está formando como familia, nuestra hija Fernanda.

A mis suegros quienes me apoyaron incondicionalmente en momentos de difíciles de mi carrera,
por siempre alentarme a seguir adelante y dar lo mejor de mí.

A los docentes, sus palabras fueron sabias, sus conocimientos rigurosos y precisos. Gracias por
su paciencia, por compartir sus conocimientos de manera profesional e invaluable, por su
dedicación y perseverancia.

“Gracias por creer en mí”

ÍNDICE GENERAL

	Página
ÍNDICE DE CUADROS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
I. RESUMEN	xi
II. INTRODUCCIÓN.....	1
2.1. Hipótesis.....	3
2.2. Objetivo general y específico	3
III. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
3.1. El cultivo de tomate.....	4
3.1.1. Importancia económica del cultivo	4
3.1.1.1. Producción nacional	5
3.1.1.2. Producción estatal	6
3.1.1.3. Exportaciones e importaciones.....	9
3.1.2. Variedades de tomate cultivadas en México	10
3.1.2.1. Tomate Saladette	11
3.1.2.2. Tipo Bola.....	14
3.1.2.3. Tomate Cherry.....	16
3.1.2.4. Tomate Heirloom	18
3.1.3. Manejo agronómico del cultivo.....	21
3.1.3.1. Requerimientos climáticos	21
3.1.3.2. Requerimientos edafológicos	22
3.1.3.3. Preparación del terreno.....	23

3.1.3.4.	Marco de plantación	25
3.1.3.5.	Requerimientos hídricos.....	26
3.1.3.6.	Requerimientos nutricionales	28
3.1.3.7.	Requerimientos culturales	29
3.1.3.8.	Control de plagas y enfermedades	31
3.2.	Los microorganismos benéficos.....	38
3.2.1.	Microorganismos benéficos de importancia en la agricultura	39
3.2.1.1.	Formulación de <i>Bacillus spp.</i>	42
3.2.1.2.	Criterios de aplicación de <i>Bacillus spp.</i>	44
3.2.2.	Aplicación de los microorganismos <i>Bacillus spp.</i> en la producción de tomate.	44
3.2.2.1.	Crecimiento y producción de las plantas.....	45
3.2.2.2.	Control de patógenos del suelo	46
3.2.2.3.	Calidad de los frutos.....	47
IV.	METODOLOGÍA	48
4.1.	Ubicación geográfica y condiciones climáticas	48
4.2.	Obtencion de las cepas de <i>Bacillus spp.</i>	48
4.2.1.	Recolección de muestras de suelo.....	48
4.2.2.	Preparacion de medios de cultivos y agua peptonada e isotónica esteril	48
4.2.3.	Aislamiento y purificación de cepas	49
4.2.4.	Identificación de las cepas.....	52
4.2.5.	Produccion de los inoculantes	53
4.3.	Tratamientos.....	53

4.4.	Diseño experimental.....	54
4.5.	Establecimiento y manejo del cultivo	55
4.6.	VARIABLES EVALUADAS.....	55
4.7.	Análisis estadístico.....	59
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	61
5.1.	Parámetros de producción y calidad de frutos	61
5.1.1.	Peso de fruto.....	62
5.1.2.	Número de frutos.....	63
5.1.3.	Rendimiento de fruto.....	64
5.1.4.	Diámetro polar de fruto	65
5.1.5.	Diámetro ecuatorial de fruto	66
5.1.6.	Grado de madurez del fruto.....	67
5.1.7.	Firmeza del fruto	68
5.1.8.	Grosor de pericarpio del fruto	69
5.1.9.	Contenido de sólidos solubles del fruto	70
5.1.10.	pH de fruto	72
5.1.11.	Acidez titulable de fruto.....	72
VI.	CONCLUSIÓN.....	74
VII.	LITERATURA CITADA	75

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Principales estados productores de tomate a nivel nacional en el 2020.....	7
Cuadro 2. Volumen y Valor de las exportaciones e importaciones en México en el 2010-2020.....	10
Cuadro 3. Principales tipos de tomates en México en el año 2020.....	11
Cuadro 4. Variedades de tomate saladette de hábito de cremento determinado de diferentes empresas semilleras.....	12
Cuadro 5. Variedades de tomate saladette de hábito de cremento indeterminado de diferentes empresas semilleras.....	13
Cuadro 6. Variedades de tomate bola de diferentes empresas semilleras.....	15
Cuadro 7. Variedades de tomate cherry de hábito de crecimiento indeterminado de diferentes empresas semilleras.....	17
Cuadro 8. Variedades de tomate cherry de hábito de crecimiento indeterminado de diferentes empresas semilleras.....	19
Cuadro 9. Manejo y control de los insectos más importantes en el cultivo de tomate	33
Cuadro 10. Síntomas y control de las enfermedades más importantes en el cultivo de tomate	35
Cuadro 11. Dosis aplicadas de los inoculantes	54
Cuadro 12. Análisis de varianza de producción y calidad de frutos de tres variedades de tomate Heirloom inoculados con Bacillus comercial y endémicos de San Quintín Baja California en los primeros tres cortes.....	61

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Superficie sembrada y cosechada, y rendimiento de tomate a nivel nacional en el 2010-2020.....	5
Figura 2. Volumen y valor de la producción de tomate a nivel nacional en el 2010-2020 ...	6
Figura 3. Superficie sembrada y cosechada, y rendimiento de tomate en Baja California en el 2010-2020.....	8
Figura 4. Volumen y valor de la producción de tomate en Baja California en el 2010-2020.....	8
Figura 5. Volumen de las exportaciones e importaciones de tomate en México en el 2010-2020.....	9
Figura 6. Precio de tomate convencional, en racimo y heirloom en racimo en el mercado norteamericano durante el 2020.	20
Figura 7. Siembra de las cepas de <i>B. subtilis</i> en caja Petri.....	50
Figura 8. Purificación de cepas de <i>B. subtilis</i> en caja Petri	50
Figura 9. Siembra de las cepas de <i>B. megaterium</i> en caja Petri	51
Figura 10. Purificación de cepas de <i>B. megaterium</i> en caja Petri.....	52
Figura 11. Identificación de cepas de <i>B. subtilis</i> y <i>B. megaterium</i> por tinción de Gram	52
Figura 12. Aplicación manual de los tratamientos en invernadero	54
Figura 13. Cosecha y conteo de numero de frutos por planta	56
Figura 14. Pesaje de fruto	56
Figura 15. Cuantificación de rendimiento total	56
Figura 16. Medicion de diámetro polar y ecuatorial de fruto	57

Figura 17. Medición de grosor de pericarpio del fruto.....	58
Figura 18. Determinación de contenido de sólidos solubles	58
Figura 19. Medición de pH.....	59
Figura 20. Determinación de acidez titulable	59
Figura 21. Peso de fruto (g) de tres variedades de tomate Heirloom inoculados con Bacillus comercial y endémicos de San Quintín Baja California.	62
Figura 22. Número de frutos por planta de tres variedades de tomate Heirloom inoculados con Bacillus comercial y endémicos de San Quintín Baja California.	63
Figura 23. Rendimiento total (g planta ⁻¹) de tres variedades de tomate Heirloom inoculados con Bacillus comercial y endémicos de San Quintín Baja California.....	65
Figura 24. Diámetro polar de fruto (mm) de tres variedades de tomate Heirloom inoculados con Bacillus comercial y endémicos de San Quintín Baja California.....	66
Figura 25. Diámetro ecuatorial de fruto (mm) de tres variedades de tomate Heirloom inoculados con Bacillus comercial y endémicos de San Quintín Baja California.....	67
Figura 26. Grado de madurez de tomate Heirloom inoculados con Bacillus comercial y endémicos de San Quintín Baja California.	68
Figura 27. Firmeza del fruto (kg cm ⁻²) de tomate Heirloom inoculados con Bacillus comercial y endémicos de San Quintín Baja California.	69
Figura 28. Grosor de pericarpio del fruto (mm) de tomate Heirloom inoculados con Bacillus comercial y endémicos de San Quintín Baja California.	70
Figura 29. Contenido de sólidos solubles del fruto (°Brix) de tomate Heirloom inoculados con Bacillus comercial y endémicos de San Quintín Baja California.	71

Figura 30. pH de fruto de tomate Heirloom inoculados con Bacillus comercial y endémicos de San Quintín Baja California.	72
Figura 31. Acidez titulable (ml NaOH) del fruto de tomate Heirloom inoculados con Bacillus comercial y endémicos de San Quintín Baja California.	73

I. RESUMEN

El uso indiscriminado de fertilizantes y plaguicidas ha propiciado en la actualidad buscar alternativas ecológicas que minimicen el uso de productos químicos sintéticos y el impacto en la salud y en el ambiente. El uso de microorganismos benéficos como *Bacillus* spp. promueve el crecimiento y desarrollo de las plantas e induce resistencia a estrés biótico o abiótico a través de diversos mecanismos. No obstante, la efectividad de los microorganismos puede variar dependiendo de las condiciones ambientales de las regiones donde son empleados como inoculantes en los cultivos. Por lo anterior, para garantizar la efectividad de los microorganismos, es necesario emplear *Bacillus* endémicos para no alterar las condiciones ambientales donde se desarrollan y asegurar con ello el establecimiento de los microorganismos en los cultivos.

Por lo anterior, en la presente investigación se evaluaron cuatro bacterias, dos de ellas endémicas (*Bacillus subtilis* y *B. megaterium*) del Valle de San Quintín y las otras dos integradas a productos comerciales (Bacistok y Bactiva). Las bacterias fueron inoculadas en forma individual y combinada en tres variedades de tomate Heirloom, con el objetivo de evaluar la producción y calidad de los frutos. El experimento se estableció en un diseño completamente al azar con arreglo factorial AB y doce repeticiones. Las variables evaluadas fueron 1) parámetros de producción: peso de fruto, número de fruto por planta y rendimiento total, 2) parámetros de calidad externa de fruto: diámetro polar, diámetro ecuatorial y grado de madurez, 3) parámetros de calidad interna del fruto: firmeza, grosor de pericarpio, contenido de sólidos solubles, pH y acidez titulable.

Los resultados mostraron que la respuesta productiva y calidad de las variedades de tomates Heirloom a la inoculación individual o combinada de *B. megaterium* y *B. subtilis*, endémicas de San Quintín difirió en las tres variedades. En la variedad Purple Calabash, la inoculación de *B.*

megaterium al 100% o combinado con *B. subtilis* al 50% incrementó el número de frutos, rendimiento total y contenido de sólidos solubles. En la variedad Riñon Oaxaca la inoculación de *B. subtilis* al 100% y las combinaciones con *B. megaterium* (50/50 y 30/70, respectivamente), aumentaron la firmeza y contenido de sólidos solubles. En la variedad Purple Cherokee la inoculación de *B. megaterium* al 100% o combinado con *B. subtilis* al 50% favoreció el número de frutos, mientras que al inocular con *B. megaterium* (70%) + *B. subtilis* (30%) indujo mayor contenido de sólidos solubles y firmeza del fruto. El grado de madurez del fruto, fue un parámetro que se favoreció en las tres variedades al inocular individualmente o combinada con *B. megaterium* y *B. subtilis* endémicas de San Quintín, así como la reducción de la acidez titulable. El pH se mantuvo en las diferentes inoculaciones, con excepción de la inoculación con *B. megaterium* que indujo mayor contenido.

Palabras clave: *B. subtilis*, *B. megaterium*, tomate heirloom, calidad de fruto, madurez del fruto.

II. INTRODUCCIÓN

El tomate es la hortaliza más importante a nivel nacional e internacional, debido principalmente a su alto consumo y al valor económico de la producción (Escobar y Lee, 2009). Su amplio consumo en el mundo está relacionado a la gran variedad de usos en los diversos platillos alimenticios y al aporte nutrimental (Berrospe-Ochoa et al., 2018). Es una fuente baja en grasa y kilocalorías, contiene vitaminas A, C y E, y minerales como potasio (Mendoza-Pérez et al., 2018). El fruto es una baya climatérica bi o plurilocular, con características de tamaño, forma y color variables (Nuez, 2001), siendo el más común el fruto de color rojo.

Entre las diversas variedades que se cultivan se encuentran los tipo bola, saladette y cherry (SIAP, 2022), con hábito de crecimiento determinado e indeterminado. En menor superficie se cultivan los tomates Heirloom, que son considerados como reliquia o antiguos con diversas apariencias visuales, sabores y textura, que a menudo el consumidor los elige por la forma externa (Joseph et al., 2017). El tomate Heirloom al ser considerado un producto de especialidad, alcanza los valores más altos durante todo el año en contraste con el tomate convencional (USDA, 2022).

En los sistemas de producción del cultivo del tomate, las condiciones edáficas, climáticas, hídricas y nutricionales adecuadas son fundamentales para alcanzar los máximos rendimientos (Camacho-Ferre, 2003; Lesur, 2009; Cepeda-Siller, 2009), así como manejo del cultivo, y control de plagas y enfermedades (Escobar y Lee, 2009; Velasco-Hernández et al., 2012; Baudoin, 2017). El empleo de microorganismos benéficos en los sistemas de producción ha tomado relevancia en la actualidad debido al creciente uso de productos químicos sintéticos, generación de resistencia de plagas y enfermedades, impacto en la salud y ambiental, etc. (Avis et al., 2008).

Entre los principales microorganismos benéficos aplicados en la agricultura están las bacterias del genero *Bacillus* (Viera-Arroyo, 2020), que en la última década, se han reportado 50 cepas de *Bacillus spp.* (Tiwari y Prasad, 2019). Entre las especies identificadas se encuentra *B. amyloliquefaciens*, *B. subtilis*, *B. licheniformis*, *B. megaterium*, *B. niabensis*, *B. paralicheniformis* y *B. pumilus* (Abadi et al., 2021), así como las especies *B. circulans*, *B. cereus*, *B. fusiformis*, *B. mycoides*, *B. polymyxa*, *B. coagulans*, *B. chitinolyticus* (Sharma et al., 2013), *B. mucilaginosus*, *B. edaphicus* (Meena et al., 2014), *B. aryabhatai* (Mumtaz et al., 2017) y *B. thuringiensis* (Lopes et al., 2018), entre otros.

El efecto benéfico puede ser directo o indirecto sobre la promoción del crecimiento y desarrollo de las plantas e inducción de resistencia a estrés biótico o abiótico, etc. (Chamkhi et al., 2020), que a través de su actividad enzimática pueden producir compuestos orgánicos, realizar fijación biológica de nitrógeno y solubilizar fósforo (Corrales-Ramírez et al., 2017). Así como tener actividad de biocontrol o producción de hormonas, antibióticos, etc. (Meena et al., 2017).

La efectividad en el uso de microorganismos se logra en condiciones óptimas de temperatura, agua, oxígeno, pH y disponibilidad de nutrientes para el crecimiento y desarrollo de las bacterias (Terry et al., 2005b). Por lo que es de vital importancia identificar microorganismos endémicos de la región para asegurar buenos resultados, dada su adaptación a la región. El aislamiento, identificación y clasificación de microorganismos endémicos en especies vegetales de una región, resulta relevante debido a que se pueden encontrar microorganismos benéficos de interés agrícola (Álvarez-Vera et al., 2018). Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el comportamiento productivo y calidad del fruto en variedades de tomate Heirloom inoculados *Bacillus subtilis* y *B. megaterium* endémicos del Valle de San Quintín, además de dos productos comerciales.

2.1 Hipótesis

El uso de cepas endémicas de *Bacillus spp.* de la región, favorece el crecimiento, desarrollo, producción y calidad de los frutos de variedades de tomates Heirloom

2.2 Objetivo general y específico

Evaluar el comportamiento productivo y calidad de frutos de tomate Heirloom de tres variedades Purple Calabash, Riñon Oaxaca y Purple Cherokee, inoculadas con cepas de *Bacillus* endémicas del Valle de San Quintín y productos comerciales.

- 1) Evaluar la producción y calidad del fruto en tomate Heirloom inoculadas con cepas endémicas del Valle de San Quintín (*Bacillus megaterium* y *Bacillus subtilis*) aplicadas en forma individual y combinada.
- 2) Comparar la respuesta productiva y calidad del fruto en tomate Heirloom inoculado con cepas endémicas de *Bacillus* del Valle de San Quintín, y con cepas comerciales

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 El cultivo de tomate

El tomate (*Solanum lycopersicum*) es una hortaliza con amplio consumo en el mundo debido a su gran variedad de usos en los diversos platillos alimenticios, así como, por el gran aporte nutricional (Berrospe-Ochoa et al., 2018). Esta hortaliza representa una fuente alimenticia baja en grasa y kilocalorías, y en vitaminas (A, C, E) y potasio (Mendoza-Pérez et al., 2018). El cultivo se realiza en diferentes regiones del mundo a campo abierto y en condiciones protegidas, es por ello que el rendimiento vario de 46 t a 366 t, siendo los mayores rendimientos en condiciones protegidas. En México, las regiones productoras están localizadas en los estados de Sinaloa, San Luis Potosí, Michoacán y Baja California (SIAP, 2022). En Baja California, la superficie cultiva representa el 2.8 % a nivel nacional, su cultivo está localizado principalmente en la región costera. Las variedades cultivadas son del tipo saladatte o roma, bola y cherry y en menor importancia el Hierloom.

3.1.1 Importancia económica del cultivo

El tomate es la hortaliza más importante a nivel nacional e internacional, debido principalmente a su alto consumo, superficie sembrada y al valor económico de la producción (Escobar y Lee, 2009). Su consumo per cápita mundial se incrementó de 18.9 kg en 2010 a 21.0 kg en 2020, en tanto que en México el consumo paso de 11.8 kg en 2010 a 20.2 kg en 2018 (FAO, 2022). Turquía y Túnez registraron los valores más altos de consumo per cápita con 121.1 y 106.2 kg por persona por año en 2020, respectivamente.

De acuerdo con los datos estadísticos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2022), la producción mundial alcanzo una producción de

187482 miles de toneladas de tomate en el 2020. Los principales países productores son China, India, Turquía y Estados Unidos, con una aportación del 34.6, 11.0, 7.0, y 6.52 % de la producción mundial, mientras que México ocupa el onceavo lugar contribuyendo con el 2.2 %.

3.1.1.1 Producción nacional

El cultivo de tomate en México ocupa el sexto lugar en importancia económica (SIAP, 2022). En el año 2020 contribuyó con el 5.0 % del valor total agrícola, antecedido por el maíz grano (18.21 %), aguacate (7.82 %), caña de azúcar (6.73 %), chile verde (5.39 %) y agave (5.29 %). En 2020, la superficie sembrada de tomate a nivel nacional fue de 45, 285 ha, mientras que la cosechada fue de 45, 168 ha, alcanzado un rendimiento promedio de 74.63 t ha⁻¹ (Figura 01). Esta superficie de siembra y cosecha decreció a una tasa promedio anual de 1.7 % y 1.3 %, respectivamente, entre los años 2010 y 2020. No obstante, aun cuando la superficie va en declive, el rendimiento ha ido a la alza en la última década con un tasa anual de 7.1 %.

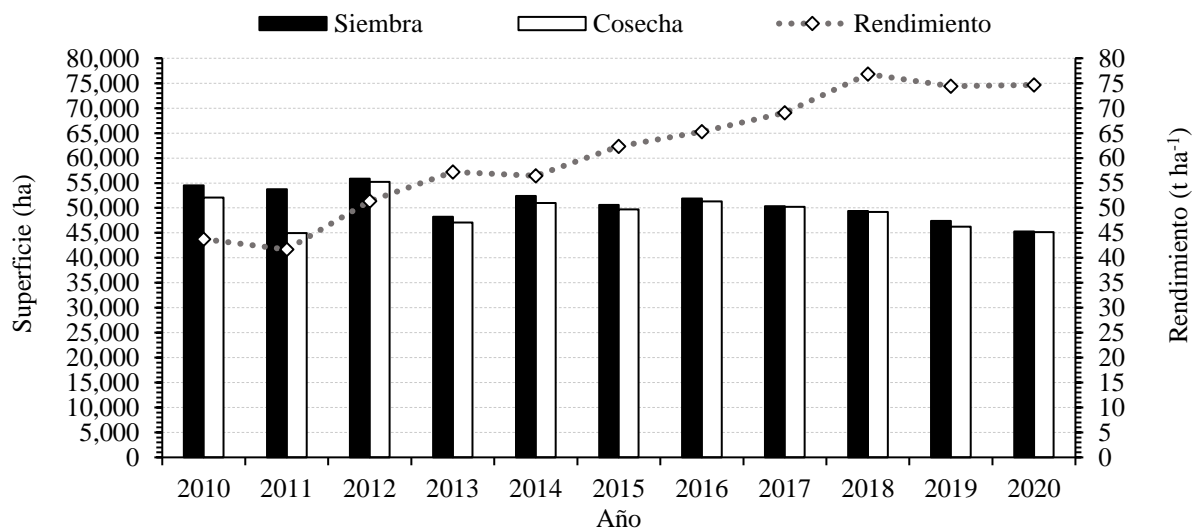


Figura 01. Superficie sembrada y cosechada, y rendimiento de tomate a nivel nacional en el 2010-2020.

Fuente: Elaboración propia con datos de SIAP, 2022

La producción nacional de tomate en el año 2020 fue de 3, 371 mil de toneladas, la que genero un valor de 31, 682 millones de pesos (Figura 02). El volumen de producción se ha incrementado a una tasa promedio anual de 4.8 % entre el 2010 y 2020, como resultado del aumento en el rendimiento por superficie. En tanto que el valor de la producción creció a una tasa anual 11.28 % en la década antes mencionada.

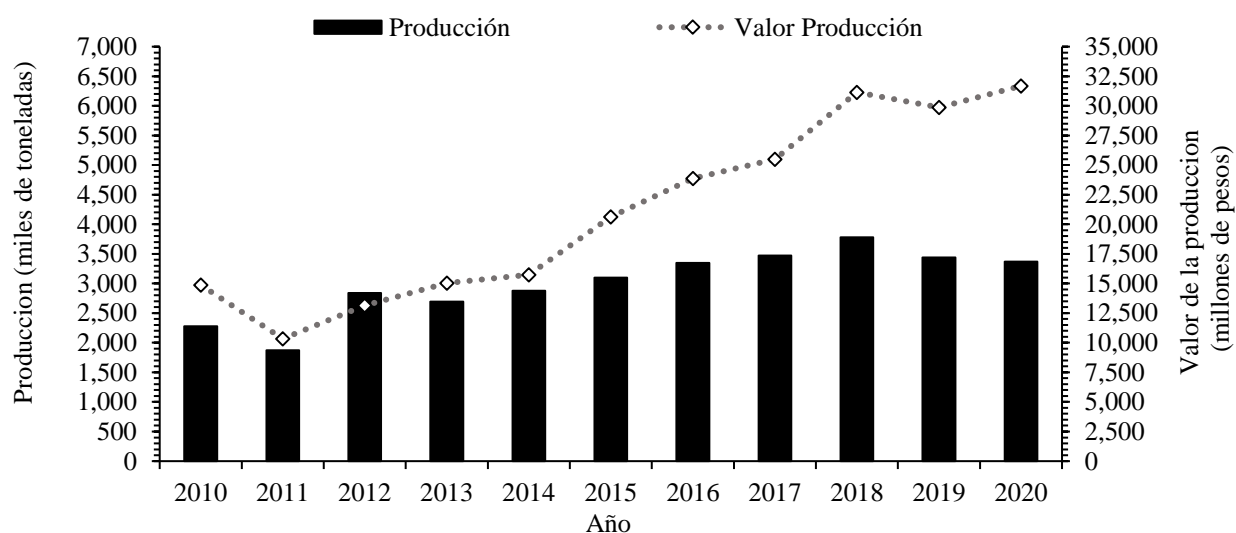


Figura 02. Volumen y valor de la producción de tomate a nivel nacional en el 2010-2020.

Fuente: Elaboración propia con datos de SIAP, 2022

3.1.1.2 Producción estatal

La importancia económica de tomate se encuentra concentrada en nueve estados que aportan el 75 % del valor total nacional en 2020 (Cuadro 01). Entre las principales entidades productoras de tomate, Sinaloa se encuentra en el primer lugar al registrar la mayor superficie sembrada, cosechada y mayor volumen de producción, lo que genera una participación del 26.4 % en el valor total de producción. El segundo y tercer lugar de las entidades que generan altos valores de producción lo ocupa San Luis Potosí (12.9 %) y Michoacán (7.9 %), respectivamente. El estado de Baja California ocupa el cuarto lugar al generar el 6.5 % del valor de producción de tomate nacional. Otro de los estados sobresalientes es Querétaro, donde se alcanza el mayor rendimiento

por unidad de superficie (366.2 t ha⁻¹) con una superficie de 369.5 ha, contribuyendo con un aporte de 4.2 % del valor total nacional, logrando ubicarse en el séptimo lugar.

Cuadro 01. Principales estados productores de tomate a nivel nacional en el 2020

Estado	Superficie sembrada (ha)	Superficie cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	Valor Producción (miles de Pesos)
Baja California	1,257.80	1,257.80	89,378.05	71.06	2,057,660.39
Baja California Sur	2,887.50	2,870.50	175,026.99	60.97	1,558,480.31
Jalisco	2,383.70	2,383.70	196,897.01	82.6	1,641,492.56
Michoacán	5,320.69	5,320.69	248,498.79	46.7	2,512,355.13
Morelos	2,503.39	2,503.39	161,183.35	64.39	1,033,084.05
Querétaro	369.49	369.49	135,311.82	366.21	1,334,832.31
San Luis Potosí	2,988.50	2,988.50	380,174.99	127.21	4,088,686.01
Sinaloa	10,368.59	10,368.59	684,333.47	66	8,376,109.51
Zacatecas	3,076.61	3,076.61	234,866.15	76.34	1,050,942.24
Nacional	45,284.92	45,167.93	3,370,826.65	74.63	31,681,937.42

Fuente: Datos del SIAP, 2022

El estado de Baja California destinó una superficie de siembra de 1258 ha en el año 2020, el rendimiento por hectárea fue de 71.1 t (Figura 03). Aun cuando en los últimos cinco años el rendimiento se mantiene por encima de los 71 t ha⁻¹, la superficie se ha reducido a una tasa promedio anual de 6.5 % en la última década, como resultado de la escasez del agua por bajas precipitaciones.

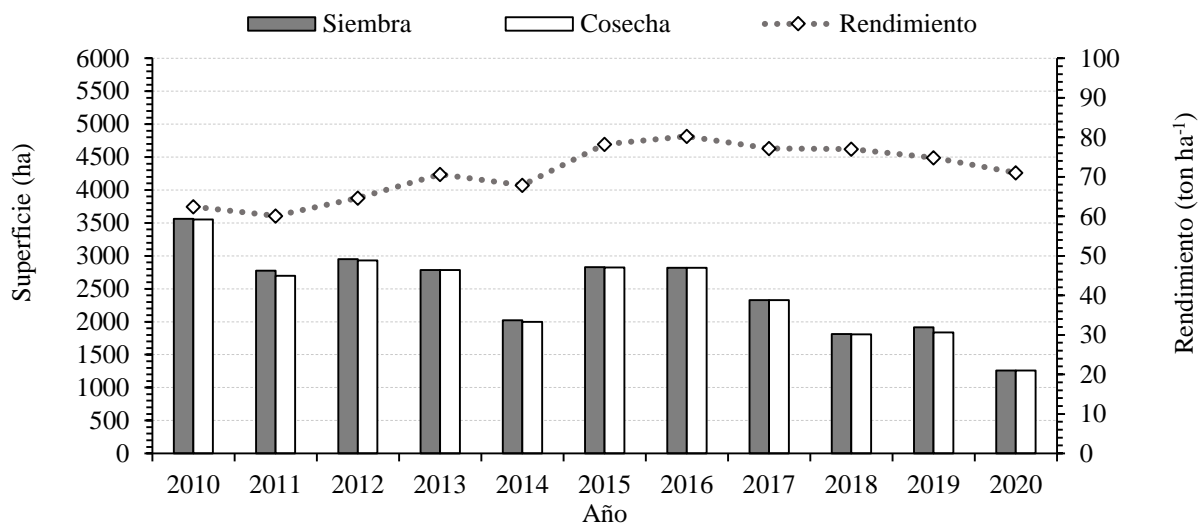


Figura 03. Superficie sembrada y cosechada, y rendimiento de tomate en Baja California en el 2010-2020.

Fuente: Datos del SIAP, 2022

Por otra parte, la disminución de la superficie de siembra en Baja California ha propiciado una reducción en el volumen de producción a una tasa anual de 6.0 % en el periodo 2010 al 2020 (Figura 04). Consecuentemente, el valor de la producción ha ido en declive, siendo necesario la producción de cultivos más rentables, o bien cultivos orgánicos o de gourmet.

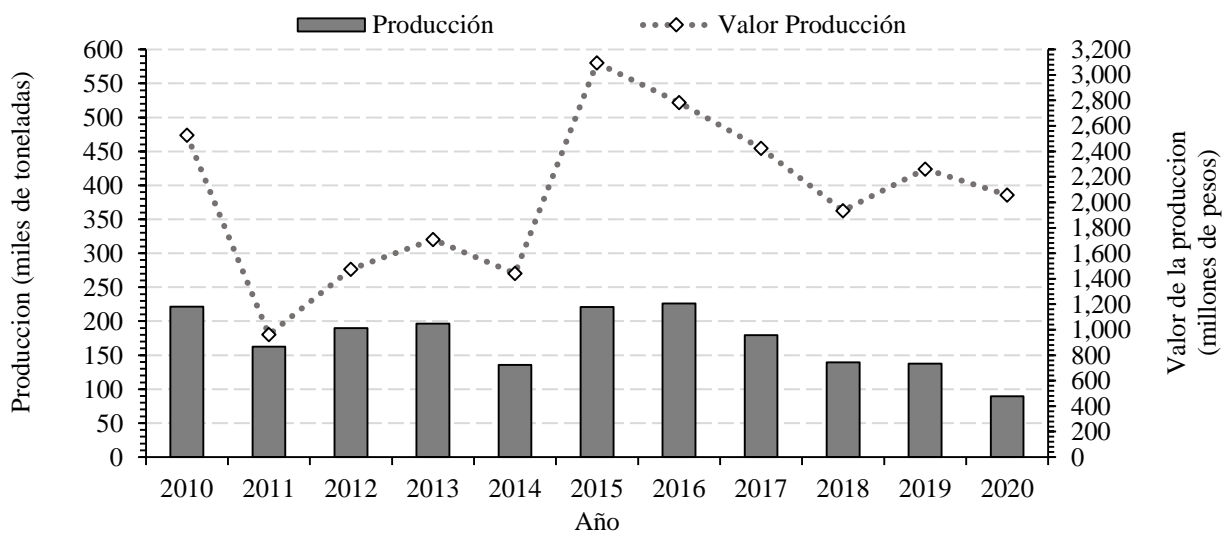


Figura 04. Volumen y valor de la producción de tomate en Baja California en el 2010-2020.

Fuente: Datos del SIAP, 2022

3.1.1.3 Exportaciones e importaciones

En el año 2020, las exportaciones de tomate alcanzaron un volumen 1826 miles de toneladas en México (Figura 05), lo que representa el 54.2 % de la producción nacional. En el periodo 2010 a 2020 las exportaciones han ido en constante crecimiento a una tasa promedio anual de 2.1 %. Mientras que las importaciones se mantienen constantes por debajo de las 200 miles toneladas, lo que indica que el país ha sabido cubrir sus necesidades con la producción generada internamente.

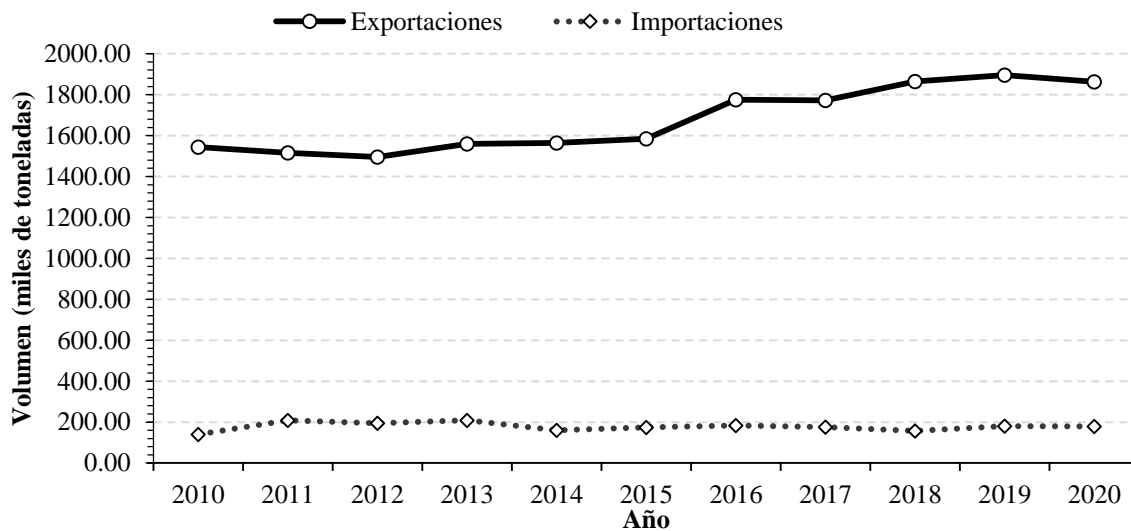


Figura 05. Volumen de las exportaciones e importaciones de tomate en México en el 2010-2020. Fuente: elaboración propia con datos de la FAO 2022

El principal destino de los tomates frescos mexicanos ha sido el mercado estadounidense, que representa el 99.8 % del volumen exportado y un ingreso de 2601 millones de dólares al país, seguido de Canadá (0.15 %) y Japón (0.03 %) en el 2020 (Cuadro 02). Esta tendencia se ha mantenido constante durante el 2010 y 2020, principalmente debido a la cercanía entre los países. En cuanto a las importaciones de tomate frescos, el único y principal proveedor ha sido Estados Unidos con volumen 0.3 miles de toneladas, lo que representó un gasto de 0.2 millones de dólares. No obstante, la tendencia ha ido a la reducción de las importaciones de tomate frescos a una tasa promedio anual de 9.9 % entre el 2010 y 2020.

Cuadro 02. Volumen y Valor de las exportaciones e importaciones en México en el 2010-2020.

Volumen (miles de toneladas) de las exportaciones											
País	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Canadá	22.4	130.7	45.2	58.0	27.2	10.1	4.6	3.3	3.9	5.0	2.7
USA	1480.1	1357.2	1425.8	1475.6	1510.0	1550.3	1743.9	1738.6	1826.8	1853.0	1823.4
Japón	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.6	1.0	0.9	0.6
Total	1509.6	1493.3	1472.4	1535.2	1537.9	1560.6	1748.9	1742.6	1831.8	1858.9	1826.7
Valor (millones de dólares) de las exportaciones											
Canadá	24.4	186.8	51.9	70.3	31.6	11.9	5.8	3.7	5.1	6.2	4.1
USA	1563.9	1898.9	1627.7	1763.0	1761.8	1821.7	2099.0	1938.6	2254.5	2156.0	2601.2
Japón	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.4	0.7	1.2	1.1	0.9
Total	1595.3	2093.1	1681.3	1835.2	1794.3	1833.9	2105.3	1943.2	2261.0	2163.4	2606.1
Volumen (miles de toneladas) de las importaciones											
USA	33.0	23.7	26.6	14.8	15.4	7.4	1.3	5.7	2.5	1.2	0.3
Total	33.0	23.7	26.6	14.8	15.4	7.4	1.3	5.7	2.5	1.2	0.3
Valor (millones de dólares) de las importaciones											
USA	71.5	47.4	32.2	25.3	32.8	18.0	0.9	3.7	1.2	0.6	0.2
Total	71.5	47.4	32.2	25.3	32.8	18.0	0.9	3.7	1.2	0.6	0.2

Fuente: Elaboración propia con datos de FAO 2022

3.1.2 Variedades de tomate cultivadas en México

Existen en el mercado una gran diversidad de variedades de tomate que se diferencian por sus características morfológicas de los órganos de la planta, como es el tamaño y forma de las hojas, cantidad y distribución de flores por racimo, forma y consistencia del fruto, y dimensiones de la raíz (Boffelli y Sirtori, 2020). El fruto es una baya climatérica bi o plurilocular, con características externas variables (tamaño, forma, color) e internas (textura, sabor), siendo los aspectos de mayor relevancia el sabor y el color los que definen la preferencia del consumidor al adquirir tomates frescos (Nuez, 2001). Los caracteres organolépticas y nutricionales depende la especie, variedad, condiciones ambientales, estado de madurez entre otros (Quian-Torres et al., 2019).

Algunos de los rasgos dominantes de nuevas variedades son la resistencia a estrés biótico (a plagas o enfermedades) o abiótico (salinidad, etc.), precocidad, alta productividad, apariencia visual y cualidades organolépticas del fruto, así como facilidad de manejo y resistencia en el embalaje y transporte (Rodríguez-Rodríguez et al., 1997). Las diversas variedades cultivadas en México están representadas en tres tipos principales de tomate, que en orden de importancia, son saladette o roma, bola y cherry (Cuadro 03). El tipo saladette se cultiva en 40, 121.7 ha a nivel nacional con rendimientos de 72.2 t ha⁻¹, lo que genera una producción de 2, 889.0 miles de toneladas y un valor de 25, 048.2 millones de pesos. El bola se establece en 3, 612.9 ha obteniendo rendimientos de 104.44 t ha⁻¹ y un valor de producción de 5, 474.8 millones de pesos.

Cuadro 03. Principales tipos de tomates en México en el año 2020

Variedad	Sembrada (ha)	Cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)	Valor Producción (miles de Pesos)
Tomate Bola	3612.86	3612.86	377333.27	104.44	5, 474 ,835.52
Tomate Cherry	1332.20	1332.20	75179.29	56.43	834 ,334.16
Tomate Saladette	40121.70	40004.71	2889008.28	72.22	25, 048, 168.66
Total	45,284.92	45,167.93	3,370,826.65	74.63	31, 681, 937.42

Fuente: Elaboración propia con datos de SIAP, 2022

3.1.2.1 Tomate Saladette

El tomate Saladette (*Lycopersicon esculentum* Mill) presenta frutos alargados (relación de longitud y diámetro ≥ 1.5) con 2 o 3 lóculos (Andrade et al., 2014). Las variedades de tipo Saladette pueden ser de hábito de crecimiento determinado o indeterminado, presentar madurez precoz o intermedia, y frutos de color rojo con peso que oscila entre 120 y 200 g (Cuadro 04 y 05). Variedades como Galilea, Katya, Sheena 31 y Buen Vista son plantas de crecimiento determinado, madurez intermedia y producen frutos de 150 a 170 g.

El fruto de los tomates tipo saladette presenta poder antioxidante similar y acidez (pH) que el tomate bola (Quian-Torres et al., 2019). Sin embargo, esta característica depende de la variedad, siendo relevante considerar características deseables al momento de establecer el cultivo, como el rendimiento, apariencia (forma y tamaño del fruto) y atributos organolépticos (Andrade et al., 2014).

Cuadro 04. Variedades de tomate saladette de hábito de cremento determinado de diferentes empresas semilleras

Variedad	Peso de fruto (g)	Color	Madurez	Resistencia	Empresa
Galilea	150-170	Rojo intenso	Intermedia	*AR: Fol:1,2/Vd:1/ToMV/Pst RI: TSWV/SI/Mj	Hazera
Alvaro	160-180	Rojo intenso	Precoz	AR: Fol:1,2/Vd:1/ToMV RI: Mi/Mj/ToTV/TSWV/TYLCV	Hazera
Katya	150-170	Rojo	Intermedia	AR: Fol:1-3/Vd:1/ToMV/Pst RI: Mj, TSWV, TYLCV, SI	Hazera
Sheena 31	150-170	Rojo	Intermedia	AR: Fol:1-3/Vd:1/ToMV/Pst RI: Mj/TSWV/SI	Hazera
SVTE84444	132	Rojo	Intermedia	AR: Fol:1-3/Va:1/Vd1/ToMV:0- 2/ToTV/Pf:1-5/For/Sbl/SI/Ss RI: TYLCV/Ma/Mi/Mj	Seminis
DRD8551	140-180	Rojo	Intermedia	AR: Fol:1,2/Va:1/Vd:1/ToMV:0- 2/ToTV RI: TYLCV/Ma/Mi/Mj	Seminis
Supremo	140	Rojo	Intermedia	AR: Fol:1-3/Vd:1/Mi/Pst:0 RI: TSWV	Sakata
Valerio	130	Rojo intenso	Intermedia	AR: Foc:1-3/V/TYLCV/ToMV/ Aal	Sakata
Romano	145	Rojo intenso	Intermedia	AR: Fol:1-3/Vd:1/Aal RI: Mi/TSWV	Sakata
Fenicio	160-180	Rojo intenso	Intermedia	AR: Fol:2/Vd:1/Aal RI: TSWV	Sakata
Buena Vista	150-170	Rojo	Intermedia	R: Fol:1-3/Vd1/Aal RI: Mi/TSWV/TYLCV	Sakata

*Altamente Resistente (AR), Resistencia Intermedia (RI), *Alternaria alternata* f. sp. *lycopersici* (Aal), *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* (Fol) raza 0 (Fol:0), Fol raza 1 (Fol:1), Fol raza 2 (Fol:2), Fol 3 (Fol:3), *Fusarium*

oxysporum f. sp. *radicis-lycopersici* (For). *Stemphylium botryosum* f. sp. *Lycopersici* (Sbl), *Passalora fulva* (Pf) raza 1 (Pf:1), Pf raza 2 (Pf:2), Pf raza 3 (Pf:3), Pf raza 4 (Pf:4), Pf raza 5 (Pf:5), *Stemphylium lycopersici* (Sl), *Stemphylium solani* (Ss), *Verticillium dahliae* 1 (Vd:1), *Verticillium albo-atrum* 1 (Va1), *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* (Pst), *Meloidogyne arenaria* (Ma), *Meloidogyne incognita* (Mi), *Meloidogyne javanica* (Mj), Virus del Mosaico del Tomate (ToMV) raza 0 (ToMV:0), ToMV raza 1 (ToMV:1), ToMV raza 2 (ToMV:2), Virus de la cuchara del Tomate (TYLCV), Virus del bronceado del tomate (TSWV), Virus del torrado del tomate (ToTV).

Cuadro 05. Variedades de tomate saladette de hábito de cremento indeterminado de diferentes empresas semilleras

Variedad	Peso de fruto (g)	Color	Madurez	Resistencia	Empresa
Roble	120-140	Rojo intenso	Intermedia	AR: Aal/Fol:1-3/ToMV/Vd1 RI: TSWV/TYLCV	Sakata
Alcotán	140-160	Rojo intenso y brillante	Intermedia	R: Fol:1,2/N/ToMV/TSWV/V	BHN
Condor	120-160	Rojo	Intermedia	R: V/Fol:1,2/ToMV/TSWV	BHN
Rafaelo	120-160	Rojo	Intermedia	R: V/Fol:1,2/ToMV/TSWV	BHN
Raptor	120-150	Rojo intenso y brillante	Precoz	R: V/Fol:1,2/N/ToMV/TSWV/Pst	BHN
Mesías	£Tamaño XL	Rojo intenso	Precoz	AR: Vd:1/Va:1/Fol:1-3/ToMV RI: Ss/TSWV/TYLCV/Ma/Mi/Mj	HM Clause
Moctezuma	Tamaño XL	Rojo intenso	Precoz	AR: Vd1/Ma/Mi/Mj/ToMV/Fol:1-3/Pf:1-5 RI: TSWV/TYLCV	HM Clause
Benedetti	150-160	Rojo		AR: ToMV:0- 2/ToANV/Va:1/Vd:1/Fol:1,2 RI: TSWV/On/Ma/Mi/Mj	Enza Zaden
Pai Pai	170	Rojo intenso y brillante		AR: ToMV:0-2/Fol:1,2/Va1/Vd1 RI: TSWV/Ma/Mi/Mj	Enza Zaden/Vitalis
Top 2299	160-200	Rojo intenso		R: ToMV/Va:1/Vd:1/Fol:1-3/Pf/Ma/Mi/Mj/TYLCV/TSWV	Top Seeds
Canelo	150-160	Rojo		R: Va1/Vd1/Fol:0-2/Ma/Mi/Mj/ToMV/Sl/Pf/TSWV/TYLCV/Lt/ToBRFV	Hazera
Mago	170-180	Rojo		R: Va:1/Vd:1/Fol:0-2/Ma/Mi/Mj/ToMV/Sl/Pf/TSWV/TYLCV/Lt	Hazera

DRK 2189	100-125	Rojo intenso	Precoz	AR: ToMV/ToTV/Fol:1-3/Va:1/Vd:1 RI: Ma/Mi/Mj	Seminis
Kilates	120-150	Rojo	Precoz	RI: V/Fol:1,2/ToMV/TSWV/M	Zeraim/Syngenta
Reserva	120-130	Rojo intenso y brillante		AR: V/ToMV/Fol:1,2 RI: M	Vilmorin
Tuareg	Tamaño XL	Rojo intenso y brillante		AR: Fol:1-3/Vd:1/ToMV: 0-2 RI: Ma/Mi/Mj/TYLCV	Syngenta
Malvia	160-180	Rojo intenso y brillante	Precoz	R: Va:1/Vd:1/ToMV/Fol:1,2/M/TSWV/For	KWS

£Tamaño XL= aproximadamente 100-135 g. *Altamente Resistente (AR), Resistencia Intermedia (RI), Resistente (R), *Alternaria alternata* f. sp. *lycopersici* (Aal), *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* (Fol) raza 0 (Fol:0), Fol raza 1 (Fol:1), Fol raza 2 (Fol:2), Fol 3 (Fol:3), *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* (For). *Leveillula taurica* (Lt), *Oidium neolycopersici* (On), *Passalora fulva* (Pf) raza 1 (Pf:1), Pf raza 2 (Pf:2), Pf raza 3 (Pf:3), Pf raza 4 (Pf:4), Pf raza 5 (Pf:5), *Stemphylium lycopersici* (Sl), *Stemphylium solani* (Ss), *Verticillium* (V), *Verticillium dahliae* 1 (Vd:1), *Verticillium albo-atrum* 1 (Va1), *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* (Pst), *Meloidogyne* (M), *Meloidogyne arenaria* (Ma), *Meloidogyne incognita* (Mi), *Meloidogyne javanica* (Mj), Virus del Mosaico del Tomate (ToMV) raza 0 (ToMV:0), ToMV raza 1 (ToMV:1), ToMV raza 2 (ToMV:2), Virus de la cuchara del Tomate (TYLCV), Virus del bronceado del tomate (TSWV), Virus del torrado del tomate (ToTV), virus del fruto rugoso marrón del tomate (ToBRFV), virus de la necrosis apical de tomate (ToANV).

3.1.2.2 Tomate Bola

Los tomates tipo bola o beef presentan vigorosas plantas hasta el séptimo racimo con frutos grandes, que en racimos posteriores el tamaño va decreciendo por la pérdida de vigor (Cepeda-Siller, 2009). Los frutos son rojos redondos o ligeramente aplanados con peso superior a 150 g (Castellanos, 2009). Presenta un contenido de sólidos solubles mayor que el tomate saladette (Quián-Torres et al., 2019).

Las variedades de tipo bola presentan plantas de crecimiento determinado o indeterminado, madurez precoz o intermedia, y frutos generalmente rojos con peso que varían de 220 a 320 g (Cuadro 06), con excepción de algunas variedades Orangaro que presenta frutos de color naranja y de menor peso. Entre las diversas variedades que existen en el mercado se encuentra Botero y

Forenza que son de hábito de crecimiento indeterminado, madurez precoz y frutos de color rojo con un peso entre 220 y 280 g. Estas variedades presentan alta resistencia a *Passalora fulva* (raza 1, 2, 3, 4y 5), *Verticillium dahliae* raza 1, *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* raza 1 y al Virus del Mosaico del Tomate.

Cuadro 06. Variedades de tomate bola de diferentes empresas semilleras

Variedad	§Hábito de planta	Peso de fruto (g)	Color	Madurez	Resistencia	Empresa
Jovero	D	250-300	Rojo intenso	Intermedia	*AR: Vd1/Fol:1-3/ToMV/TSWV/Sl/ToTV RI: Mi/TYLCV	Hazera
Botero	I	220-250	Rojo	Precoz	R: Pf:1-5/Fol:1,2/Vd:1/ToMV:0-2 RI: Mi/TYLCV	Sakata
Kivu Rz F1	I	270-300	Rojo		AR: ToMV:0-2/Pf:1-5/Fol:0,1/For/Va:1/Vd:1 RI: On	Rijk Zwaan
Taymyr Rz F1	I	250-280	Rojo		AR: ToMV:0-2/Pf:1-5/Fol:0,1/For/Sl RI: On	Rijk Zwaan
Arkoi	I	280	Rojo		AR: ToBRFV/ToMV:0-2/Pf:1-5/Va:1/Vd:1/Fol:0-2 MR: TSWV/TYLCV/Ma/Mi/Mj	Enza Zaden
Forenza		280	Rojo	Precoz	AR: ToMV:0-2/Pf:1-5/Va:1/Vd:1/Fol:0,1 MR:On/Ma/Mi/Mj	Enza Zaden
Imperial 643	I	280	Rojo	Intermedia	AR:ToMV:0-2/ Pf:1-5/Va:1/Vd:1/Fol:0,1, MR:TSWV/Ma/Mi/Mj	Enza Zaden
Legionario	I	300	Rojo	Intermedia	AR:ToMV:0-2/ Pf:1-5/Va:1/Vd:1/Fol:0-2, MR:TSWV/TYLCV/Ma/Mi/Mj	Enza Zaden
Toretto	I	300	Rojo	Intermedia	AR:ToMV:0-2/ToANV/ Pf:1-5/Va:1/Vd:1/Fol:0-2, MR:MTYLCV/Ma/Mi/Mj	Enza Zaden

Aurea	I	180–250	Rojo		AR: ToMV:0-2, Va:1, Vd:1	De Ruiter
Inspired	I	300-320	Rojo	Intermedia	AR:ToMV:0-2, Pf:1- 5/Va:1/Vd:1/Fol:1,2/For RI: On, Ma, Mi, Mj	De Ruiter
Orangaro	I	100	Naranja		AR:ToMV:0-2, Pf:1- 5/Va:1/Vd:1/Fol:1,2/For	De Ruiter

§Determinado (D), Indeterminado (I). *Altamente Resistente (AR), Resistencia Intermedia (RI), Resistente (R), Moderadamente Resistente (MR), *Alternaria alternata* f. sp. *lycopersici* (Aal), *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* (Fol) raza 0 (Fol:0), Fol raza 1 (Fol:1), Fol raza 2 (Fol:2), Fol 3 (Fol:3), *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* (For). *Stemphylium botryosum* f. sp. *Lycopersici* (Sbl), *Oidium neolycopersici* (On), *Passalora fulva* (Pf) raza 1 (Pf:1), Pf raza 2 (Pf:2), Pf raza 3 (Pf:3), Pf raza 4 (Pf:4), Pf raza 5 (Pf:5), *Stemphylium lycopersici* (Sl), *Verticillium* (V), *Verticillium dahliae* 1 (Vd:1), *Verticillium albo-atrum* 1 (Va1), *Meloidogyne* (M), *Meloidogyne arenaria* (Ma), *Meloidogyne incognita* (Mi), *Meloidogyne javanica* (Mj), Virus del Mosaico del Tomate (ToMV) raza 0 (ToMV:0), ToMV raza 1 (ToMV:1), ToMV raza 2 (ToMV:2), Virus de la cuchara del Tomate (TYLCV), Virus del bronceado del tomate (TSWV), Virus del torrado del tomate (ToTV), virus del fruto rugoso marrón del tomate (ToBRFV), virus de la necrosis apical de tomate (ToANV).

3.1.2.3 Tomate Cherry

El tomate Cherry (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*) por lo regular son plantas de habito semideterminado o indeterminado que presentan entre 15 a 50 frutos por racimo, con forma redonda y llegan a pesar menos de 30 g (Nuez, 2001). El fruto comúnmente es rojo, no obstante, existen otros colores como el verde, amarillo-anaranjado, blanco, rosa, negro, bicolor y rayado, rasgo atractivo para el consumidor (Rashid et al., 2022).

El fruto es rico en vitaminas (A y C) y contenido de solidos solubles (Prema et al., 2011). Una característica distintiva de este tipo es alto contenido de compuestos antioxidantes y fitoquímicos como licopeno, caroteno, polifenoles (flavonoides), vitamina C, entre otros (Ramya et al., 2016), presentando mayor poder antioxidante y contenido de solidos solubles que el tomate bola y saladette (Quian-Torres et al., 2019). La producción de este tomate genera un alto costo de

mano de obra en la cosecha, no obstante, su alto precio en el mercado compensa los gastos de producción (Cordoba-Novoa et al., 2018).

Los tomates Cherry Tymoty, Felicity, taster Rz F1 y Birikino son de hábito de crecimiento indeterminado que producen frutos de color rojo y presenta altamente resistencia al Virus del Mosaico del Tomate y hongos como *Verticillium dahliae* raza 1 y *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* raza 1 y 2 (Cuadro 07). Las variedades Honey Dew y Honey Drop desarrollan frutos de color anaranjado, Amaretto y Sv0948ts frutos amarillos, mientras que la variedad Sweet Treats presenta frutos de color rosa intenso.

Cuadro 07. Variedades de tomate cherry de hábito de crecimiento indeterminado de diferentes empresas semilleras

Variedad	Diametro de fruto (mm)	color	Resistencia	Empresa
Honey Dew	25	Anaranjado	*AR: Vd:1/Fol:1/ToMV/Ps	Hazera
Amaretto	25-35	Amarillo	AR: Vd:1/Fol:1/ToMV/Pst	Hazera
Honey Drop	25-35	Anaranjado	AR: Vd:1/Fol :1,2/ToMV/Pst/Pf RI: Mj	Hazera
Shiren	25-35	Rojo	AR: Fol:1,2/ToMV RI: Mj	Hazera
Tymoty	32-37	Rojo	AR: Vd:1/Fol:1-3/ToMV/Pst RI: Mj/TYLCV	Hazera
Felicity	25-37	Rojo	AR: Vd:1/Fol:1-3/ToMV/Pst RI:Mj/TYLCV	Hazera
Sweet Treats	20-30 g	Rosa intenso	AR: Fol:1,2/ToMV:0,1 RI: Mi/Ss	Sakata
Genery Rz F1	18-20 g	Rojo intenso	AR: ToMV:0-2/Fol:1,2/Va:1/Vd:1/Sl RI: TYLCV/Ma/Mi/Mj	Rijk Zwaan
Tastery Rz F1	18-20 g	Rojo	AR: ToMV:0-2/Pf:1-5/Fol:1,2/Va:1/Vd:1/Sl RI: TSWV/TYLCV/Ma/Mi/Mj	Rijk Zwaan

Birikino	12-14 g	Rojo	AR: ToMV:0-2, Pf:1-5/Fol:1,2,Va:1,Vd:1 RI: Ma,Mi,Mj	De Ruiter
Sv0948ts	17-25 g	Amarillo	AR: ToMV:0-2/ToTV/ Pf:1-5/Fol:1,2/Va:1/Vd:1 RI: TYLCV	De Ruiter

*Altamente Resistente (AR), Resistencia Intermedia (RI), *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* (Fol) raza 0 (Fol:0), Fol raza 1 (Fol:1), Fol raza 2 (Fol:2), Fol 3 (Fol:3), *Passalora fulva* (Pf) raza 1 (Pf:1), Pf raza 2 (Pf:2), Pf raza 3 (Pf:3), Pf raza 4 (Pf:4), Pf raza 5 (Pf:5), *Stemphylium lycopersici* (Sl), *Stemphylium solani* (Ss), *Verticillium* (V), *Verticillium dahliae* 1 (Vd:1), *Verticillium albo-atrum* 1 (Va1), *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* (Pst), *Meloidogyne* (M), *Meloidogyne arenaria* (Ma), *Meloidogyne incognita* (Mi), *Meloidogyne javanica* (Mj), Virus del Mosaico del Tomate (ToMV) raza 0 (ToMV:0), ToMV raza 1 (ToMV:1), ToMV raza 2 (ToMV:2), Virus de la cuchara del Tomate (TYLCV), Virus del bronceado del tomate (TSWV), Virus del torrado del tomate (ToTV).

3.1.2.4 Tomate heirloom

El tomate heirloom es origen Amish y español y es clasificado como tomate de especialidad, conocido como tomate antiguo, tradicional, reliquia o herencia, dado que ha sido preservado a través de generaciones (Martínez-Scott, 2017). Este tipo de tomate es de polinización abierta y presenta una gran diversidad de frutos tanto en apariencia (forma, color, tamaño) como en sus características bioquímicas (Constantino et al., 2022). Las diversas apariencias visuales, sabores y textura hacen populares este tipo de tomates, y que a menudo el consumidor se inclina por el aspecto visual más que por el sabor y textura (Joseph et al., 2017). Entre las diversas variedades existentes en el mercado norteamericano se encuentra Heirloom de frutos rojos, oscuros, rosas, naranjas, verdes, amarillos y bicolors o rayados con pesos que oscilan entre 85 y 1000 g, y de hábito de crecimiento determinado, indeterminado o semi-determinado (Cuadro 08).

La información sobre el cultivo de variedades de tomates Heirloom en México es escasa debido a que no tiene demanda en el mercado nacional, no obstante, en el mercado norteamericano y europeo la demanda ha ido en incremento (Martínez-Scott, 2017). Otra de las ventajas de este tipo de tomate es el alto precio, por ejemplo, el precio de una libra de tomate valía 3.5 dólares en el año 2020, mientras que el tomate convencional el precio era de 1.9 dólares en el mercado

estadunidense (Figura 06). El precio del tomate también se eleva cuando son producidos de forma orgánica, alcanzando precios entre 5 y 7 dólares por libra (Healy et al., 2017).

Cuadro 08. Variedades de tomate cherry de hábito de crecimiento indeterminado de diferentes empresas semilleras

Variedad	*Hábito de planta	Peso de fruto (g)	Color	Madurez	Empresa/Fundador
Riñon Oaxaca			Rojo		Huerto Aspic
Negro de Tula	I	400	Negro	75-85	Tree Seeds
Baker Family	I	113-198	Rojo	70-75	Seed Savers Exchange
Amano Orange	I	450	Amarillo/Naranja	85	Heirloom Seeds Canada
Marmande	S-d	170-283	Rojo	65	Tree Seeds
Brandywine	I	300-600	Rojo	80-100	Tree Seeds
Marglobe	D	198-283	Rojo		Tree Seeds
Mr. Stripey	I	454-907	Amarillo con rayas rojo rosado	80-90	Tree Seeds
Brutus	I	992	Rojo	80-90	Tree Seeds
Tigerella	I	70-100	Rojo/Naranja	55-65	Huerto Aspic
Orange Accordion	I	567	Naranja	80	Baker Creek Heirloom Seed Co.
Abe Lincoln	I	227-340	Rojo	80	Baker Creek Heirloom Seed Co.
Cherokee Purple	I	227-340	Rosa Oscuro	75-90	Johnny's Seeds
Cherokee Green	I	227	Verde	72	Johnny's Seeds
Pink Brandywine	I	340	Rosa/Rojo	78	Sweet Yards Seed Co
Yellow Brandywine	I	340	Amarillo/Naranja	78	Sweet Yards Seed Co
Green Zebra	I	85-114	Verde	75	Sweet Yards Seed Co
Valencia	I	227-283	Amarillo/Naranja	76	Sweet Yards Seed Co
Carbon	I	283-397	Negro	76	Johnny's Seeds
Black Krim	I	227-454	Negro	70-90	Johnny's Seeds

Striped German	I	340	Amarillo/Rojo	78	Johnny's Seeds
German Johnson	I	227-454	Rosa	75	Johnny's Seeds
Moskvich	I	113-170	Rojo	60	Johnny's Seeds
Pruden's Purple	I	454	Rosa	67	Johnny's Seeds
Japanese Black Trifele	I	113-170	Negro	70-80	Johnny's Seeds
Black Prince	I	85-142	Negro	74	Johnny's Seeds
Nepal	I	283-340	Rojo	78	Johnny's Seeds
Aunt Ruby's German Green	I	454	Amarillo Verdoso	80-95	Seed Savers Exchange
German Pink	I	454-907	Rojo	85	Seed Savers Exchange
Italian Heirloom	I	454	Rojo	70-80	Seed Savers Exchange

*Indeterminado (I), Semi-determinado (S-d), Determinado (D)

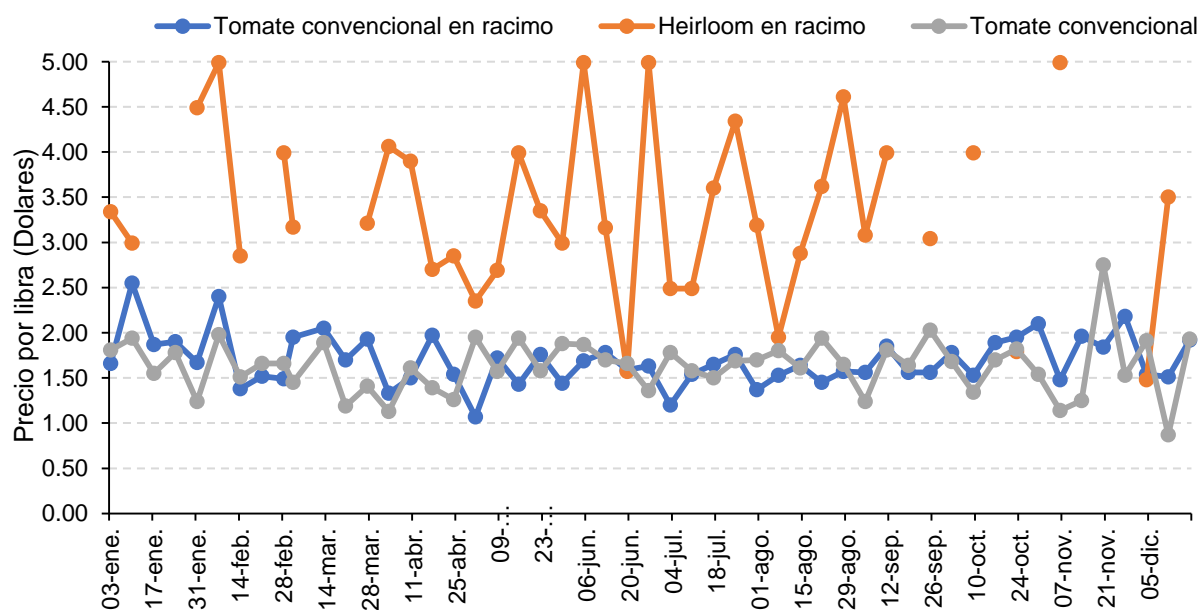


Figura 06. Precio de tomate convencional, en racimo y heirloom en racimo en el mercado norteamericano durante el 2020.

Fuente: Elaboración propia con datos de USDA 2022

3.1.3 Manejo agronómico del cultivo

Condiciones climáticas, edáficas y nutricionales ideales son fundamentales para el crecimiento y desarrollo del cultivo de tomate debido a que están muy relacionados con la actividad fisiológica y bioquímica de la planta, y consecuentemente la producción y calidad de los frutos. El cultivo se adapta muy bien a una gran diversidad de climas, con excepción de aquellos en las que se presentan heladas sucesivas (Rodríguez-Rodríguez et al., 1997). En cuanto al tipo de suelo no es muy exigente, siempre y cuando se tenga una buena estructura, aireación, drenaje y un pH entre 6.0 a 6.5 a una profundidad de 60 cm (Lesur, 2009). El aporte de macro y micronutrientes es fundamental para en el crecimiento y desarrollo del cultivo, así como el manejo cultural, control de plagas y enfermedades (Castellanos, 2009).

3.1.3.1 Requerimientos climáticos

De forma general el cultivo de tomate requiere una temperatura diurna entre 20 y 30 °C, y temperatura nocturna entre 10 y 17 °C a fin de obtener el óptimo crecimiento y desarrollo de la planta (López-Marín, 2017). Sin embargo los requerimientos térmicos del cultivo varían de acuerdo a la variedad y etapa fenológica. Algunas variedades de tomate son de madurez precoz, intermedio y tardíos (Vease cuadro 04-08). En cuanto a la etapa fenológica del cultivo, las temperaturas óptimas en germinación es de 16 a 28 °C (López-Marín, 2017), en etapa vegetativa temperatura diurna/nocturna de 18-21/15-18 °C, floración temperatura diurna/nocturna de 23-26/15-18 °C y madurez de fruto rojo 15 a 22 °C (Camacho-Ferre, 2003). Temperaturas superiores a los límites máximos pueden ocasionar reducción en el crecimiento de la planta, fecundación de las flores y desarrollo de los frutos (López-Marín, 2017).

Otro de los factores determinantes en la producción de tomates es la humedad relativa (HR), siendo el óptima para el cultivo de 60 a 80 % (Cepeda-Siller, 2009). Valores de superiores a 80 %

favorece el desarrollo de microorganismos fitopatógenos que afectan a la planta, principalmente hongos como botrytis (*Botrytis cinérea*), tizones (*Phytophthora infestans*, *Alternaria solani*), entre otros (Velasco-Hernández et al., 2012). Además de reducir el amarre de frutos debido a la compactación del polen que dificulta la fecundación de la flor. En tanto que la baja humedad relativa incrementa la transpiración que induce estrés en la planta y por consiguiente la reducción del tamaño de fruto, así como la deshidratación del polen que ocasionan una deficiente fecundación, y por ende deformidad de frutos (Pérez-Grajales y Castro-Brindis, 2011).

La radiación solar es otro de los parámetros climáticos que afectan a la planta de tomate. Durante la etapa vegetativa la cantidad de radiación acumulada es fundamental para la biomasa, y en la etapa productiva cada disminución de 1 % de la radiación disponible ocasiona una pérdida del 1% de la producción (Iglesia, 2015). Un valor mínimo de radiación total diaria de 0.85 MJ m^{-2} es necesario para la floración y formación de fruto (Jasso-Chaverría et al., 2011). En tanto que una acumulación de radiación fotosintéticamente activa (PAR) diaria mayor a 6 MJ m^{-2} y de temperatura superior de $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ determinan la velocidad de crecimiento y maduración de los frutos (Iglesia, 2015).

3.1.3.2 Requerimientos edafológicos

El cultivo del tomate no es muy exigente en cuanto a las propiedades del suelo, si bien es necesario suelos profundos con buen drenaje para el buen desarrollo del sistema radicular (Rodríguez-Rodríguez et al., 1997). La planta se desarrolla muy bien en suelos sueltos desde una textura arenosa hasta una arcillosa de arcilla fina siempre que estas están aireadas y con buen drenaje (Lesur, 2009), aunque prefiere suelos con pH desde ligeramente ácido a ligeramente alcalinos, siempre que este último este arenado, así como ricos en materia orgánica (Cepeda-Siller, 2009).

En suelos con pH de 4 a 5 se debe aplicar enmiendas como encalado o productos a base de dolomita, en tanto que a pH de 8 a 9 es recomendable acidificar el suelo a base de productos ácidos (Rodríguez-Rodríguez et al., 1997). La adición de azufre y materia orgánica en suelos alcalinos disminuye la baja captación de algunos nutrientes (Nuez, 2001), por lo que es deseable tener al menos 1.5 a 2.0 % de materia orgánica en el suelo y en caso de tener menor contenido se recomienda aplicar de 2 a 3 kg m⁻² (Rodríguez-Rodríguez et al., 1997).

3.1.3.3 Preparación del terreno

La preparación del terreno antes de la siembra o trasplante es fundamental para promover principalmente la densidad de raíces de la planta de tomate. Con esta práctica se elimina la maleza y residuos existentes de cultivos anteriores, favorece la descomposición de la materia orgánica, mejora las propiedades físicas de los suelos y ayuda al control de plagas y enfermedades del suelo (EEA-UPR, 2021).

Existen diversas labores que tienen como finalidad crear una buena aireación y facilitar la infiltración del agua en el suelo como es el subsuelo, barbecho (o rotura), rastreo, nivelación, surcado, formación de camas y acolchado. Antes de preparar el terreno se debe considerar las características fisicoquímicas y biológicas, por lo que se recomienda realizar un análisis del suelo (Rodríguez-Rodríguez et al., 1997), y determinar si las condiciones de humedad son adecuadas para que no afecte la estructura y el manejo de este (EEA-UPR, 2021).

Se sugiere al menos eliminar las malezas y arbustos en caso de existir vegetación en el terreno, y posteriormente dar un barbecho, uno o dos pasos de rastra, una nivelación y surcado de 80 a 92 cm (INIFAP-CIRNE, 2001). A continuación se describen las actividades necesarias para preparar el suelo:

Subsuelo. Es una labor profunda del suelo que consiste en romper el suelo a una profundidad de 30 a 50 cm cuando está muy compactado, empleando un arado subsolador (Alvarado-Carrillo et al., 2014). Solo se recomienda cuando el terreno no se ha cultivado, existe compactaciones debido a la maquinaria, en suelos pesados y cuando hay un uso intensivo del terreno (Baudoin, 2017).

Barbecho. Consiste en roturar el suelo a una profundidad de 20 a 30 cm mediante un arado de reja o vertedera, o de discos a fin de aflojar la capa superficial del suelo para una mayor aireación y filtración de la humedad (Alvarado-Carrillo et al., 2014). Esta práctica permite que al voltear el suelo se exponen las plagas a los depredadores y condiciones climáticas lo que permite un control adicional (INIFAP-CIRNE, 2001).

Rastreo. Consiste en pulverizar los terrones de la capa superficial del terreno posterior al barbecho, siempre y cuando la humedad lo permita (Jasso-Chaverría et al., 2012), dando por lo regular dos pasos mediante una rastra de discos, en donde el segundo se realiza en forma cruzada (INIFAP-CIRNE, 2001) con la finalidad de mullir el suelo para facilitar el encamado (Baudoin, 2017).

Nivelación. Consiste en uniformizar la pendiente del suelo eliminando los pequeños altibajos en el suelo (Alvarado-Carrillo et al., 2014), para evitar el encharcamiento de agua que pudiera incidir en el desarrollo de enfermedades, así como favorecer la conducción y distribución del riego y los fertilizantes (Jasso-Chaverría et al., 2012).

Surcado. Consiste en trazar surcos a la separación deseada con el uso de un arado de vertedera, que generalmente es a 80 cm (Alvarado-Carrillo et al, 2014), sin embargo, la distancia entre surcos será en función del marco de plantación.

Encamado. Consiste en formar las camas a una altura de 25 a 40 cm y facilitar la colocación de films de plástico para acolchar en el suelo, a fin de trasplantar las plántulas de tomate y tener mayor eficiencia del agua (Jasso-Chaverría et al., 2012).

Acolchado. Tiene por objetivo la colocación de films de plástico en el suelo de tal forma que evite la erosión, crecimiento de malezas y pérdidas de agua en el suelo por evaporación, así como crear un ambiente para las raíces de las plantas (Jasso-Chaverría et al., 2012).

3.1.3.4 Marco de plantación

El establecimiento del cultivo por lo regular se realiza mediante trasplante de las plántulas de tomate. La siembra se realiza en charolas de germinación de 200 cavidades con sustrato inerte (a base de turba de musgo, vermiculita, perlita u otro) humedecido, en donde, se deposita una semilla por cavidad a una profundidad de 1.0 cm (Jasso-Chaverría et al., 2011). Una vez que las plántulas alcanza una altura entre 10 a 15 cm y presentan cuatro hojas verdaderas, se procede a trasplantar de preferencia en horas de la mañana, y humedecer las charolas con dos o tres horas de anticipación a la plantación (Jasso-Chaverría et al., 2012).

El marco de plantación depende de diversos factores como la variedad a cultivar, el hábito de crecimiento, tipo de poda y tutorado, fertilidad del suelo, tipo de riego y condiciones climáticas (Nuez, 2001). En variedades de crecimiento determinado se sugiere una densidad de 13, 333 a 20, 800 plantas ha⁻¹ a una hilera, con un marco de plantación entre plantas de 40 a 50 cm y distancia entre camas de 100 a 150 cm (Baudoin, 2017). En cultivares indeterminados se recomienda entre 20, 800 y 27,000 plantas ha⁻¹ a una hilera y de una o dos guías por planta, con distancia entre plantas de 30 a 40 cm y entre camas de 120 cm, mientras que, a doble hilera y una o dos guías se sugiere

entre 26, 600 y 33, 300 plantas ha^{-1} con distancia entre plantas de 40 a 50 cm y entre camas de 125 cm (Baudoin, 2017).

El establecimiento del cultivo también puede ser en contenedores con sustratos inertes, ya sea bolsas de polietileno de 45x50 cm con alguna mezcla de sustrato, o slabs y canaletas de 1 a 2 m de longitud, rellenas de lana de roca o fibra de coco (Pérez-Grajales y Castro-Brindis, 2011). En bolsas de polietileno se coloca una planta por contenedor a una densidad de 2.7 plantas m^{-2} , y en los slabs de un metro de longitud se colocan 3 plantas.

3.1.3.5 Requerimientos hídricos

El agua es uno de los factores más importantes que afecta el rendimiento y calidad de los frutos, por lo que es necesario suministrar el volumen adecuado y en el momento que se requiera a fin de evitar el estrés hídrico en las diferentes etapas del cultivo (Harmanto et al., 2005). Las necesidades hídricas de la planta de tomate varían dependiendo de las condiciones climáticas (temperatura, humedad relativa, etc.), las características del suelo y el estado fenológico del cultivo (Velasco-Hernández et al., 2012). De acuerdo a la etapa del cultivo de tomate, el requerimiento hídrico ($\text{litros m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) es de 0.6 a 1.3 en enraizamiento, de 1.5 a 3.0 en primer a cuarto racimo floral, de 3.5 a 3.8 en quinto racimo floral, de 3.5 a 4.0 en sexto racimo floral, de 4.0 a 4.5 en séptimo y octavo racimo floral, de 4.5 a 5.0 en inicio de cosecha y de 5.0 a 6.0 durante la cosecha (Escobar y Lee, 2009).

Un suministro deficiente de agua puede ocasionar lento crecimiento de la planta, precocidad reproductiva, baja absorción de nutrientes y aborto de flores y frutos, mientras que el exceso de agua en el suelo favorece la proliferación de enfermedades en raíz y tallo, así como agrietamiento de frutos por cambios bruscos de humedad (Bojacá et al., 2017). Por lo que es necesario suministrar

un adecuado volumen de riego a fin de lograr altos rendimientos con frutos de mayor calidad (Yuan et al., 2001).

Es por ello, que para determinar la cantidad y frecuencia de riego idóneo se puede considerar el método del balance de agua o el método basado en la tensión de agua en el suelo (Nuez, 2001). El método del balance de agua es empleado principalmente en riego convencional y por aspersión, que consiste en reponer el agua evapotranspirada antes de alcanzar el umbral mínimo de humedad en el suelo (nivel de agotamiento permisible). El nivel de agotamiento permisible (P) se expresa en porcentaje de humedad disponible en el suelo y se calcula mediante la ecuación $P = \frac{CC-LH}{CC-PMP} \times 100$, en donde, CC es la capacidad de campo, LH el límite del contenido de agua y PMP el punto de marchitez permanente. En tomate, el valor de P se ha calculado entre 20 y 50 %.

Afín de reponer el agua evapotranspirada, se debe de conocer el valor de la evapotranspiración del cultivo (ETc), el que depende de la interacciones del suelo, cultivo y la atmosfera (Valdés-Gómez et al., 2009). ETc se expresa en mm dia^{-1} , y se calcula mediante la ecuación $ETc = ETo \times Kc$, en donde, ETo es la evapotranspiración de referencia y Kc el coeficiente del cultivo (Allen et al., 2006). ETo es la cantidad máxima de agua perdida en una superficie cubierta por pasto y que crece sin restricción de agua, se puede estimar mediante la ecuación de FAO Penman-Monteith (Bojacá et al., 2017). Kc es un adimensional que varía por la etapa de desarrollo del cultivo, que en el caso de tomate se consideran un valor de 0.6 al inicio del cultivo, de 1.5 cuando está al 50 % de desarrollo y entre 0.7 a 0.9 al final de cultivo (Allen et al., 2006).

El método basado en tensión de agua en el suelo se utiliza por lo general en riego por goteo con el apoyo de tensiómetros, y se programan los riegos cuando se tiene una tensión en el suelo de

20 a 30 centibares en tomate (Nuez, 2001). El tensiómetro se puede colocar a una profundidad de 15, 30 y 45 cm, en donde, el tensiómetro de mayor profundidad debe mantenerse a 10 y 15 centibares para evitar que el bulbo de humedad se seque o haya un exceso de agua que pudiera inducir la lixiviación del nitrógeno (Caguana y Quindi, 2004). La cantidad de agua se estima a partir de la formula $NBR = \frac{ETc - Pe}{Er}$, en donde, NBR es la necesidad de bruta de riego, ETc la evapotranspiración del cultivo, Pe la lluvia efectiva y Er la eficiencia de riego (Nuez, 2001), considerando Er el 90 % en riego por goteo.

3.1.3.6 Requerimientos nutricionales

El cultivo de tomate requiere de nutrientes o elementos para el crecimiento y desarrollo de la planta, tales como nitrógeno (N), fosforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), boro (B), cobre (Cu), hierro (Fe), entre otros micronutrientes (Lesur, 2009). Estos elementos tienen funciones específicas en los procesos fisiológicos de la planta o son constituyentes de la estructura molecular de algún compuesto, y que es necesario el aporte cuando existen cantidades deficientes en el suelo, o bien, se tiene una limitada disponibilidad por ciertos factores del suelo (Velasco-Hernández et al., 2012).

Las plantas consume 2.6 kg de N, 0.5 kg P, 3.9 kg de K, 1.6 kg de Ca y 0.4 kg de Mg por cada tonelada de tomate (Zolezzi y Abarca, 2017). A campo abierto se recomienda de 241-417 kg de N, 62-108 kg de P₂O₅, 416-724 kg de K₂O, 234-374 kg de CaO y 67-110 kg de MgO para una producción de 80 a 150 t ha⁻¹, en tanto que, en sistema protegido (invernadero) para una producción de 120 a 240 t ha⁻¹ se sugiere 328-608 kg de N, 85-158 kg de P₂O₅, 570-1065 kg de K₂O, 289-491 kg de CaO y 86-152 kg de MgO (Baudoin, 2017).

El aporte de nutrientes se puede realizar a través de soluciones nutritivas en las distintas etapas del cultivo ya sea en invernadero (Jasso-Chaverría et al., 2012) o mallasombra (Jasso-Chaverría et al., 2011). Castellanos (2009) recomienda soluciones nutritivas en tres etapas del cultivo de tomate I) etapa previa a cosecha (0-75 días después del transplante (DDT)) concentraciones (me L^{-1}) de 6.0-8.0 NO_3^- , 0.5-0.9 H_2PO_4^- , 3.0-6.0 SO_4^{-2} , 4.0-5.0 K^+ , 5.0-6.0 Ca^{+2} y 1.5-2.0 Mg^{+2} , II) inicio de producción (75-125 DDT) de 8.0-10.0 NO_3^- , 0.6-1.0 H_2PO_4^- , 3.0-6.0 SO_4^{-2} , 5.0-6.0 K^+ , 5.0-6.0 Ca^{+2} y 1.8-2.5 Mg^{+2} , y III) 125 DDT a fin de cosecha de 7.0-10.0 NO_3^- , 0.6-1.0 H_2PO_4^- , 3.0-6.0 SO_4^{-2} , 4.5-5.5 K^+ , 5.0-6 Ca^{+2} y 1.5-2.5 Mg^{+2} . Las concentraciones de micronutrientes (ppm) recomendado son 1.50 de Fe, 0.89 Mn, 0.30 Zn, 0.06 Cu, 0.40 y Mo 0.06 (Fernández-Rodríguez y Camacho-Ferre, 2008).

3.1.3.7 Requerimientos culturales

Los requerimientos culturales son distintas prácticas o labores que requiere el cultivo para obtener el mayor rendimiento y calidad de fruta, así como optimizar el espacio, reducir los problemas fitosanitario y favorecer la entrada de luz y aireación (Zolezzi y Abarca, 2017). La conducción y poda del tomate se debe realizar de acuerdo al hábito de crecimiento. A continuación de describe algunas prácticas culturales en el cultivo de tomate:

Tutorado. Consiste en guiar en forma vertical la planta (Escobar y Lee, 2009) de tal forma que la parte aérea no toque el suelo. A campo abierto en tomates determinados regularmente se emplean estacones de 2 m de altura que son colocados en espalderas a una longitud entre estacones de 1.5 m, y cada 25 a 30 cm se colocara rafia (INIFAP-CIRNE, 2001) de forma horizontal para sujetar las plantas. En el caso de cultivar en sistemas protegidos, se apoya de la estructura metálica para colocar alambre galvanizado a una altura mínima de 2.5 m, en este último se colocan los ganchos con rafia para conducir la planta en forma vertical (Jasso-Chaverría et al., 2011).

Poda de formación. El objetivo de esta práctica es definir el número de tallos que tendrá la planta, siendo recomendable la poda a un solo tallo en variedades de crecimiento indeterminado, y en caso de optar por dos tallos se recomienda dejar el tallo principal y como segundo tallo el que se encuentra inmediatamente por debajo de la primera inflorescencia debido a que son los más vigorosos (Escobar y Lee, 2009).

Poda de yemas o chupones. Practica que consiste en eliminar los brotes que aparecen en el punto de inserción entre el peciolo de la hoja y el tallo principal (Ubaque-López y Parrado, 2004), de preferencia cuando están pequeños para evitar el consumo de nutrientes y mayores heridas por la edad.

Poda de hojas. Consiste en eliminar hojas viejas, generalmente de dos a tres hojas por planta semanalmente, empleando tijeras desinfectadas previamente ya sea con sales cuaternarias de amonio y otro (Jasso-Chaverría et al., 2011). Esta labor facilita la aireación, y disminuye la humedad relativa en la planta y la incidencia de patógenos (López-Marín, 2017).

Poda de flores y frutos. Esta práctica ayuda a balancear el crecimiento vegetativo y el productivo para optimizar el número y tamaño de frutos en la planta (Escobar y Lee, 2009). La poda de frutos depende la variedad cultivada, las condiciones climáticas, el vigor y estado de desarrollo de la planta, de tal forma que se pueda manipular el tamaño y numero del fruto (Ubaque-López y Parrado, 2004).

Poda del ápice o despunte. Esta labor consiste en eliminar el brote apical del tallo principal para detener el crecimiento, controlar la altura de la planta y numero de racimos que se desea producir, así como homogenizar el calibre y precocidad del fruto (Zolezzi y Abarca, 2017).

Generalmente se realiza dejando una o dos hojas por encima del último racimo que se desea para evitar el daño de por el sol en los frutos del ultimo racimo.

3.1.3.8 Control de plagas y enfermedades

En el cultivo de tomate existen plagas y enfermedades que dañan el crecimiento y desarrollo de la planta y como consiguiente la productividad y calidad de frutos. Las plagas son insectos que se alimentan de la savia de los órganos de la planta ocasionando daños o malformaciones en hojas, tallos y frutos, y en ocasiones pueden transmitir virus (Bojacá y Monsalve, 2012). Las enfermedades son causadas por hongos, bacterias, virus y nematos que dependiendo de la incidencia y severidad pueden ocasionar grandes pérdidas económicas debido a que pueden afectar a la planta en sus diferentes etapas fenológicas y reducir su vida útil (Zolezzi y Abarca, 2017).

Control de plagas

Las principales plagas del tomate son la mosca blanca, minador de la hoja, paratrioza, pulgón, araña roja, gusano del fruto, trips, entre otras, que pueden ocasionar daños en los órganos de la planta. La detección de estas plagas debe de realizarse a tiempo para realizar un manejo adecuado y aplicar las medidas de control necesarias (Villasanti, 2013).

La mosca blanca (*Trialeurodes vaporarium*, *Bemisia tabaci*) produce un daño directo al alimentarse de la savia y un daño indirecto al segregar mielecilla que favorece el desarrollo de fumagina, lo que debilita la planta y reduce su producción (Cepeda-Siller, 2009). El daño más importante de este insecto es la transmisión de virus que causan enanismo en la planta y desarrollo de hojas pequeñas, y como consecuente, la planta no produce (Pérez-Grajales y Castro-Brindis, 2011).

Las larvas *Liriomiza spp* causa daños en causan minas serpenteantes al alimentarse del tejido que se encuentra en ambas epidermis de la hoja, lo que reduce la actividad fotosintética (León et al., 2000). Cuando las poblaciones son muy altas, este insecto puede provocar defoliación severa de las plantas (Valenzuela–Escoboza et al., 2010).

Las ninfas y adultos de paratrioza (*Bactericera cockerelli*) se alimentan de la savia de las plantas ocasionando que las hojas se enrollen y se tornen amarillas (Cepeda-Siller, 2009). El daño directo es debido a la toxina que produce este insecto que daña las células encargadas de producir la clorofila, lo que hace que las hojas se tornen amarillas y débiles, mientras que de forma indirecta transmite fitoplasma (Ramírez-Gómez et al., 2008).

Los pulgones o afidios (*Myzus persicae*, *Macrosiphum euphorbiae*, *Aulacorthum solani*) al alimentarse de la savia puede ocasionar un daño directo como amarillamiento y debilitamiento de la planta, e indirectamente segregar mielecilla que favorece la incidencia de fumagina, quienes interfieren en el proceso fotosintético y por consiguiente en la reducción de crecimiento de la planta y pérdidas en la producción (Castresana y Paz, 2019)

La araña roja (*Tetranychus urticae*) es un acaro polífago que se asienta en el envés de las hojas y se alimenta de las células del tejido y savia, provocando que el sitio en donde se alimentan se tornen de color amarillo y cuando el daño se incrementa se torna totalmente amarillas las hojas (Pérez-Grajales y Castro-Brindis, 2011).

Los trips (*Frankliniella occidentalis*) provoca distorsión en el crecimiento de las plantas y malformación en las flores, y causan manchas de color blanco a plateado en las hojas jóvenes (UC-IPM, 2023). El principal daño por trips es la transmisión del virus del marchitamiento manchado de tomate.

El gusano del fruto del tomate (*Heliothis virescens*) ocasiona daños directos a la producción y calidad comercial debido a que se alimenta del fruto (García-Gutiérrez et al., 2020).

El control de estos insectos se puede realizar por diferentes métodos de cultural, químico o biológico, ver tabla 09.

Cuadro 09. Manejo y control de los insectos más importantes en el cultivo de tomate

Insecto	Tipo de control	Manejo o producto comercial	
Mosca blanca	Cultural	– Eliminar malezas	
		– Eliminar restos de cultivo anterior	
		– Usar de trampas amarillas pegajosas	
	Químico	– Confidor (Imadacloprid)	– Oberon (Spiromesifen)
		– Actara (Thiametoxan)	– Malathion (Fenpropathrin)
– Movento (Spitotetramat)		– Knack (Pyriproxifen)	
Biológico	– Insectos depredadores (<i>Chrysoperla carnea</i> , <i>Hippodamia convergens</i> , etc.)		
	– Insectos parasitoides (<i>Encarsia Formosa</i> , <i>Eretmocerus eremicus</i> , etc.)		
	– Hongos entomopatógenos (<i>Verticillium lecanii</i> , <i>Bauveria bassiana</i> , etc.)		
Minador de la hoja	Cultural	– Eliminar y destruir las hojas que tienen larva y/o pupa	
	Químico	– Agri-mec (Abamectina)	– Radiant (Spinetoram)
		– Coragen (Clorantpriliprol)	– Entrust (Spinosad)
	Biológico	– Insectos parasitoides (<i>Chrysocharis parksi</i> , <i>Diglyphus begini</i> , <i>Opius dimidiatus</i> , <i>Halticoptera patallana</i> , <i>Syntomopus americanus</i> , etc.)	
Paratrioza	Cultural	– Deshoje constante	
		– Usar de trampas amarillas pegajosas	
	Químico	– Admire Pro (Imadacloprid)	– Agri-mec (Abamectina)
		– Radiant (Spinetoram)	– Oberon (Spiromesifen)
		– Movento (Spitotetramat)	– Entrust (Spinosad)
Biológico	– Insectos depredadores (<i>Chrysoperla carnea</i> , <i>Geocoris</i> spp., <i>Engytatus</i> spp., etc.)		

		– Insectos parasitoides (<i>Tamarixia triozae</i>)	
		– Eliminar malezas	
	Cultural	– Eliminar y destruir las hojas infestadas	
		– Eliminar de restos de cultivo anterior o de otros cultivos hospederos	
pulgón	Químico	– Movento (Spitotetramat)	– Admire Pro (Imadacloprid)
		– Beleaf (Flonicamid)	– Assail (Acetamiprid)
		– Actara (Thiametoxan)	– Dimetoato (Dimetoato)
		– Insectos depredadores (<i>Chrysoperla carnea</i> , <i>Aphidoletes aphidimyza</i> , etc.)	
	Biológico	– Insectos parasitoides (<i>Aphelinus abdominalis</i> , <i>Aphidius matricariae</i> , etc.)	
		– Hongos entomopatógenos (<i>Verticillium lecanii</i> , <i>Entomophthora virulenta</i> , etc.)	
araña roja	Cultural	– Mojar a menudo el follaje de las plantas pulverizando con agua	
		– Eliminar plantas hospedantes	
	Químico	– Agri-mec (Abamectina)	– Azufre en polvo o pulverización líquida
	Biológico	– Insectos depredadores (<i>Amblyseius californicus</i> , <i>Phytoseiulus persimilis</i>)	
	Cultural	– Usar trampas adhesivas o atrayentes	
gusano del fruto	Químico	– Intrepid (metoxifenocide)	– Entrust (Spinosad)
		– Coragen (Clorantraniliprol)	– Proclaim (Benzoato de Emamectin)
		– Rimon (Novaluron)	– Avaunt (Indoxacarb)
		– Insectos depredadores (<i>Geocoris</i> sp.)	
	Biológico	– Insectos parasitoides (<i>Trichogramma pretiosum</i> , <i>Hyposoter exiguae</i>)	
		– Hongos entomopatógenos (<i>Bacillus thuringiensis</i> , etc.)	
		– Eliminar malezas aledañas	
	Cultural	– Eliminar restos de cultivo anterior o de otros cultivos hospederos	
		– Usar trampas azules o amarillas adhesivas o atrayentes	
Trips	Químico	– Radiant (Spinetoram)	– Lannate (Methomyl)
		– Entrust (Spinosad)	– Beleaf (Flonicamid)
		– Venom (Dinotefuran)	– Dimetoato (Dimetoato)
	Biológico	– Insectos depredadores (<i>Orius insidiosus</i> , <i>O. laevigatus</i> , <i>Amblyseius swirskii</i> , etc.)	

Fuente: Información obtenida de Cepeda-Siller, 2009, Pérez-Grajales y Castro-Brindis, 2011, Koppert, 2023, UC-IPM, 2023.

Control de enfermedades

Existen cerca de 20 enfermedades que afecta la planta de tomate, causadas por agentes causales como hongos, bacterias, fitoplasmas, virus, viroides y nematodos (EEA-UPR, 2021). Entra las principales enfermedades se encuentran damping-off, tizón tardío, moho gris, cáncer bacteriano, y Rizoctonia (Pérez-Grajales y Castro-Brindis, 2011). A continuación de se describe la enfermedad y su control:

Cuadro 10. Síntomas y control de las enfermedades más importantes en el cultivo de tomate

Enfermedad	Agente causal	Síntomas	Control
Hongos			
Ahogamiento del tallo (damping-off)	<i>Phytophthora spp.</i> , <i>Pythium spp.</i> , <i>Fusarium spp.</i> y <i>Rhizoctonia spp.</i>	Se produce un estrangulamiento en la base del tallo en etapa de plántula, que en un nivel avanzado de la enfermedad provoca la muerte.	C: Usar semilla certificada o tratar la semilla con fungicida, usar charolas y sustrato nuevo, y en caso de reutilizar charolas desinfectar con cloro. Q: Captan (Captan), Ridomil (Mefenoxam + Mancozeb), Previcur (Propamocarb + Fosetil)
Tizón tardío	<i>Phytophthora infestans</i>	Inicia doblándose la hoja hasta 90°, seguido de lesiones de forma irregular, hundida y vercosa, que posterior se alargan y oscurecen dando apariencia al tejido como papel. En tallo aparecen manchas pardas y negras que se extiende a los peciolo, y en frutos las manchas inician café y lisas que se tornan marrón oscuro y rugosa.	C: Tener buena aireación, evitar densidades altas de plantación, eliminar malezas, desechar plantas con hojas, tallos y frutos enfermas. Q: Bravo 720 (Clorotalonil), Captan (Captan), Ridomil (Mefenoxam + Mancozeb), Cupravit (Oxicloruro de cobre).
Tizón temprano	<i>Alternaria spp.</i> , <i>A. solani.</i> , <i>A.</i>	En hoja inicia como manchas circulares de color café a negro que aumenta de tamaño y forman anillos concéntricos. En tallos	C: Eliminar malezas, eliminar residuos vegetales con síntomas, facilitar una buena aireación.

	<i>lycopersici</i>	son lesiones alargadas con anillos concéntricos, y en frutos estas son hundidas y oscuras.	Q: Cabrio (Pyraclostrobin), Amistar (Azoxistrobin), Dithane (Mancozeb), Bravo 720 (Clorotalonil), Captan (Captan), Ridomil (Mefenoxam + Mancozeb), Cupravit (Oxicloruro de cobre)
Marchitez por Fusarium	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>	En plántulas ocasionan damping-off. En campo infecta la raíz y se expande por toda la planta, presentando una decoloración vascular marrón oscuro que se extiende hasta el tallo. Las hojas se vuelven amarillas y después se marchitan. A menudo los síntomas aparecen durante el engorde de fruta. Las plantas detienen su crecimiento y finalmente mueren.	C: Utilizar variedades resistentes, eliminar planta infectada, desinfectar el equipo y herramienta agrícola, rotar cultivos. Q: No existe control químico efectivo para esta enfermedad.
Marchitez por verticillium	<i>Verticillium albo-atrum</i> y <i>V. dahliae</i>	En hojas viejas inicia el marchitamiento amarilla en forma de V desde el margen de un foliolo, que después se tornan café claro y se secan. Las plantas se mantienen pequeñas.	C: Utilizar variedades resistentes, eliminar planta infectada, desinfectar el equipo y herramienta agrícola, rotar cultivos no susceptibles, reducir fertilización nitrogenada Q: No existe control químico efectivo para esta enfermedad.
Podredumbre gris	<i>Botrytis cinerea</i>	Inicia como lesiones elípticas y acuosas, que pueden rodear el tallo y la planta muere. En flores y frutos forman lesiones esporuladas de color gris a café ocasionando pudrición acuosa.	C: Evitar densidades de plantación altas, realizar oportunamente la poda de hojas y brotes, podar hojas y frutos infestados. Q: Bravo 720 (Clorotalonil), Captan (Captan), Cupravit (Oxicloruro de cobre), Amistar (Azoxistrobin), Dithane (Mancozeb), Ridomil (Mefenoxam + Mancozeb)
Cenicilla polvorienta	<i>Leveillula taurica</i> , <i>Erysiphe</i>	En hojas viejas se presentan pequeñas manchas verdes amarillentas casi circulares, que después el centro se	C: evitar altas densidades de plantación, eliminar restos de cultivo contaminado, eliminar malezas.

	<i>orontii</i> y <i>Oídium lycopersicum</i>	comienza a deshidratar y de color café, y posteriormente crece y cubre toda la hoja. El crecimiento del hongo se observa como manchas blanquecinas y pulverulentas.	Q: Azufre, Cupravit (Oxicloruro de cobre), Amistar (Azoxistrobin), Rally (myclobutanil), Flint (Trifloxystrobin) B: Serenade (Bacillus pumilus), Phc Neeem (Azaridachtina)
--	---	---	---

Bacterias

Cáncer bacteriano del tomate	<i>Clavibacter michiganensis</i>	Se desarrolla en todo el sistema vascular de la planta, al inicio los síntomas no son muy notorios, pero cuando comienzan a desarrollarse los frutos se observa el marchitamiento de la planta, las hojas inferiores se tornan amarillas y se marchitan.	C: evitar altas densidades de plantación, desinfectar las herramientas y equipo agrícola, rotar cultivo, incorporar los restos después del ciclo del tomate al arar, evitar trabajar en húmedo cuando hay planta con incidencia, eliminar planta con incidencia.
Necrosis de la medula/	<i>Pseudomonas corrugata</i>	Se presenta cuando hay fruto maduro, existe una decoloración marrón y necrosis de la medula que conduce a tallos huecos que se extienden hacia arriba en la planta.	C: Cuidar la fertilización nitrogenada, eliminar las plantas enfermas, tener buena aireación.
Mancha bacteriana	<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>vesicatoria</i> , <i>X. perforans</i> , <i>X. gardneri</i>	En plántulas puede causar defoliación severa. En plantas maduras aparece como manchas empapadas de agua en hojas viejas, que se tornan de amarillo o verde claro a negro o marrón oscuro hundida.	C: eliminar la planta sospechosa y vecinas en una bolsa, tener buena aireación, desinfectar con permanganato de potasio, desinfectar equipos y herramientas agrícolas. Q: Kocide 3000 (Hidroxido de cobre), Dithane (Mancozeb), Cupravit (Oxicloruro de cobre),

Nematodos

Nematodo agallador	<i>Meloidogyne spp.</i>	Causa formación de células gigantes y agallas provocando en raíces infestadas poco desarrollo de raíces laterales y escasos pelos radicales. Además de ruptura de los elementos vasculares en las agallas, lo que interrumpe el flujo de agua y nutrientes.	C: barbechar para exponer los estadios juveniles a la desecación, rotar cultivos, solarización. Q: Vapam (Metan sodio) B: Nema WG (Paecilomyces lilacinus), Ditera (Myrothecium verrucaria)
--------------------	-------------------------	---	---

Virus

Virus del enrollado de la hoja, virus de la cuchara (TYLCV)	Virus transmitido por mosca blanca	Los folíolos de las hojas se enrollan hacia el haz tornándose clorótico. Las plantas detienen su crecimiento, existe una reducción del tamaño de la hoja y del entrenudo.	C: usar planta certificada, eliminar resto del cultivo anterior, eliminar malezas, evitar altos aportes de nitrógeno, eliminar plantas infectadas.
Virus del bronceado del tomate (TSWV)	Virus transmitido por trips	El haz de las hojas jóvenes presenta un bronceado, que se toman en manchas necróticas bien definidas. Los frutos tienen un aspecto moteado con manchas circulares concéntricas.	C: eliminar la planta infectada, eliminar malezas, plantar variedades resistentes, controlar trips.
Virus del mosaico del tomate (ToMV)	Virus transmitido por semilla, contacto	En hoja se forman mosaicos verde claro y oscuros, que en ocasiones presenta deformaciones sin mosaico y reducción del crecimiento. En frutos maduros se forma manchas café oscuro externa e internamente, y en frutos verdes manchas blancas anubarradas.	C: eliminar la planta infectada, eliminar malezas, utilizar variedades resistentes

*Cultural (C), Químico (Q), Bilógico (B). Fuente: Información obtenida de Cepeda-Siller, 2009, Pérez-Grajales y Castro-Brindis, 2011, Flores et al., 2012, UC-IPM, 2023, Velasco-Hernández et al., 2012, López-Marín, 2017, EEA-UPR, 2021, UC-IPM, 2023, Villasanti, 2013

3.2 Los microorganismos benéficos

En el suelo existe un amplio número de microorganismos de especies diferentes (González y Fuentes, 2017). Entre los que se encuentran microorganismos patógenos y benéficos, que se desarrollan en la rizósfera de las plantas afectando su crecimiento (Sarabia-Ochoa et al., 2010). Los efectos de microorganismos patógenos son enfermedades que ocasionan diferentes daños a los órganos de las plantas y en casos severos la muerte, tal como se indica en el capítulo 2.1.3.8. Los microorganismos benéficos como hongos o bacterias en la agricultura favorece un entorno productivo amigable (Viera-Arroyo, 2020). Estos organismos favorecen el crecimiento radicular,

intercambio de nutrientes y agua, inducción de resistencia sistemática, estimulación del crecimiento, etc. (Cano, 2011).

La efectividad en el uso de microorganismos se logra en condiciones óptimas de disponibilidad de fuentes energéticas, pH, agua, oxígeno y temperatura (Terry et al., 2005b). Por lo que es de vital importancia identificar microorganismos endémicos de la región para asegurar buenos resultados, dada su adaptación a la región. El aislamiento, identificación y clasificación de microorganismos endémicos en especies vegetales de una región, resulta relevante debido a que se pueden encontrar microorganismos benéficos de interés agrícola, ambiental e industrial (Álvarez-Vera et al., 2018).

3.2.1 Microorganismos benéficos de importancia en la agricultura

Los microorganismos benéficos como las bacterias, colonizan las raíces de las plantas y se alimentan de los exudados, y a cambio las plantas reciben metabolitos que estimulan el crecimiento y brindan protección contra patógenos (Hashem et al., 2019). Estos microorganismos han tomado relevancia en la actualidad, debido al creciente uso de productos químicos sintéticos, generación de resistencia de plagas y enfermedades, impacto en la salud y ambiental, etc. (Avis et al., 2008). Los efectos benéficos de estos microorganismos puede ser directos o indirectos sobre la promoción del crecimiento y desarrollo de las plantas e inducción de resistencia a estrés biótico o abiótico, etc. (Chamkhi et al., 2020). Entre los principales microorganismos benéficos se encuentran los hongos del género *Trichoderma* y *Beauveria*, y distintas especies micorrizas, así como bacterias del género *Bacillus* (Viera-Arroyo, 2020).

En la última década (2010 en adelante), se ha reportado 50 cepas de *Bacillus spp.* promotores de crecimiento vegetal en diferentes plantas (Tiwari y Prasad, 2019), donde se ha

demostrado la producción de compuestos orgánicos, fijación biológica de nitrógeno y solubilización del fosforo (Corrales-Ramírez et al., 2017). Los mecanismos de acción de estas bacterias pueden clasificarse en directos como fijación de nitrógeno, solubilización de nutrientes (P, K, Zn) o producción de sideróforo, e indirectos como actividad de biocontrol o producción de hormonas, antibióticos, etc. (Meena et al., 2017).

La fijación de nitrógeno por algunas cepas de *Bacillus spp.* se debe a que estos microorganismos poseen genes nif, que son los encargadas de codificar la enzima nitrogenasa, siendo esencial para la fijación de nitrógeno (Goswami et al., 2016). Estos genes también incluyen genes estructurales, implicados en la activación de la proteína de hierro, biosíntesis del cofactor hierro-molibdeno, donación de electrones y genes reguladores para la síntesis y función de la enzima (Tiwari y Prasad, 2019). Entre las especies identificadas con este tipo de acción se encuentra *B. amyloliquefaciens*, *B. subtilis*, *B. licheniformis*, *B. megaterium*, *B. niabensis*, *B. paralicheniformis* y *B. pumilus* (Abadi et al., 2021), así como *B. mycoides* (Singh et al., 2020).

La solubilización de fosfato por medio de *Bacillus spp.*, se debe a la segregación de ácidos orgánicos al metabolizar azúcares, estos actúan como agentes quelatantes de cationes de Ca^{+2} , lo que permite la liberación de fosfatos de compuestos insolubles (Goswami et al., 2016). Entre los ácidos orgánicos producidos se encuentra el glucónico, fórmico, cítrico, oxalato, láctico, isovalerico, succínico, glucónico, y acético (Pande et al., 2017). Las especies solubilizadoras de fosforo son *B. circulans*, *B. cereus*, *B. fusiformis*, *B. pumilus*, *B. megaterium*, *B. mycoides*, *B. polymyxa*, *B. coagulans*, *B. chitinolyticus*, *B. subtilis* (Sharma et al., 2013).

La solubilización de potasio se da a través de ácidos como cítrico, glucónico, oxalato y tartárico, son ácidos de bajo peso molecular que liberan protones, siendo el glucónico el de mayor

relevancia en la solubilización (Yadav, 2022). El ácido tartárico y pirúvico producidos por *Bacillus* están relacionados con la solubilización de K in vitro (Zhou et al. 2022). La solubilización de potasio se lleva a cabo por las especies *B. mucilaginosus*, *B. edaphicus*, *B. circulans* (Meena et al., 2014).

La solubilización de zinc, los *Bacillus* la inducen por la producción de ácido glucónico (Saravanan et al., 2003; Fasim et al., 2002), sin embargo, dependiendo de fuente inorgánica, se pueden producir varios ácidos orgánicos como propiónico, fórmico, láctico, glucónico, cítrico, succínico, málico y oxálico (Nitu et al., 2020). Cepas de *B. subtilis* y *B. aryabhatai* han mostrado tener capacidad de solubilizar zinc de fuentes insolubles (Mumtaz et al., 2017), así como la especie *B. megaterium* que también favoreció en mayor producción de ácido indol acético (Bhatt y Maheshwari, 2020).

Los sideróforos es otro de los productos enzimáticos de los *Bacillus*, donde el objetivo primordial es quelatar el hierro, lo que favorece su solubilización y extracción de minerales y compuestos orgánicos (Miljakovic et al., 2020). La producción de sideróforo es realizada por la especie *B. subtilis*, *B. cereus* y *B. thuringiensis*, los cuales generan la bacilibactina, un sideróforo catecolico que favorece la quelatación de Fe^{3+} (Pahari et al., 2017).

En cuanto a *Bacillus* como control biológico, estas especies producen varios compuestos que pueden usarse para diversos agentes patogénicos, como lipopéptidos que activan los mecanismos de defensa de las plantas y quienes son responsables de la eficacia del control de muchos patógenos (Shafi et al., 2017). El mecanismo de acción de los lipopeptidos y los antibióticos producidos por *Bacillus* son bloqueo y desintegración de la pared celular, rompimiento y alteración de la bicapa lipídica de la pared celular, inhibición de la germinación de conidios y del

crecimiento del micelio, malformación de hifas fúngicas, fuga de iones de las células microbianas, inhibición de la síntesis de ADN, actividad antibiótica, etc. Entre las diferentes especies de *Bacillus* se destaca el *B. subtilis* para el control de patógenos al tener diversos mecanismos de acción, como *Fusarium oxysporium*, *Aspergillus flavus*, *F. graminearum*, *R. solani*, *Pythium irregulare*, *Cladosporium fulvum*, *Alternaria oleracea*, *A. brassicae*, *Magnaporthe griseae*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Botrytis cinérea* y *Colletotrichum gloeosporioides*. Otras especies de *Bacillus* ampliamente estudiadas por su producción de antimicrobianos son *B. amyloliquefaciens*, *B. licheniformis*, *B. cereus*, *B. velezensis* y *B. thuringiensis* (Lopes et al., 2018).

3.2.1.1 Formulación de *Bacillus* spp.

Las formulaciones de bacterias son productos que contienen un ingrediente activo en un vehículo con aditivos que favorezcan la estabilidad y protejan las células bacterianas durante el almacenamiento y transporte, afín de obtener el beneficio deseado al ser aplicado en el suelo (Pahari et al., 2017). Al formular un producto a base de *Bacillus*, se considera el modo de acción, estabilidad del microorganismo en campo y compatibilidad con otros productos (Shafi et al., 2017).

Investigaciones actuales, ha demostrado la producción de formulaciones de biocontroles a base de especies de *Bacillus* con diversos sustratos, como *B. thuringiensis* con sustrato agua residual de la industria del almidón (Kumar et al., 2019). Otras formulaciones son los encapsulados en nanomateriales poliméricos a base de quitosano (Ej. *B. licheniformis* en nanopartículas de alginato-quitosano), así como los encapsulados mediante biopolímeros derivados de algas (*B. velezensis* encapsulado con alginato, quitosano y almidón), derivados de gomas vegetales (*B. cereus* encapsulado en goma arábiga) (Riseh et al., 2022). *B. subtilis* en nanopartículas de grafito y sílice (Djaya et al., 2020).

Las formulaciones comerciales de los microorganismos como fertilizantes microbianos o biofertilizantes pueden ser en polvo seco o húmedo, granuladas o formulaciones líquidas (Stamenković et al., 2018). Algunas de estas formulaciones que se han desarrollado actualmente son el consorcio de *B. subtilis*, *B. megaterium*, *Azotobacter chroococcum* y *A. vinenaldii* en medios líquidos a base de melaza (Hindersah et al., 2020), Otras formulaciones que se han elaborado contienen *B. siamensis* en medio líquido con carragenina, *B. polymixa* en medio líquido con perodexina, así como formulaciones sólidas húmedas como *Bacillus spp.* con biocarbón, y consorcio de bacterias (*B. endophyticus*, *B. sphaericus*, *Enterobacter aerogenes*, *B. safensis*, *B. megaterium* y *Virgibacillus sp.*) en lodo de biogás y suelo enriquecido (Lobo et al., 2019). También se han elaborado formulaciones en polvo de *B. amyloliquefaciens*, *B. cereus*, *B. subtilis*, *B. megaterium*, *B. subtilis* + *B. licheniformis*, y en forma granular *B. megaterium* (Stojanović et al., 2019).

Entre los productos disponibles comercialmente en el mundo se encuentra Serenade, Companion, Kodiak, Cease, Subtilex, Pro-Mix, Bio safe, Ecoshot y Biosubtilin a base de *B. subtilis*; Bio yield, Rhizovital 42, Rhizovital42tb y Rhizocell a base de *B. amyloliquefaciens*; Yield Shield, Sonata y Ballad Plus a base de *B. pumilus*; Symbion-P a base de *B. megaterium*, entre otros (Miljakovic et al., 2020). Aun cuando los productos a base de *Bacillus spp.* presenta mecanismos de biocontrol, biofertilización y bioestimulación, se debe considerar la interacción de la bacteria con la planta y/o patógeno, y el medio ambiente. La identificación y caracterización de nuevas cepas efectivas pueden ayudar a reducir la emergencia de patógenos resistentes y también los nuevos productos (Lopes et al., 2018).

3.2.1.2 Criterios de aplicación de *Bacillus* spp.

Existe varios productos comerciales de *Bacillus* spp. a nivel mundial con diferentes mecanismos de acción, sin embargo, su aplicación a los sistemas de producción está limitado a ciertos cultivos y regiones geográficas (Saxena et al., 2019), por lo que es necesario considerar las condiciones agroclimáticas y el tipo de cultivo al momento de emplear algún producto a base de microorganismos. Adicionalmente al mezclar agroquímicos sintéticos con formulación a base de bacterias, estos pueden dañar a las bacterias vivas (Shafi et al., 2017), por lo que se debe analizar la compatibilidad al combinar bioproductos y productos sintéticos.

Otro factor clave que afecta la capacidad de los *Bacillus* spp a manifestar funciones benéficas es la interacción de planta, bacillus, patógeno y ambiente, por lo que es necesario la selección continua en ensayos a campo abierto o invernadero (Miljakovic et al., 2020). Además, la interacción suelo, planta y bacteria puede influir en el efecto benéfico de estos microorganismos (Meena et al., 2017). La eficacia del inoculante en la colonización de raíces se incrementa cuando son cepas autóctonas de *Bacillus* spp. en comparación con cepas comerciales o de laboratorio (Miljakovic et al., 2020).

3.2.2 Aplicación de los microorganismos *Bacillus* spp. en la producción de tomate

Los efectos del uso de microorganismos del genero *Bacillus* en el cultivo de tomate ha sido reportado por diversos autores. Recientemente se ha demostrado que las especies de este género favorecen el crecimiento del sistema radicular y/o crecimiento y desarrollo de la parte aérea, además de la mejora en la calidad de frutos por el uso de *B. velezensis* (Chen et al., 2021; Yan et al., 2022; Balderas-Ruíz et al., 2021), *B. subtilis* (Tahir et al., 2022; Khalil y Adbelghany, 2021; Pishchik et al., 2018), *B. pumilus* (Massod et al., 2020), *B. licheniformis* y *B. cenocepacia* (Raji et al., 2021),

B. amyloliquefaciens (Liu et al., 2022) y *B. megaterium* (Akram et al., 2019; (Yagmur y Gunes, 2021), ya sea en campo abierto o invernadero).

El uso de estas especies también ha demostrado efectos favorables en el control de patógenos como *F. oxysporum*, *Botrytis cinérea*, *Cladosporium fulvum*, *Meloidogyne incognita*, *Alternaria solani*, entre otros (Jangir et al. 2018; Wang et al., 2018; Myo et al., 2019; Choi et al., 2020; Khalil y Adbelghany, 2021). Así mismo, la reducción o retraso la incidencia de virus del marchitamiento del tomate (TSWV) y el virus de la papa Y (PVY) (Beris et al., 2018).

3.2.2.1 Crecimiento y producción de las plantas

B. subtilis es uno de los microorganismos más comunes que se utilizan para inducir mayor crecimiento y rendimiento de las plantas (Mahapatra et al., 2022), promueve la tasa fotosintética y el contenido endógeno de giberelinas, auxinas y citosinas en plantas de tomate (Tahir et al., 2022). También aumenta el peso fresco y seco de las plantas de tomate bajo invernadero (Khalil y Adbelghany, 2021) e incrementa el contenido de Fe soluble en plantas, disminuyendo la clorosis por deficiencia de Fe (Zhou et al., 2019). En otro estudio se demostró efecto favorable en el número de raíces fibrosas de tomate por la inoculación con *B. velezensis* (Yan et al., 2022), así como, el incremento en altura de planta, diámetro del tallo, y el peso seco y fresco de las plántulas de tomate al inocular las semillas con *B. velezensis* (Chen et al., 2021).

El crecimiento de las plantas de tomate también se ha favorecido con la inoculación de *B. pumilus* y un suministro adicional de nitrógeno, lo que indujo un aumento del 8 % en el contenido de clorofila, 16 % en altura de la planta, 27 % en peso fresco de los brotes y 35 % en peso seco de los brotes en comparación con los no inoculados (Massod et al., 2020). *B. licheniformis* y *B. cenocepacia* inoculados en tomate cultivados en suelos alfisoles y vertisoles bajo condiciones de

invernado, han mejorado los parámetros de crecimiento de la planta como la altura, área foliar, longitud de raíces y contenido de potasio en los tejidos (Raji et al., 2021). *B. megaterium* es un microorganismo que también favorece el crecimiento de las plantas, la capacidad fotosintética, reduce la producción de ROS y mantiene la homeostasis redox al inocular plantas de tomate bajo condiciones de salinidad (Akram et al., 2019).

3.2.2.2 Control de patógenos del suelo

Los agentes de biocontrol basados en bacillus juegan un papel fundamental en el campo de los bioplaguicidas, al ser eficaces contra una amplia gama de patógenos del suelo, ya sea como inductores de resistencia sistemática, productores de compuestos antimicrobianos y promotores del crecimiento vegetal (Shafi et al., 2017). La cepa de *Bacillus spp.* B44 inhibió el crecimiento de *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*, reduciendo el 36 % en la incidencia de la enfermedad en plantas de tomate bajo condiciones de invernadero (Jangir et al. 2018). En otro estudio, *B. subtilis* redujo la severidad de la enfermedad causada por *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* en plantas de tomate (Samaras et al., 2021), y ha tenido una eficacia en el control de 74.7% en *Botrytis cinerea* y 72.1% en *Cladosporium fulvum* (Wang et al., 2018).

En un ensayo in vivo en plantas de tomate inoculadas con *B. velezensis*, redujo significativamente el marchitamiento por *Fusarium oxysporum* (Myo et al., 2019). La aplicación de *B. thurigiensis* y *B. velezensis* redujo el número de masas de huevecillos e índice de agallas radicales de *Meloidogyne incognita* en tomate (Choi et al., 2020). La aplicación *B. amyloliquefaciens* por inmersión, foliar o enmienda del suelo en planta de tomate, redujo un 80 % la incidencia del virus del marchitamiento del tomate (TSWV), mientras que aplicaciones por empape retraso el virus de la papa Y (PVY) (Beris et al. 2018). La aplicación de *B. megaterium* o

B. subtilis en plantas de tomate bajo condiciones de invernadero, redujo la severidad del tizón temprano ocasionada por *Alternaria solani* (Khalil y Abdelghany, 2021).

3.2.2.3 Calidad de los frutos

La inoculación de *Bacillus spp.* en tomate favorece la calidad de los frutos, al incrementar los niveles de sólidos solubles totales, contenido de licopeno y ácido ascórbico (González-Rodríguez et al., 2018). También *B. subtilis* incrementa el rendimiento de tomate, al aumentar el número de frutos por planta, además la calidad al incrementar los niveles de carbohidratos totales, ácido ascórbico y ácidos orgánicos (Pishchik et al., 2018). En otro estudio se encontró que la inoculación de *B. subtilis* aumenta la actividad antioxidante y contenido de carotenoides en frutos de tomate producidos bajo invernadero, tales como contenido de fenoles totales, flavonoides, licopeno y carotenos (Chandrasekaran et al., 2019).

La aplicación de *B. amyloliquefaciens* individual y en combinación con biocarbón, redujo entre 22 y 60 % el contenido de cadmio en frutos de tomates maduros, aumento el peso de fruto entre 7 y 21 %, y el contenido de licopeno en un 23 y 48 %, siendo el mayor efecto en la combinación (Liu et al., 2022). *B. velezensis* en cambio incremento significativamente el rendimiento total y produjo mayor cantidad de tomates de primera calidad (Balderas-Ruíz et al., 2021). Similarmente, *B. mesonae* aumento el rendimiento comercial y contenido de fitoquímicos como licopeno y polifenoles totales al aplicar en tomate cherry bajo sistema protegido (Yoo et al., 2019). *B. megaterium* es otro de los microorganismos que favorece la producción de tomates orgánicos mejorando el rendimiento y parámetros de calidad de la fruta como contenido de sólidos totales, acidez titulable y vitamina C (Yagmur y Gunes, 2021).

IV. METODOLOGÍA

4.1 Ubicación geográfica y condiciones climáticas

La presente investigación se llevó a cabo en el año 2019, en la Facultad de Ingeniería y Negocios, San Quintín, Baja California, México, con ubicación geográfica 30° 38' 59" latitud norte y 115° 57' 51" longitud oeste, con una altitud de 20 msnm. El clima de la región, según el Sistema de Clasificación Climático de Köppen, modificado por García (1973), se define como muy seco templado (BwKs). En el año 2019, las condiciones de temperatura mínima y máxima promedio fue de 10.1 y 22.3 °C, respectivamente, con una precipitación acumulada de 205.4 mm (SIMARBC, 2022).

4.2 Obtención de las cepas de *Bacillus* spp.

4.2.1 Recolección de muestras de suelo

Las muestras de suelo se obtuvieron principalmente de la rizósfera de plantas nativas de las áreas del Rosario y Padre Kino, se recolectó una muestra de 2 kg de suelo a una profundidad entre 10 y 45 cm. Cada muestra se colocó en bolsas de papel rotuladas previamente.

4.2.2 Preparación de medios de cultivo y agua peptonada e isotónica estéril

a) Medio de cultivo para *Bacillus subtilis* y *B. megaterium*

Se preparó 1000 ml de agar nutritivo (10 g) con extracto de carne (2.5 g) y se ajustó el pH a 7.2 con NaOH y HCl, posteriormente se calentó en baño María durante 30 minutos y después se colocó en la autoclave durante 30 minutos a una temperatura 122 °C y finalmente se colocaron en cajas Petri y se realizó la prueba de esterilidad.

b) Preparación de agua peptona

Se realizó una solución de agua peptona para acelerar la división celular de *Bacillus subtilis*. Se disolvieron 5 g de peptona en 1000 ml de solución de agua esterilizada, posteriormente se colocó en la autoclave durante 30 minutos a una temperatura 122 °C y finalmente se deja reposar 24 hrs.

c) Preparación de solución isotónica

Se realizó una solución de solución isotónica para acelerar la división celular de *Bacillus megaterium*. Se diluyeron 5 ml de solución salina de KCl en 1000 ml de solución de agua esterilizada, posteriormente se colocó en la autoclave durante 30 minutos a una temperatura 122 °C y finalmente se deja reposar 24 hrs.

4.2.3 Aislamiento y purificación de cepas

El aislamiento de las bacterias se realizó a través de diluciones en serie de las muestras de suelo colectadas para aislar *B. subtilis* y *B. megaterium*.

a) Aislamiento de *B. subtilis*

Se pesó 1 g de muestra de suelo y se diluyó en 9 ml de agua peptonada estéril. La solución fue agitada y homogenizada, y se dejó reposar para que los sólidos decantaran. De esta forma se obtuvo una dilución de 10^{-1} . Una vez obtenida la primera dilución, se realizó la dilución 10^{-2} , y así sucesivamente hasta llegar a la dilución 10^{-6} .

Una vez obtenidas las diluciones con agua peptonada estéril, se usaron las diluciones 10^{-1} , 10^{-3} , 10^{-4} , y 10^{-6} , para sembrar en cajas Petri con agar nutritivo y extracto de carne por duplicado y separado de cada dilución. Se tomó 1 ml de solución y se depositó en la caja Petri de forma

uniforme con la ayuda de un asa de Digralsky y mediante la técnica de estría cruzada por agotamiento en placa (Figura 07). Este mismo proceso se repitió con todas las diluciones.



Figura 07. Siembra de las cepas de *B. subtilis* en caja Petri

Posteriormente se selló la caja Petri y se colocó en una incubadora a una temperatura de 37 °C durante 24 h en posición invertida, seguido de siete días en posición normal a fin de que se desarrollen las colonias de *B. subtilis*. Paso el periodo de crecimiento de las colonias se realizó un conteo de unidades formadoras de colonias.

A fin de purificar la cepa se realizó nuevamente una siembra por la técnica de estría cruzada por agotamiento, tomando una muestra de la primera siembra de la cepa y colocando la muestra en una nueva caja Petri (Figura 08). Este mismo proceso se repitió seis veces más a fin de obtener un cultivo puro.



Figura 08. Purificación de cepas de *B. subtilis* en caja Petri

b) Aislamiento de *B. megaterium*

Se pesó 1 g de muestra de suelo y se diluyó en 9 ml de agua isotónica estéril. La solución fue agitada y homogenizada, y se dejó reposar para que los sólidos decantaran. De esta forma se obtuvo una dilución de 10^{-1} . Una vez obtenida la primera dilución, a partir de esta se realizó la dilución 10^{-2} , y así sucesivamente hasta llegar a la dilución 10^{-6} .

Una vez obtenidas las diluciones con agua isotónica estéril, se utilizaron las diluciones 10^{-1} , 10^{-3} , 10^{-4} , y 10^{-6} , para sembrar en cajas Petri con agar nutritivo y extracto de carne por duplicado y separado de cada dilución. Se tomó 1 ml de solución y se depositó en la caja Petri de forma uniforme con la ayuda de un asa de Digralsky y mediante la técnica de estría cruzada por agotamiento en placa (Figura 09). Este mismo proceso se repitió con todas las diluciones.



Figura 09. Siembra de *B. megaterium* en caja Petri

Posteriormente se selló la caja Petri y se colocó en una incubadora a una temperatura de 37 °C durante 24 h en posición invertida, seguido de siete días en posición normal a fin de que se desarrollen las colonias de *B. megaterium*. Posterior al periodo de crecimiento de las colonias se realizó un conteo de unidades formadoras de colonias.

A fin de purificar la cepa se realizó nuevamente una siembra por la técnica de estría cruzada por agotamiento, tomando una muestra de la primera siembra de la cepa y colocando la muestra en una nueva caja Petri (Figura 10). Este mismo proceso se repitió seis veces más a fin de obtener un cultivo puro.



Figura 10. Purificación de cepas de *B. megaterium* en caja Petri

4.2.4 Identificación de las cepas

La identificación de las cepas se realizó mediante la técnica de tinción de Gram para verificar que en las placas petri contenía bacterias gram (+) o (-) (Figura 11). La identificación del género y especie de bacteria se realizó con el apoyo de un laboratorio certificado, la que verifico por medio de DNA que efectivamente solo se tenían *B. subtilis* y *B. megaterium* en las cajas Petri purificadas correspondientes.



Figura 11. Identificación de cepas de *B. subtilis* y *B. megaterium* por tinción de Gram

4.2.5 Producción de los inoculantes

a) Producción del inoculante a base de *B. subtilis*

Para la producción del inoculantes se tomaron las cajas Petri puras de 1×10^7 UFC, y se colocó en 1000 ml solución agua destilada estéril que contenía 3 g de pro phos 00-20-00, 5 g de nitrogen 16-00-00 y 1 g de KMS 00-00-21.5. Se agito la solución por 24 horas y posteriormente se contabilizo las UFC, las cuales contuvieron 1×10^9 .

b) Producción del inoculante a base de *B. megaterium*

Para la producción del inoculantes se tomaron las cajas Petri puras de 1×10^7 UFC, y se colocó en 1000 ml solución agua destilada estéril que contenía 3 g de pro phos 00-20-00, 5 g de nitrogen 16-00-00 y 3 g de KMS 00-00-21.5. Se agito la solución por 24 horas y posteriormente se contabilizo las UFC, las cuales contuvieron 1×10^{11} .

4.3 Tratamientos

El material utilizado fueron las variedades de tomate Heirloom Purple calabash, Riñon Oaxaca y Purple Cherokee inoculadas con los aislados *B. megaterium* y *B. subtilis* solos o combinados, que fueron 1. *B. megaterium* al 100%, 2. *B. subtilis* al 100%, 3. *B. megaterium* (70%) + *B. subtilis* (30%), 4. *B. megaterium* (50%) + *B. subtilis* (50%). Adicionalmente se utilizaron los productos comerciales 5. Bactiva y 6. Bactishock como testigos. La dosis aplicada fueron 10 ml planta⁻¹ semanalmente (cuadro 11, Figura 12).

Cuadro 11. Dosis aplicado de los inoculantes

Inoculante	UFC	Dosis
<i>B. megaterium</i> al 100%	1×10^{11} UFC	10 ml planta ⁻¹
<i>B. subtilis</i> al 100%	1×10^9 UFC	10 ml planta ⁻¹
<i>B. megaterium</i> (70%)	1×10^7 UFC	10 ml planta ⁻¹
<i>B. subtilis</i> (30%)	1×10^4 UFC	
<i>B. megaterium</i> (50%)	1×10^6 UFC	10 ml planta ⁻¹
<i>B. subtilis</i> (50%)	1×10^6 UFC	
Bactiva (<i>T. harzianum</i> , <i>T. reesei</i> , <i>T. viride</i> , <i>Gliocladium virens</i> , <i>B. polymyxa</i> , <i>B.</i> <i>subtillis</i> , <i>B. megaterium</i> y <i>Pseudomonas</i> <i>fluorescens</i>)	1×10^8 UFC	10 ml planta ⁻¹
Bacistok (<i>B. thuringiensis</i>)	32 000 UIP/mp	10 ml planta ⁻¹



Figura 12. Aplicación manual de los tratamientos en invernadero

4.4 Diseño experimental

El experimento se llevó a cabo en un diseño completamente al azar con arreglo factorial AB, con tres repeticiones y unidad experimental de 12 plantas. Los factores fueron A) Variedad (Heirloom

Purple, Calabash, Riñon Oaxaca y Purple Cherokee) y B) Aislados (*B. megaterium* al 100%, *B. subtilis* al 100%, *B. megaterium* (70%) + *B. subtilis* (30%), *B. megaterium* (50%) + *B. subtilis* (50%), Bactiva y Bacistok, los cuales generaron un total de 18 tratamientos.

4.5 Establecimiento y manejo del cultivo

El establecimiento del experimento se realizó en un invernadero en primavera-verano del 2020. Las plántulas de tomate Heirloom fueron trasplantadas cuando presentaron 3 a 4 hojas verdades, el marco de plantación fue a una hilera con una distancia entre surco de 100 cm y una distancia entre planta de 30 cm.

Los riegos fueron aplicados a través de un sistema de riego por goteo cada tercer día, con una solución nutritiva (mmol L^{-1}) que contenía 15.0 de NO_3^- , 2.0 de H_2PO_4^- , 5.0 de SO_4^{2-} , 9.0 de K^+ , 10.0 de Ca^{+2} , 3.0 de Mg^{+2} y 0.5 de NH_4^+ . Los micronutrientes aportados fueron 5.0 mg L^{-1} de Blue Feed Micros, 3.2 mg L^{-1} de Fe EDDHA 6 %, 15.0 mg L^{-1} de Micro combo haifa y 7.9 ml L^{-1} de Quelamin B. El manejo cultural de las plantas fue acorde a los sistemas de producción de tomate de la región, con un sistema de conducción a un solo tallo.

4.6 Variables evaluadas

Las variables evaluadas fueron características de producción y calidad externa e interna de fruto. Los parámetros de producción fueron número de fruto por planta (Figura 13), peso de fruto (g) (Figura 14) y rendimiento total (g por planta) (Figura 15). El peso de fruto se realizó por planta con el apoyo de una báscula digital, cuando el fruto alcanzó la madurez fisiológica. Se contabilizó el número de frutos que produjo cada planta. El rendimiento total se estimó en base al peso de los frutos producidos de cada planta.



Figura 13. Cosecha y conteo de numero de frutos por planta



Figura 14. Pesaje de fruto



Figura 15. Cuantificación de rendimiento total

Los parámetros de calidad externa del fruto evaluados fueron diámetro polar (mm), diámetro ecuatorial (mm) y grado de madurez. El diámetro polar y ecuatorial se midió con un vernier digital (figura 16). El grado de madurez del fruto se determinó visualmente en base al color externa de los frutos, de acuerdo a los estados de madurez por Castro et al., (2009).



Figura 16. Medición de diámetro polar y ecuatorial de fruto

Las características internas evaluadas fueron: firmeza (kg cm^{-2}), grosor de pericarpio (mm), contenido de sólidos solubles ($^{\circ}\text{Brix}$), pH y acidez titulable (ml NaOH). La firmeza se cuantificó con un medidor de fuerza digital Chatillon DFE-50, realizando dos punciones en el pericarpio del fruto. El grosor se midió con un vernier digital de la región del pericarpio del fruto (Figura 17). El contenido de sólidos solubles se cuantificó con el apoyo de un refractómetro digital en una muestra del jugo de la pulpa del fruto (Figura 18). El pH se cuantificó con la ayuda de un potenciómetro de mesa en una muestra del jugo de la pulpa del fruto (figura 19). La acidez titulable se determinó por titulación del jugo filtrado con NaOH al 0.1 N, usando fenolftaleína al 1 % como indicador (figura 20).



Figura 17. Grosor de epicarpio



Figura 18. Determinación de contenido de solidos solubles



Figura 19. Medicion de pH



Figura 20. Cuantificación de Acidez titulable

4.7 Análisis estadístico

El experimento se analizó como un diseño completamente al azar con arreglo factorial, bajo el modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \epsilon_{ijk} \quad i= 1, \dots, a \quad j = 1, \dots, b \quad k = 1, \dots, c$$

Dónde:

Y_{ij} = variable de respuesta para la k-esima u.e. del nivel i del factor A y del nivel j del factor B.

μ = media general

α_i = efecto del Factor A en el nivel i-ésimo

β_j = efecto del Factor B en el nivel j-ésimo.

$\alpha\beta_{ij}$ = efecto de la interacción AB en los niveles i-ésimo y j-ésimo.

ε_{ijk} = Error experimental

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

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Parámetros de producción y calidad de fruto

El análisis de varianza muestra similitud de las variedades de tomate Heirloom en el rendimiento total de fruto, diámetro ecuatorial del fruto, grado de madurez y pH, donde estadísticamente no se tuvieron diferencias, en contraste, las demás variables evaluadas tuvieron diferencias estadísticas significativas y altamente significativas (Cuadro 12). La comparación de las cepas de *Bacillus* y su efecto en el rendimiento y calidad de los frutos, muestra que todas las variables fueron estadísticamente diferentes con excepción del grado de madurez de los frutos. En cuanto a la interacción de las variedades con la inoculación de las diferentes cepas de *Bacillus*, en nueve de las 11 las variables evaluadas se tuvieron diferencias altamente significativas al 0.1%. Las variables que se mantuvieron sin cambios fueron GM y pH.

Cuadro 12. Análisis de varianza de producción y calidad de frutos de tres variedades de tomate Heirloom inoculados con *Bacillus* comercial y endémicos de San Quintín Baja California en los primeros tres cortes.

Fuente de variación	PF (g)	NF (#)	RT (g planta ⁻¹)	DP (mm)	DE (mm)	GM	FF (kg cm ⁻²)	GP (mm)	CSS (°Brix)	pH	AT (ml NaOH)
Variedad (V)	**	**	NS	***	NS	NS	***	*	***	NS	**
Aislado (A)	***	***	***	***	***	**	***	***	***	***	***
V x F	***	***	***	***	***	NS	***	***	***	NS	***

Peso de fruto (PF), número de frutos (NF), Rendimiento total (RT), diámetro polar (DP), diámetro ecuatorial (DE), grado de madurez (GM), Firmeza de fruto (FF), grosor de pericarpio (GP), contenido de sólidos solubles (CSS), Acidez titulable (AT). No significativo (NS), significativo a un nivel del 5% (*), significativo a un nivel del 1% (**), significativo a un nivel del 0.1% (***).

5.1.1 Peso de fruto

La combinación de la variedad de tomate Heirloom y las cepas inoculadas de *Bacillus* presentaron diferentes respuestas en el peso de fruto (Figura 21). En la variedad Purple Calabash este parámetro no fue modificado por las distintas inoculaciones, presentando de forma general frutos de un peso promedio de 110 a 133 g. En la variedad Riñón Oaxaca, la inoculación individual con *B. megaterium* y en combinación con *B. subtilis* al 50% produjo frutos similares a los productos comerciales Bacistok y Bactiva, con pesos que oscilaron entre 144 y 150 g. En la variedad Purple Cherokee la inoculación individual de *B. megaterium* mostro respuesta similar a los productos comerciales, con pesos promedio entre 144 y 171 g.

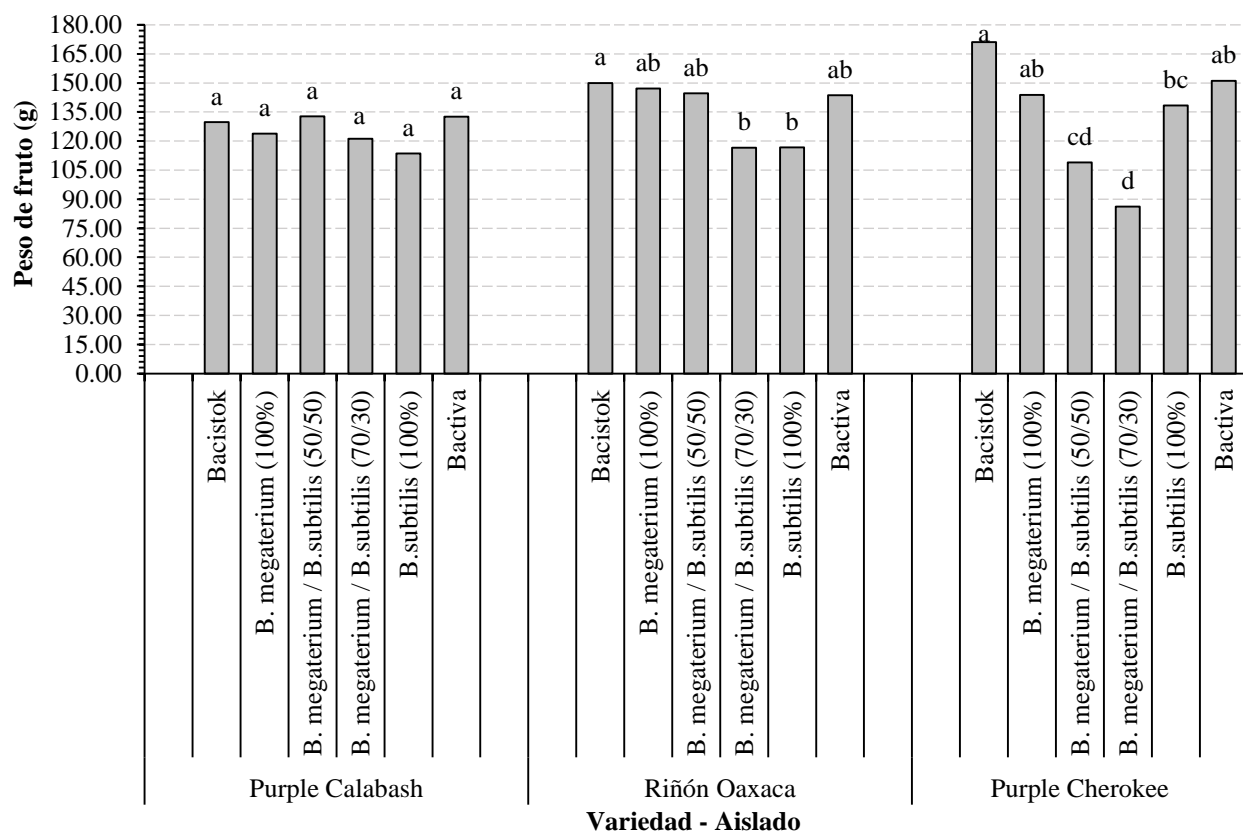


Figura 21. Peso de fruto (g) de tres variedades de tomate Heirloom inoculados con *Bacillus* comercial y endémicos de San Quintín Baja California.

5.1.2 Numero de frutos

La respuesta de las variedades Heirloom a las inoculaciones con las diferentes cepas de *Bacillus* (Figura 22), es evidente que la variedad de Riñon Oaxaca no muestra efecto a la mayoría de los inoculantes en cuanto al número de frutos por planta, pues únicamente el inoculante Bactiva afecto negativamente el número de frutos. En contraste, las variedades Purple Calabash y Purple Cherokee inoculados con los distintos aislados mostraron diferente respuesta. Las especies de *B. megaterium* al 100% y combinado con *B. subtilis* al 50%, generaron el mayor número de frutos por planta (10 frutos) en ambas variedades, con diferencias significativas con respecto a los productos comerciales (Bacistok y Bactiva), donde la producción fue de 3 a 6 frutos. Mientras que las demás combinaciones fueron numéricamente superiores a los comerciales.

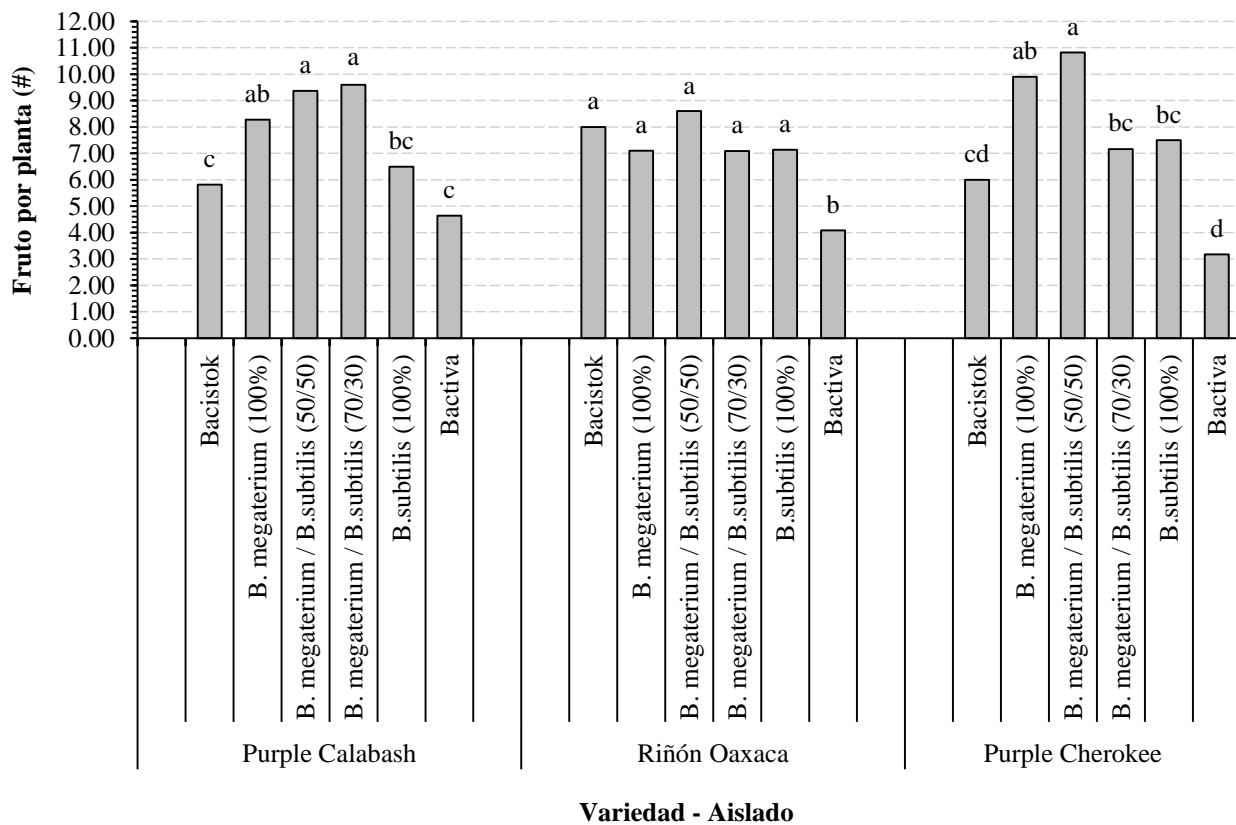


Figura 22. Numero de frutos por planta de tres variedades de tomate Heirloom inoculados con *Bacillus* comercial y endémicos de San Quintín Baja California.

5.1.3 Rendimiento de fruto

Las variedades de tomate Heirloom presentaron diferente respuesta a las aplicaciones de los inoculantes en el rendimiento de fruto total por planta (Figura 23), sin embargo, se mantiene la superioridad del inoculante *B. megaterium* de manera individual o combinado con *B. subtilis* al 50%, con una producción de 1000 a 1400 g por planta. En la variedad Purple Calabash, el empleo de inoculantes individuales (700 a 1000 g por planta) produjo respuestas similares a los inoculantes comerciales (Bacistok= 700 g, Bactiva 600 g). En la variedad Riñón Oaxaca, los resultados con mayor efecto, se tuvieron al emplear de manera única los inoculantes Bacistok, *B. megaterium*, y la combinación de *B. megaterium* y *B. subtilis* al 50%, con un rendimiento de 1000 a 1200 g por planta. Las demás combinaciones y de manera individual de *B. subtilis* y Bactiva, los resultados fueron con menor rendimiento. El comportamiento de la variedad Purple Cherokee, fue similar a la anterior, con la diferencia que *B. subtilis* de manera individual, el rendimiento fue superior e igual a la respuesta generada con Bacistok y *B. megaterium*, individual y combinados.

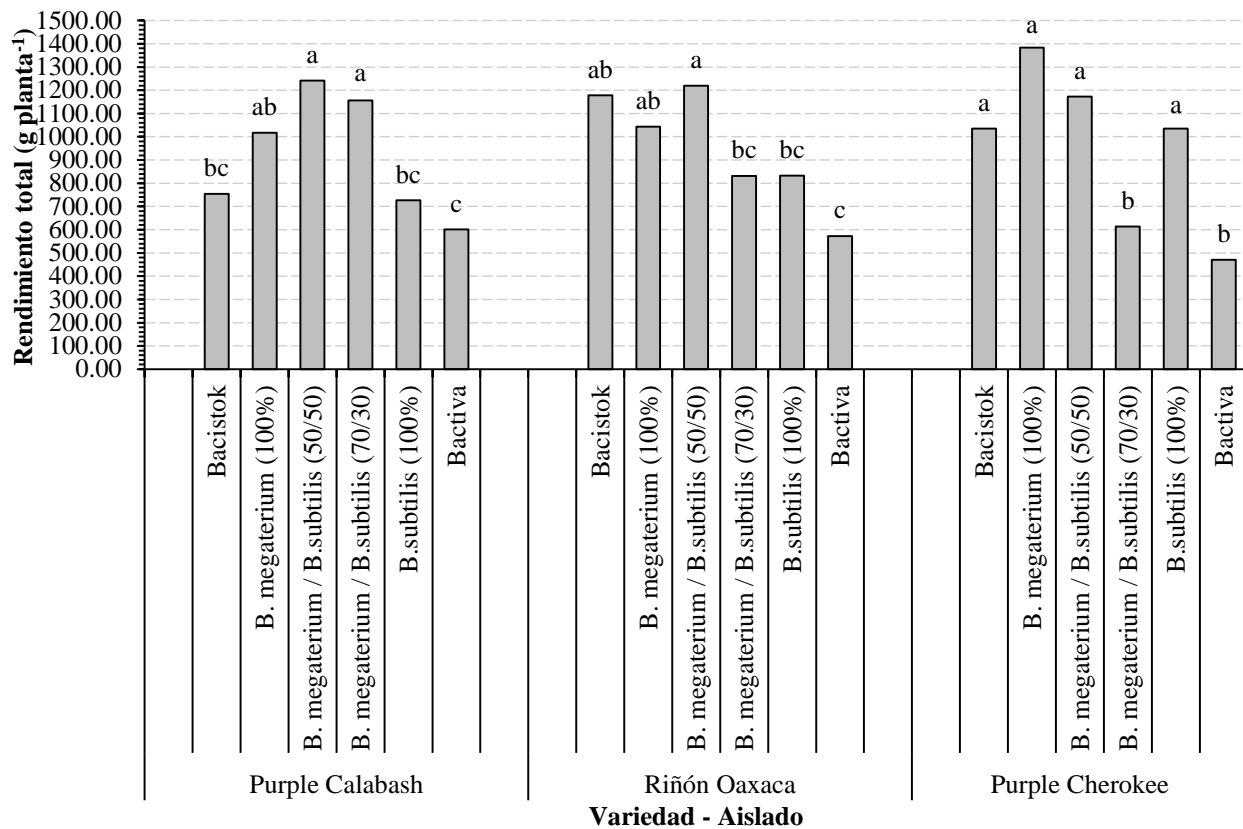


Figura 23. Rendimiento total (g planta⁻¹) de tres variedades de tomate Heirloom inoculados con *Bacillus* comercial y endémicos de San Quintín Baja California.

5.1.4 Diámetro polar del fruto

El diámetro polar del fruto en tomate por efecto de la inoculación de los microorganismos fue variable en las variedades (Figura 24). En la variedad Purple Calabash, no se tuvo respuesta significativa a la aplicación de los inoculantes, registrándose diámetros de 41.5 y 43.0 mm en los tratamientos de condición individual y combinada. En contraste, las variedades Riñón Oaxaca y Purple Cherokee presentaron diferentes respuestas. En la variedad Riñón Oaxaca la inoculación con *B. megaterium* individual y combinada con *B. subtilis* al 50% presentaron comportamiento similar al comercial Bacistok y Bactiva, con dimensiones entre 44.5 y 48.0 mm, mientras que el valor más bajo se obtuvo de la inoculación de *B. subtilis* individual.

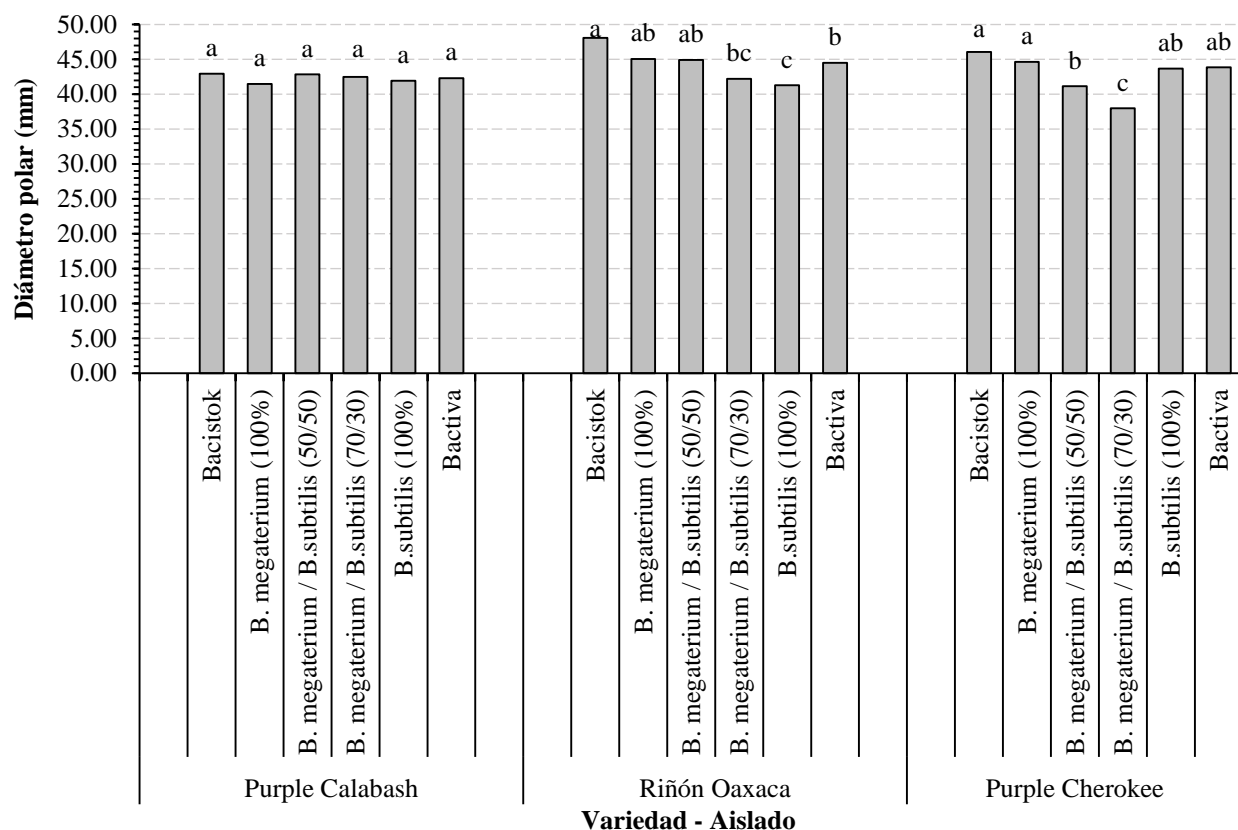


Figura 24. Diámetro polar de fruto (mm) de tres variedades de tomate Heirloom inoculados con *Bacillus* comercial y endémicos de San Quintín Baja California.

5.1.5 Diámetro ecuatorial del fruto

Las variaciones de los frutos en diámetro ecuatorial en respuesta a los inoculados de *Bacillus* en las diferentes variedades de tomate, mostraron un comportamiento similar al observado en el diámetro polar del fruto. La variedad Purple Calabash en todas las cepas inoculadas, mostro valores estadísticamente iguales con oscilaciones de 65.6 y 71.8 mm (Figura 25). Mientras que las variedades Riñón Oaxaca y Purple Cherokee mostraron diferente respuesta. En la variedad Riñón Oaxaca las inoculaciones con *B. megaterium* individual y combinada con *B. subtilis* al 50% presentaron comportamiento similar a los productos comercial Bacistok y Bactiva, con valores que oscilan de 67.7 a 72.3 mm, en donde, el mayor valor obtenido fue en la inoculación combinada. En la variedad Purple Cherokee los máximos diámetros fueron obtenidos al inocular *B. megaterium*

individual y el producto Bacistok, con valores entre 74.3 y 74.4 mm, seguido de *B. subtilis* individual y Bactiva, con valores entre 68.9 y 71.1 mm.

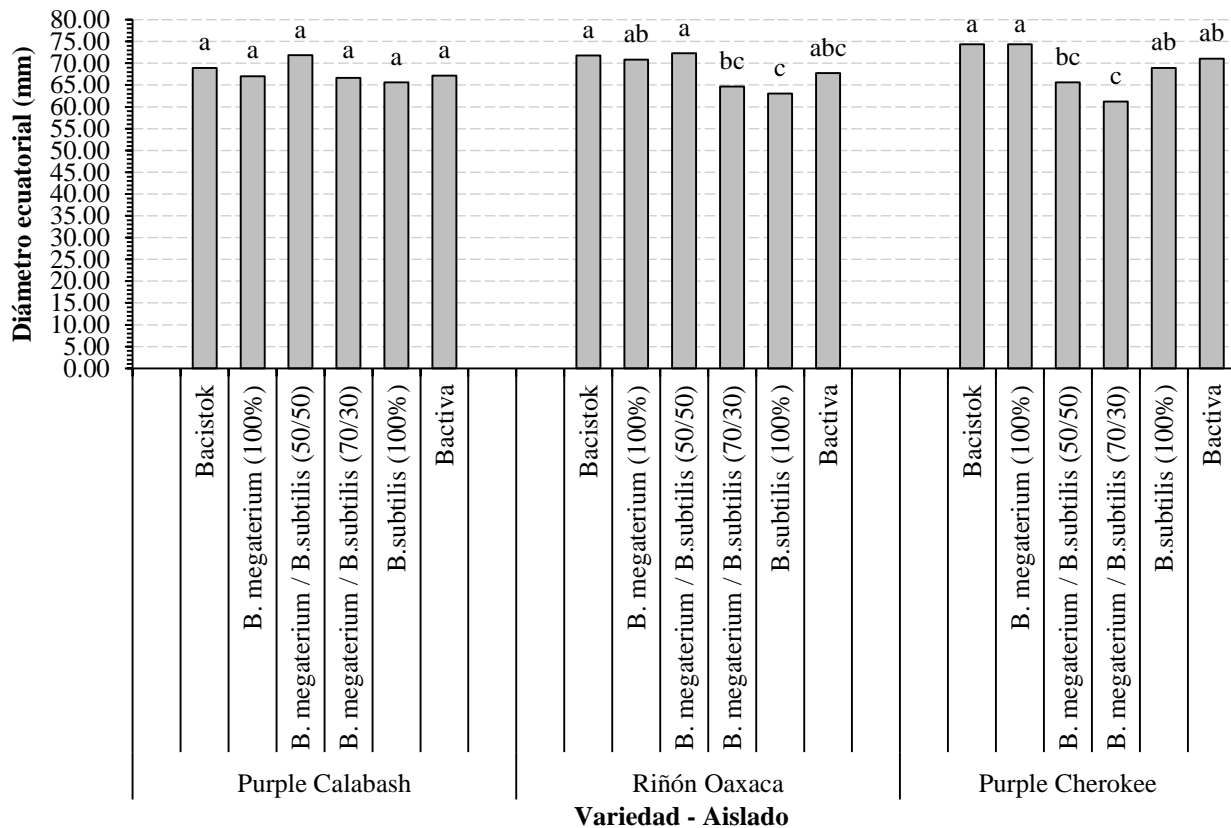


Figura 25. Diámetro ecuatorial de fruto (mm) de tres variedades de tomate Heirloom inoculados con *Bacillus* comercial y endémicos de San Quintín Baja California.

5.1.6 Grado de madurez del fruto

El grado de madurez del fruto, fue un parámetro ligeramente afectado por la inoculación de las cepas de *Bacillus* en las diferentes variedades de tomate. La inoculación de Bacistok y Bactiva, la madurez numéricamente fue menor con respecto a las demás cepas. En contraste, las inoculaciones con *B. megaterium* y *B. subtilis* en forma individual o combinada produjeron frutos de mayor grado de madurez (Figura 26). Estos resultados, permiten inferir que las cepas aisladas en la región aceleraron la madurez con relación a las cepas de productos comerciales.

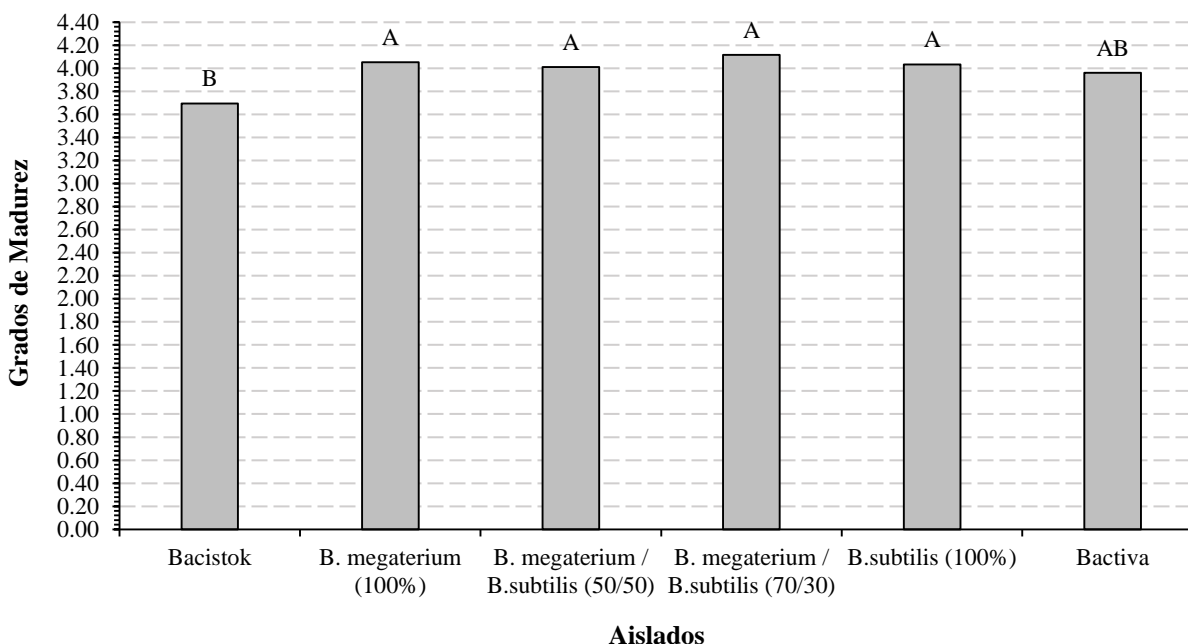


Figura 26. Grado de madurez de tomate Heirloom inoculados con *Bacillus* comercial y endémicos de San Quintín Baja California.

5.1.7 Firmeza del fruto

Este atributo del fruto fue variable en las diferentes variedades de tomate Heirloom con las distintas inoculaciones de cepas de *Bacillus* (Figura 27). En la variedad Purple Calabash y Riñon Oaxaca, las inoculaciones con *B. subtilis* de manera individual o combinada con *B. megaterium* (relación 50/50 y 30/70, respectivamente) inducen mayor firmeza en los frutos (valores entre 5.6 y 6.6 kg cm⁻²) que las inoculaciones con producto comercial Bacistok y Bactiva (valores ente 3.5 y 5 kg cm⁻²), mientras que la firmeza generada por la inoculación de *B. megaterium* fue similar a Bactiva y superior a Bacistok en ambas variedades. En la variedad Purple Cherokee la inoculación combinada de *B. megaterium* y *B. subtilis* (relación 70/30, respectivamente) fue superior a las inoculadas con los productos comerciales, con una firmeza de 6.1 kg cm⁻²), mientras que las cepas de *B. megaterium* y *B. subtilis* en forma individual presentaron respuesta similar que Bactiva y superior que Bacistok.

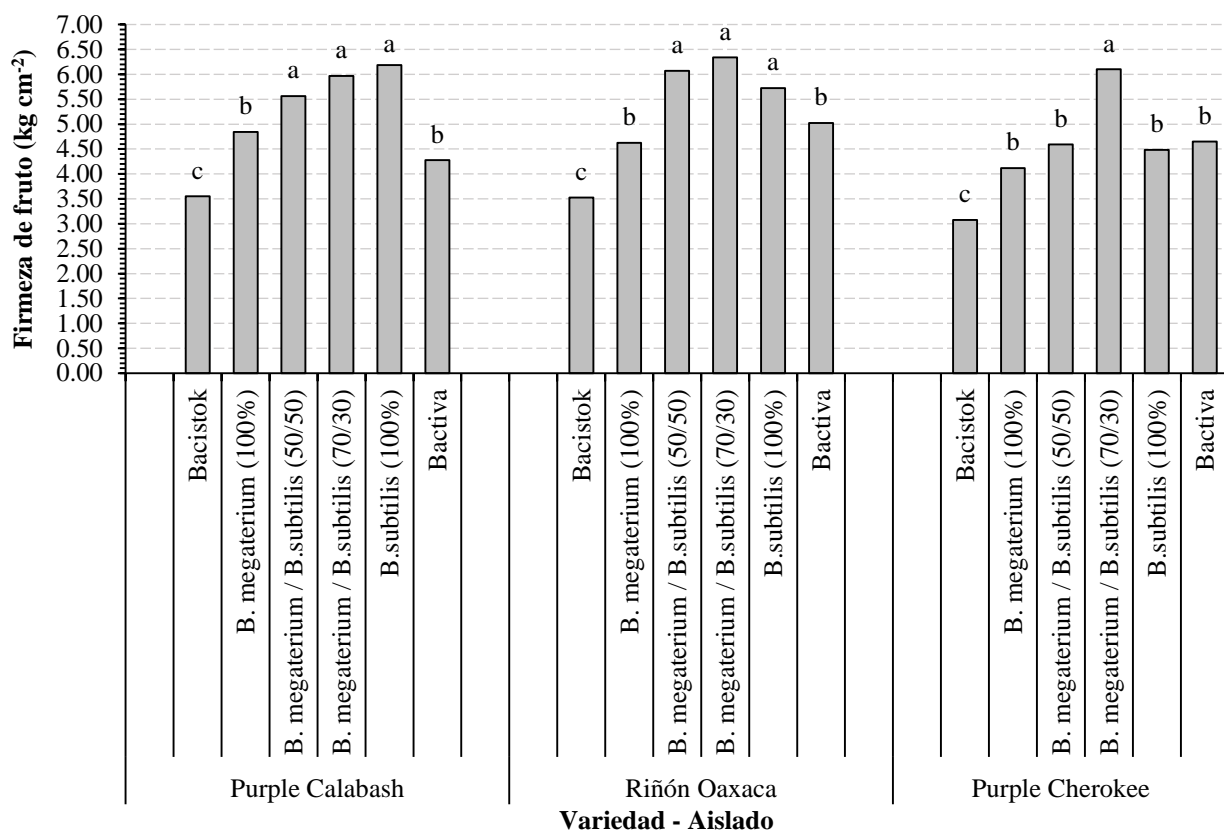


Figura 27. Firmeza del fruto (kg cm⁻²) de tomate Heirloom inoculados con *Bacillus* comercial y endémicos de San Quintín Baja California.

5.1.8 Grosor de pericarpio del fruto

En el grosor de pericarpio del fruto al relacionar los inoculantes en las tres variedades de tomate, es evidente la variación del grosor entre y dentro de las variedades Heirloom (Figura 28). En las variedades Purple Calabash y Riñón Oaxaca, las cepas individuales de *B. subtilis* y combinado con *B. megaterium* (relación 30/70, respectivamente) produjo un grosor similar de pericarpio del fruto que el inoculante comercial Bactiva, con valores entre 4.9 y 5.2 mm. En tanto que las mismas inoculaciones de los aislados, y las de *B. megaterium* sola o combinada con *B. subtilis* (relación 50/50) indujo mayor grosor de epicarpio que aquellos provenientes del comercial Bacistok. En la variedad Purple Cherokee, el mayor grosor se obtuvo de frutos provenientes de la combinación *B. megaterium* y *B. subtilis* (relación 70/30, respectivamente) y el comercial Bactiva,

con valores entre 5.1 y 5.5 mm. Mientras que el resto de los aislados indujeron mayor diámetro que el comercial Bacistok.

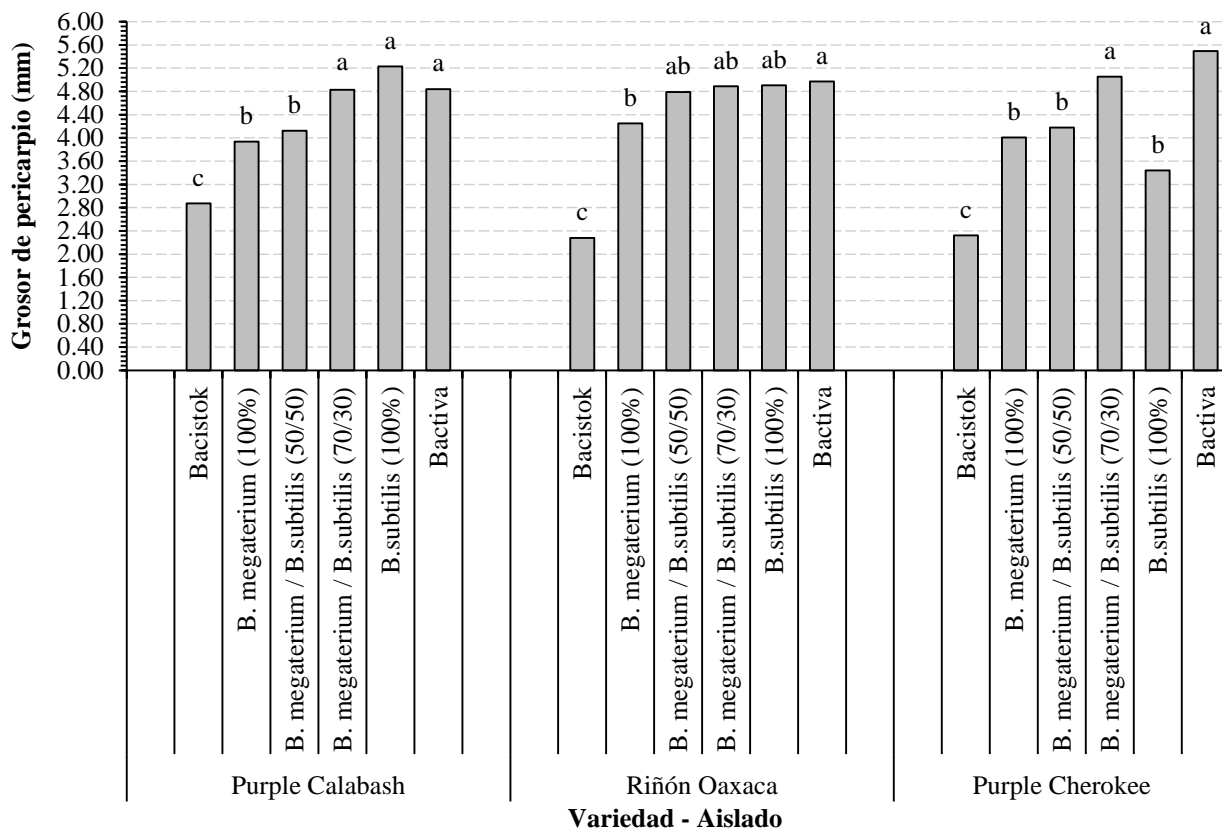


Figura 28. Grosor de pericarpio del fruto (mm) de tomate Heirloom inoculados con *Bacillus* comercial y endémicos de San Quintín Baja California.

5.1.9 Contenido de sólidos solubles en fruto

Las tres variedades de tomate Heirloom mostraron diferente respuesta a las aplicaciones de los inoculantes en el contenido de sólidos solubles del fruto (Figura 29), sin embargo la aplicación de los aislados *B. megaterium* y *B. subtilis* de forma individual o combinados indujeron un efecto superior o similar a los productos comerciales (Bacistok y Bactiva) en las tres variedades. En la variedad Purple Calabash los cuatro aislados de *Bacillus* produjeron frutos con contenido de sólidos solubles de 5.7 a 6 °Brix, valores superiores a los frutos provenientes de los inoculados con productos comerciales (de 4.6 a 5.1 °Brix). En la variedad Riñón Oaxaca las dos combinaciones

de *B. megaterium* y *B. subtilis* (50/50 y 70/30) presentaron contenidos de 6.0 °Brix, superando a los dos productos comerciales (4.8 a 5 °Brix), en tanto que los inoculados solos de *B. megaterium* y *B. subtilis* mostraron similar contenido en comparación con los productos comerciales. En la variedad Purple Cherokee la inoculación con *B. subtilis* de manera individual o combinado con *B. megaterium* (30/70, respectivamente) indujeron un mayor contenido de solidos solubles (5.5 a 5.8 °Brix) en comparación con los productos comerciales Bacistok y Bactiva (4.0 a 5.1 °Brix), en tanto que en el resto fue similar contenido al comercial Bacistok.

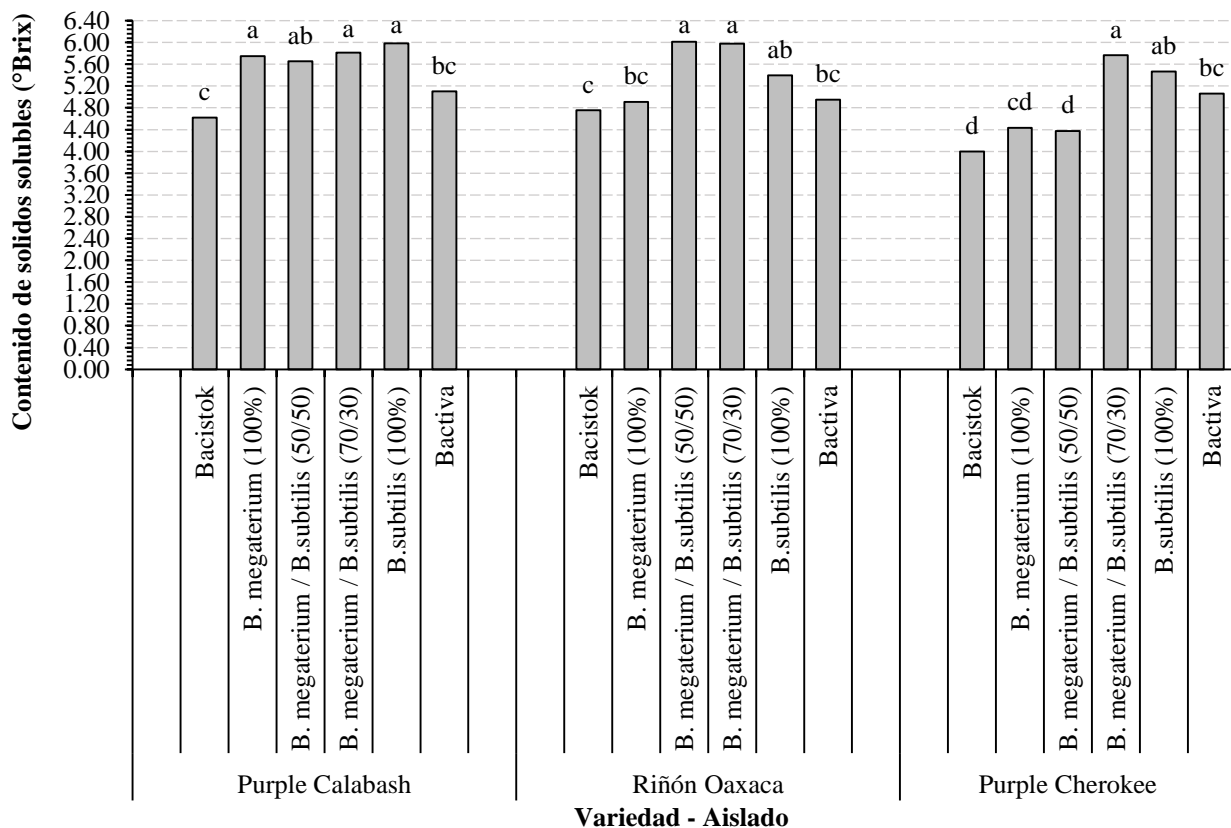


Figura 29. Contenido de solidos solubles del fruto (°Brix) de tomate Heirloom inoculados con *Bacillus* comercial y endémicos de San Quintín Baja California.

5.1.10 pH de fruto

En los frutos, el pH es un parámetro que se mantiene estable a las inoculaciones de *Bacillus*. Los resultados presentados en la Figura 30, muestran que los inoculantes Bacistok, *B. megaterium*

combinados con *B. subtilis* y en forma individual *B. subtilis* y Bactiva, estadísticamente son iguales con pH de mayor acidez con valores que varían de 3.75 a 3.83. El inoculante *B. megaterium* al 100%, fue el único inoculante que incremento el valor de pH, el cual registro un valor de 4.40.

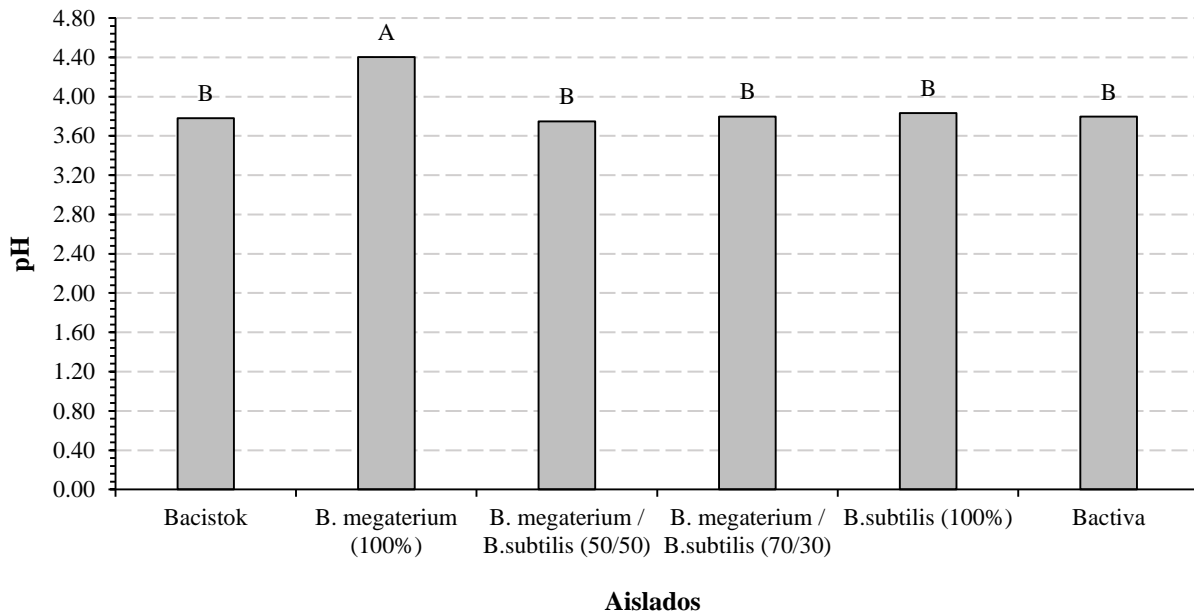


Figura 30. pH de fruto de tomate Heirloom inoculados con Bacillus comercial y endémicos de San Quintín Baja California.

5.1.11 Acidez titulable

La inoculación individual o combinada de los aislados *B. megaterium* y *B. subtilis* indujeron menor acidez titulable en los frutos de tomate heirloom de las tres variedades (Figura 31), con valores entre 2.2 a 3.3, en contraste, los productos comerciales (Bacistok y Bactiva) registraron valores de 4.0 a 4.9. Las variedades Purple Calabash y Purple Cherokee, tuvieron la menor acidez al emplear las combinaciones de *B. megaterium* y *B. subtilis* (50/50 y 70/30, respectivamente) con valores de 2.2 a 2.8, mientras que la variedad Riñón Oaxaca la registro al aplicar *B. megaterium* al 100% con un valor de acidez de 2.3.

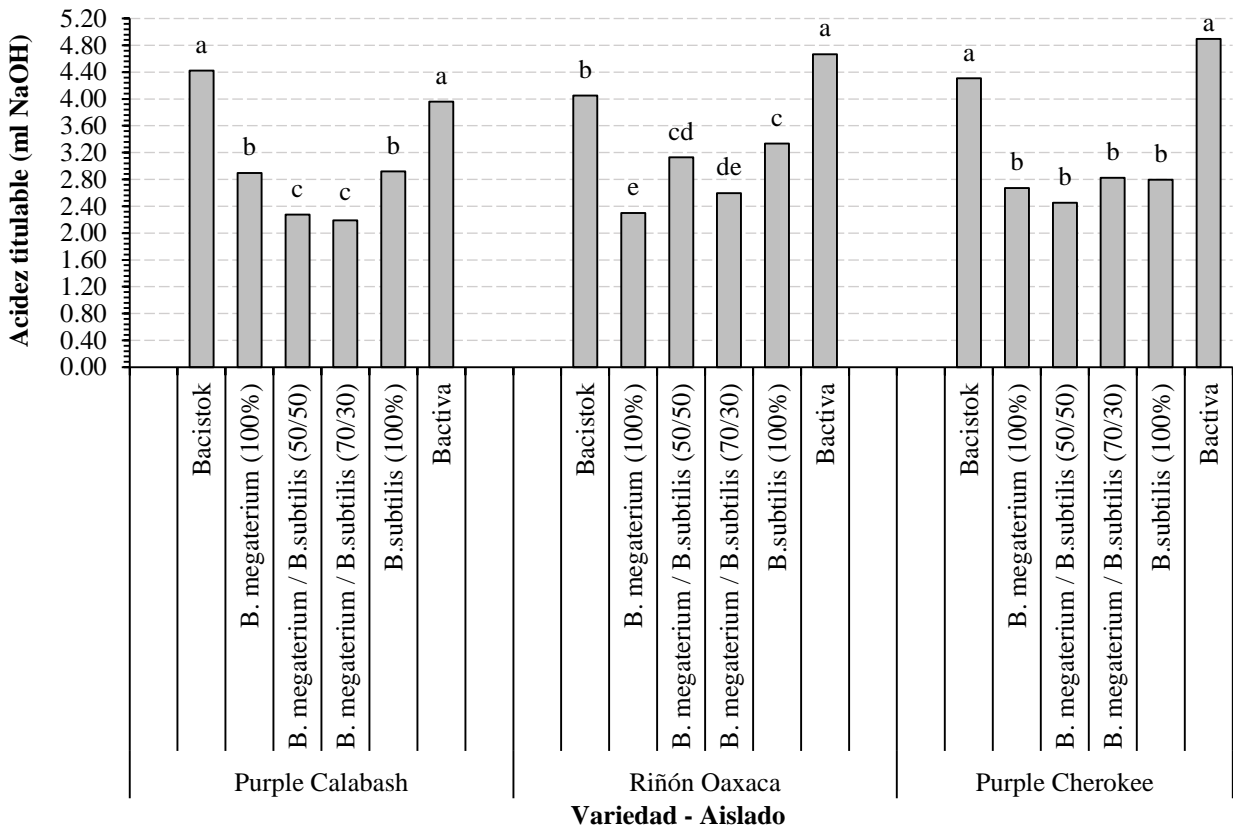


Figura 31. Acidez titulable (ml NaOH) del fruto de tomate Heirloom inoculados con Bacillus comercial y endémicos de San Quintín Baja California.

VI. CONCLUSIÓN

La respuesta productiva y calidad de las variedades de tomate Heirloom a la inoculación individual o combinada de *Bacillus megaterium* y *B. subtilis*, endémicas de San Quintín difirió en las tres variedades. En la variedad Purple Calabash, la inoculación de *B. megaterium* al 100% o combinado con *B. subtilis* al 50% favoreció el número de frutos, rendimiento total y contenido de sólidos solubles. En fruto, el peso, diámetro ecuatorial y polar, y grosor de pericarpio se mantiene sin efectos por la aplicación de productos inoculantes de productos comerciales (Bacistok y Bactiva). En la variedad Riñon Oaxaca la inoculación de *B. subtilis* al 100% y por las combinaciones con *B. megaterium* (50/50 y 30/70, respectivamente), favoreció la firmeza y contenido de sólidos solubles. En la variedad Purple Cherokee la inoculación de *B. megaterium* al 100% o combinado con *B. subtilis* al 50% favoreció el número de frutos, mientras que al inocular con *B. megaterium* (70%) + *B. subtilis* (30%) indujo mayor contenido de sólidos solubles y firmeza del fruto. El grado de madurez del fruto, fue un parámetro que se favoreció en las tres variedades al inocular individualmente o combinada con *B. megaterium* y *B. subtilis* endémicas de San Quintín, así como la reducción de la acidez titulable. El pH se mantuvo en los diferentes inoculaciones, con excepción de la inoculación con *B. megaterium* que indujo mayor contenido.

VII. LITERATURA CITADA

- Abadi, V. A. J. M., Sepehri, M., Rahmani, H. A., Dolatabad, H. K., Shamshiripour, M. and Khatabi, B. (2021). Diversity and abundance of culturable nitrogen-fixing bacteria in the phyllosphere of maize. *Journal of Applied Microbiology*, 131, 898-912.
- Akram, W., Aslam, H., Ahmad, S. R., Anjum, T., Yasin, N. A., Khan, W. U., Ahmad, A., Guo, J., Wu, T., Luo W. and Li, G. (2019) *Bacillus megaterium* strain A12 ameliorates salinity stress in tomato plants through multiple mechanisms. *Journal of Plant Interactions*, 14(1), 506-518.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. y Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. FAO Riego y Drenaje. Italia. 299 p.
- Alvarado-Carrillo, M., Díaz-Franco, A. y Hernández-Martínez, R. (2014). *Tecnología para producir tomate en casa malla para el norte de Tamaulipas*. Editorial INIFAP. México. 18 pp.
- Álvarez-Vera, M., Vázquez, J., Castillo, J., Tucta, F., Quispe, E. y Meza, V. (2018). Potencial de la flora de la provincia del Azuay (Ecuador) como fuente de microorganismos benéficos. *Scientia Agropecuaria*, 9(4), 561-568.
- Andrade, M. C., Silva, A. A. da, Conrado, T. V., Maluf, W. R., Andrade, T. M. and Oliveira, C. D. (2014). Combining ability of tomato lines in saladette-type hybrids. *Bragantia*, 73, 237-245.
- Avis, T. J., Gravel, V., Antoun, H. and Tweddell, R. J. (2008). Multifaceted beneficial effects of rhizosphere microorganisms on plant health and productivity. *Soil Biology & Biochemistry* 40, 1733-1740.
- Balderas-Ruíz, K. A., Gómez-Guerrero, C. I., Trujillo-Roldán, M. A., Valdez-Cruz, N. A., Aranda-Ocampo, S., Juárez, A. M. Leyva, E.; Galindo, E. and Serrano-Carreón, L. (2021). *Bacillus*

velezensis 83 increases productivity and quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.): Pre and postharvest assessment. *Current Research in Microbial Sciences*, 2, 100076.

Baudoin, A. (2017). *Manual Técnico de Producción de Tomate con Enfoque de Buenas Prácticas Agrícolas*. Editorial Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras. Bolivia.

Beris, D., Theologidis, I., Skandalis, N. and Vassilakos, N. (2018). *Bacillus amyloliquefaciens* strain MBI600 induces salicylic acid dependent resistance in tomato plants against tomato spotted wilt virus and potato virus Y. *Scientific Reports*, 8, 10320.

Berrospe-Ochoa, E. A., Saucedo-Veloz, C., Ramírez-Guzmán, M. E. y Saucedo-Reyes, D. (2018). Componentes del sabor y contenido de ácido ascórbico de jitomates (*Solanum lycopersicum* L.) nativos e híbridos comerciales. *Agrociencia*, 52(4), 623-638.

Bhatt, K. and Maheshwari, D. K. (2020). Zinc solubilizing bacteria (*Bacillus megaterium*) with multifarious plant growth promoting activities alleviates growth in *Capsicum annum* L. *3 Biotech*, 10, 36.

Boffelli, E. y Sirtori, G. (2020). *Los tomates: cultivo, cuidados y consejos prácticos*. Editorial De Vecchi S.A. Estados Unidos. 96 pp.

Bojacá C. y Monsalve O. (2012). *Manual de producción de pepino bajo invernadero*. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Colombia. 208 pp.

Bojacá, C. R., Villagran, E. A., Gil, R. y Franco, H. (2017). *El riego y la fertilización del cultivo del tomate. Guía técnica de campo*. Editorial Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Colombia. 64 pp.

Caguana, M. y Quindi, B. (2004). *Proceso de fertirrigación en el cultivo de tomate en invernadero*. Editorial Abya Yala. Ecuador. 91 pp.

Camacho-Ferre, F. (Coord). (2003). *Técnicas de producción en cultivos protegidos* (Tomo 2). Editorial Cajamar. España. 775 pp.

- Cano, M. A. (2011). Interacción de microorganismos benéficos en plantas: Micorrizas, *Trichoderma spp.* y *Pseudomonas spp.* *Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica*, 14(2), 15-31.
- Castellanos, J. Z. (2009). *Manual de producción de tomate en invernadero*. Editorial Intagri S. C. Mexico. 458 pp.
- Castresana, J. y Paz, R. (2019). *Manejo agroecológico del pulgón en cultivo de pimiento*. INTA Ediciones. Argentina. 16 pp.
- Cepeda-Siller, M. (2009). *El tomate rojo: cultivo y control parasitológico*. Editorial Trillas. México. 222 pp.
- Chamkhi, I., El-Omari, N., Balahbib, A., El-Menyiy, A., Benali, T. and Ghoulam, C. (2022). Is the rhizosphere a source of applicable multi-beneficial microorganisms for plant enhancement? *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(2), 1246-1259.
- Chandrasekaran, M., Chun, S. C., Oh, J. W., Paramasivan, M., Saini, R. K. and Sahayarayan, J. J. (2019). *Bacillus subtilis* CBR05 for tomato (*Solanum lycopersicum*) fruits in South Korea as a novel plant probiotic bacterium (PPB): implications from total phenolics, flavonoids, and carotenoids content for fruit quality. *Agronomy*, 9(12), 838.
- Chen, X., Huang, H., Zhang, S., Zhang, Y., Jiang, J., Qiu, Y., Liu, J. and Wang, A. (2021). *Bacillus velezensis* WZ-37, a new broad-spectrum biocontrol strain, promotes the growth of tomato seedlings. *Agriculture*, 11, 581.
- Choi, T. G., Maung, M. E. H., Lee, D. R., Henry, A. B., Lee, Y. S. and Kim, K. Y. (2020). Role of bacterial antagonists of fungal pathogens, *Bacillus thuringiensis* KYC and *Bacillus velezensis* CE 100 in control of root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* and subsequent growth promotion of tomato, *Biocontrol Science and Technology*, 30(7), 685-700.
- Constantino, L. V., Shimizu, G. D., Macera, R., Fukuji, A. S. S., Zeffa, D. M., Koltun, A. and Gonçalves, L. S. A. (2022). Genetic diversity and selection of heirloom tomato accessions based on the physical and biochemical fruit-related traits. *Bragantia*, 81, e1422.

- Cordoba-Novoa, H. A., Gómez, S. V. y Núñez, C. E. (2018). Evaluación del rendimiento y fenología de tres genotipos de tomate cherry (*Solanum lycopersicum* L.) bajo condiciones de invernadero. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(1), 113-125.
- Corrales-Ramírez, L. C., Caycedo-Lozano, L., Gómez-Méndez, M. A., Ramos-Rojas, S. J., Rodríguez-Torres, J. N. (2017). *Bacillus spp*: una alternativa para la promoción vegetal por dos caminos enzimáticos. *NOVA*, 15(27), 45-65.
- Djaya, L., Hersanti, Istifadah, N., Hartati, S. and Joni, I. M. (2019). In vitro study of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and endophytic bacteria antagonistic to *Ralstonia solanacearum* formulated with graphite and silica nano particles as a biocontrol delivery system (BDS). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 19, 101153.
- EEA-UPR (Estación Experimental Agrícola de la Universidad de Puerto Rico). (2021). *Conjunto tecnológico para la producción de tomate de ensalada*. Editorial La Estación Experimental Agrícola de la Universidad de Puerto Rico. Puerto Rico. 144 pp.
- Escobar H.; Lee R. (Eds.). (2009). Manual de producción de tomate bajo invernadero. Editorial Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá. 108 pp.
- FAO. (2022). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado el 14 de noviembre de 2022 de <https://www.fao.org/faostat/es/#data/FBS>
- Fasim, F., Ahmed, N., Parsons, R. and Gadd, J. M. (2002). Solubilization of zinc salts by a bacterium isolated from the air environment of a tannery. *FEMS Microbiology Letters*, 213(1), 1-6.
- Fernández-Rodríguez, R. y Camacho-Ferre, F. (2008). *Manual práctico de fertirrigación en riego por goteo*. Editorial Ediciones agrotécnicas. España. 176 pp.
- Flores, C., Buono, S. y Giorgini, S. (2012). *Enfermedades de tomate: guía de consulta*. Ediciones INTA. Argentina. 16 pp.
- García-Gutiérrez, C., Armenta-Bojórquez, D., Gaxiola-Castro, L. A., Vázquez-Montoya, N. y Acuña-Jiménez, M. (2020). Evaluación de insecticidas biorracionales y *Beauveria bassiana*

- (Vuill) para el control del gusano del fruto del tomate. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 17, 17-25.
- González, H. y Fuentes, N. (2017). Mecanismo de acción de cinco microorganismos promotores de crecimiento vegetal. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 34(1), 17-31.
- González-Rodríguez, G., Espinosa-Palomeque, B., Cano-Ríos, P., Moreno-Reséndez, A., Leos-Escobedo, L., Sánchez-Galván, H. y Sáenz Mata, J. (2018). Influencia de rizobacterias en la producción y calidad nutracéutica de tomate bajo condiciones de invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(2), 367-379.
- Goswami, D., Thakker, J. N. and Dhandhukia, P. C. (2016). Portraying mechanics of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): A review. *Cogent Food & Agriculture*, 2, 1127500.
- Harmanto, Salokhe, V. M., Babel, M. S. and Tantau, H. J. (2005). Water requirement of drip irrigated tomatoes grown in greenhouse in tropical environment. *Agricultural Water Management*, 71(3), 225-242.
- Hashem, A., Tabassum, B. and Allah, E. F. A. (2019). *Bacillus subtilis*: A plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(6), 1291-1297.
- Healy, G. K., Emerson, B. J. and Dawson J. C. (2017). Tomato variety trials for productivity and quality in organic hoop house versus open field management. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 32(6), 562-572.
- Hindersah, R., Setiawati, M. R., Asmiran, P., Fitriatin B. N. (2020). Formulation of *Bacillus* and *Azotobacter* consortia in liquid cultures: preliminary research on microbes-coated urea. *International Journal of Agriculture System*, 8(1), 1-10.
- Iglesia, N. (2015). *Tomate en invernadero: Estudios referidos a aspectos de ecofisiología de la producción forzada para las condiciones del norte de la Patagonia*. INTA. 68 pp.
- INIFAP-CIRNE (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias – Centro de Investigación Regional del Noreste). (2001). *Guía para la asistencia técnica agrícola*

área de influencia del campo experimental Ebano. Editorial Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México. 138 pp.

Jangir, M., Pathak, R., Sharma, S. and Sharm, S. (2018). Biocontrol mechanisms of *Bacillus sp.*, isolated from tomato rhizosphere, against *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. *Biological Control*, 123, 60-70.

Jasso-Chaverría, C., Martínez-Gamiño, M. A., Alpuche-Solís, A. G. y Garza-Urbina, E. (2011). *Guía para cultivar jitomate en condiciones hidropónicas de invernadero en San Luis Potosí*. Editorial Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México. 44 pp.

Jasso-Chaverría, C., Martínez-Gamiño, M. A., Chávez-Vázquez, J. R., Ramírez-Télles, J. A. y Garza, E. (2012). *Guía para cultivar jitomate en condiciones de malla sombra en San Luis Potosí*. Editorial Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México. 40 pp.

Joseph, H., Nink, E., McCarthy, A., Messer, E. and Cash, S. (2017). “The heirloom tomato is ‘in’ does it matter how it tastes?” *Food Culture and Society An International Journal of Multidisciplinary Research*, 20(2), 257-280.

Khalil, M. and Adbelghany, R. (2021). Effectiveness of some biotic and abiotic agents to control tomato early blight disease caused by *Alternaria solani*. *Egyptian Journal of Phytopathology*, 49(1), 114-128.

Koppert, (2023). Koppert. Recuperado el 3 de enero de 2023 de <https://www.koppert.mx/>

Kumar, L. R., Ndao, A., Valéro, J. and Tyagi, R. D. (2019). Production of *Bacillus thuringiensis* based biopesticide formulation using starch industry wastewater (SIW) as substrate: A techno-economic evaluation. *Bioresource Technology*, 294, 122144.

León, A., Pino, M. A., González, C. y del Pozo, E. (2000). Evaluación comparativa de densidades de fitófagos y enemigos naturales en policultivo tomate-maíz. *Cultivos Tropicales*, 21(1), 53-60.

- Lesur, L. (Coord). (2009). *Manual del cultivo de tomate: una guía paso a paso*. Editorial Trillas. México. 80 pp.
- Liu, X., Wang, X., Xu, T., Ma, H. and Xia, T. (2022). The combined application of γ -PGA-producing bacteria and biochar reduced the content of heavy metals and improved the quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 88938-88950.
- Lobo, C. B., Juárez-Tomás, M. S., Viruel, E., Ferrero, M. A. and Lucca, M. E. (2019). Development of low-cost formulations of plant growth-promoting bacteria to be used as inoculants in beneficial agricultural technologies. *Microbiological Research*, 219, 12-25.
- Lopes, R., Tsui, S., Gonçalves, P. J. R. O. and Queiroz, M. V. (2018). A look into a multifunctional toolbox: endophytic *Bacillus* species provide broad and underexploited benefits for plants. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 34, 94.
- López-Marín, L. M. (2017). *Manual técnico del cultivo de tomate (Solanum Lycopersicum)*. INTA. Costa Rica. 126 pp.
- Mahapatra, S., Yadav, R. and Ramakrishna W. (2022). *Bacillus subtilis* impact on plant growth, soil health and environment. *Journal of Applied Microbiology*, 132(5), 3543-3562.
- Martínez-Scott, M. M. (2017). Evaluación de cuatro genotipos de tomate Heirloom en producciones orgánicas en Invernadero. *Revista de Ingeniería Tecnológica*, 1(4), 59-67.
- Masood, S., Zhao, X.Q. and Shen, R. F. (2020). *Bacillus pumilus* promotes the growth and nitrogen uptake of tomato plants under nitrogen fertilization. *Scientia Horticulturae*, 272, 109581.
- Meena, V. S., Maurya, B. R., Meena, S. K., Meena, R. K., Kumar, A. and Singh, N. P. (2017). Can *Bacillus* species enhance nutrient availability in agricultural soils? In M. Islam, M. Rahman, P. Pandey, C. Jha and A. Aeron. (Eds). *Bacilli and Agrobiotechnology*. (pp. 367-395). Springer, Cham.
- Meena, V. S., Maurya, B. R. and Verma, J. P. (2014). Does a rhizospheric microorganism enhance K^+ availability in agricultural soils? *Microbiological Research*, 169, 337-347.

- Mendoza-Pérez, C., Ramírez-Ayala, C., Martínez-Ruiz, A., Rubiños-Panta, J. E., Trejo, C. y Vargas-Orozco, A. G. (2018). Efecto de número de tallos en la producción y calidad de jitomate cultivado en invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(2), 355-366.
- Miljakovic, D., Marinkovic, J. and Balešević-Tubić, S. (2020). The significance of *Bacillus spp.* in disease suppression and growth promotion of field and vegetable crops. *Microorganisms*, 8(7), 1037.
- Mumtaz, M. Z., Ahmad, M., Jamil, M. and Hussain, T. (2017). Zinc solubilizing *Bacillus spp.* potential candidates for biofortification in maize. *Microbiological Research*, 202, 51-60.
- Myo, E. M., Liu, B., Ma, J., Shi, L., Jiang, M., Zhang, K. and Ge, B. (2019). Evaluation of *Bacillus velezensis* NKG-2 for bio-control activities against fungal diseases and potential plant growth promotion. *Biological Control*, 134, 23-31.
- Nitu, R., Rajinder, K. and Sukhminderjit, K. (2020). Zinc solubilizing bacteria to augment soil fertility –a comprehensive review. *International Journal of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine*, 8(1), 38-44
- Nuez, F (Coord.). (2001). *El cultivo del tomate*. Mundi-Prensa, España. 793 pp.
- Pande, A., Pandey, P., Mehra, S., Singh, M. and Kaushik, S. (2017). Phenotypic and genotypic characterization of phosphate solubilizing bacteria and their efficiency on the growth of maize. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 15(2), 379-391.
- Pérez-Grajales, M. y Castro-Brindis, R. (2011). *Jitomate en invernadero*. Editorial Universidad Autónoma de Chapingo. México. 133 pp.
- Pishchik, V. N., Vorobyev, N. I., Ostankova, Y. V., Semenov, A. V., Areg, A. T., Popov, A. A., Khomyakov, Y. V., Udalova, O. R., Shibanov, D. V., Vertebny, V. E., Dubovitskaya, V. I., Sviridova, O. V., Walsh, O. S. and Shafian, S. (2018). Impact of *Bacillus subtilis* on tomato plants growth and some biochemical characteristics under combined application with humic fertilizer. *International Journal of Plant & Soil Science*. 22, 1-12.

- Prema, G., Indires, K. M. and Santhosha, H. M. (2011). Evaluation of cherry tomato (*Solanum lycopersicum* var. *Cerasiforme*) genotypes for growth, yield and quality traits. *The Asian Journal of Horticulture*, 6 (1), 181-184.
- Quián-Torres, A., Beltrán-Morales, F. A., Alvarado-Quiroz, L. A., Arce-Aguilar, A. A., Chávez-Lucero, R. E., Rendon-Martínez, R. A., Duarte-Ruiz, K., Hernández-Santiago, A., Sandoval-león, F. y Rojas-Fonsceca, G. (2019). Poder Antioxidante de cinco variedades de tomate (*Solanum Lycopersicum* L.). XXI Congreso Internacional en Ciencias, Mexicali B.C.
- Radhakrishnan, R., Hashem, A. and Allah, E. F. A. (2017). Bacillus: A biological tool for crop improvement through bio-molecular changes in adverse environments. *Frontiers in Physiology*, 8, 667.
- Raji, M. and Thangavelu, M. (2021). Isolation and screening of potassium solubilizing bacteria from saxicolous habitat and their impact on tomato growth in different soil types. *Archives of Microbiology*, 203, 3147-3161.
- Ramírez-Gómez, M., Santamaria-Cesar, E., Méndez-Rivera, J. S., Ríos-Flores, J. L., Hernández-Salgado, J. R. y Pedro-Méndez, J. G. (2008). Evaluación de insecticidas alternativos para el control de paratíozoa (*Bactericera cockerelli* B.y L.) (homoptera: triozidae) en el cultivo de chile jalapeño (*Capsicum annum* L.). *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 3(1), 47-56.
- Rashid, M. H. A., Rahman, M. F., Karim, M. R., Saha, R. and Hossain, M. I. (2022). Improving growth, yield and quality of cherry tomato (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*) using staking and mixed fertilization. *Journal of Agriculture, Food and Environment*, 3(3), 77-85.
- Riseh, R. S., Hassanisaadi, M., Vatankhah, M., Soroush, F. and Varma, R. S. (2022). Nano/microencapsulation of plant biocontrol agents by chitosan, alginate, and other important biopolymers as a novel strategy for alleviating plant biotic stresses. *International Journal of Biological Macromolecules*, 222, 1589-1604.

- Rodríguez-Rodríguez, R., Tabares-Rodríguez, J. M. y Medina San Juan, J. A. (1997). *Cultivo moderno del tomate*. Mundi-Prensa. España. 255 pp.
- Samaras, A., Roumeliotis, E., Ntasiou, P. and Karaoglanidis, G. (2021). *Bacillus subtilis* MBI600 promotes growth of tomato plants and induces systemic resistance contributing to the control of soilborne pathogens. *Plants*, 10(6), 1113.
- Sarabia-Ochoa, M., Madrigal-Pedraza, R., Martínez-Trujillo, M. y Carreón-Abud, Y. (2010). Plantas, hongos micorrízicos y bacterias: su compleja red de interacciones. *Biológicas*, 12(1), 65-71.
- Saravanan, V. S., Subramoniam, S. R. and Raj, S. A. (2003). Assessing in vitro solubilization potential of different zinc solubilizing bacterial (zsb) isolates. *Brazilian Journal of Microbiology*, 34, 121-125.
- Saxena, A. K., Kumar, M., Chakdar, H., Anuroopa, N. and Bagyaraj, D. J. (2019). *Bacillus* species in soil as a natural resource for plant health and nutrition. *Journal of Applied Microbiology*, 128(6), 1583-1594.
- Shafi, J., Tian, H. and Ji, M. (2017). *Bacillus* species as versatile weapons for plant pathogens: a review. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 31(3), 446-459
- Sharma, S. B., Sayyed, R. Z., Trivedi, M. H. and Gobi, T. A. (2013). Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. *SpringerPlus*, 2, 587.
- SIAP. (2022). Servicio de Informacion Agroalimentaria y Pesquera. Recuperado el 14 de noviembre de 2022 de <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Singh, R. K., Singh, P., Li, H. B., Song, Q. Q., Guo, D. J., Solanki, M. K., Verma, K. K., Malviya, M. K., Song, X. P., Lakshmanan, P., Yang, L. T. and Li, Y. R. 2020. Diversity of nitrogen-fixing rhizobacteria associated with sugarcane: a comprehensive study of plant-microbe interactions for growth enhancement in *Saccharum spp.* *BMC Plant Biology*, 20, 220.

- Stamenković, S., Beškoski, V., Karabegović, I., Lazić, M. and Nikolić, N. (2018). Microbial fertilizers: A comprehensive review of current findings and future perspectives. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 16(1), e09R01.
- Stojanović, S. S., Karabegović, I., Beškoski, V., Nikolić, N. and Lazić, M. (2019). Bacillus based microbial formulations: Optimization of the production process. *Hemijska industrija*, 73(3), 169-182.
- Tahir, H. A. S., Gu, Q., Wu, H., Raza, W., Hanif, A., Wu, L., Colman, M. V. and Gao, X. (2017). Plant growth promotion by volatile organic compounds produced by *Bacillus subtilis* SYST2. *Frontiers in Microbiology*, 8, 171.
- Terry E. A., Leyva, A. y Hernández, A. (2005). Microorganismos benéficos como biofertilizantes eficientes para el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill). *Revista Colombiana de Biotecnología*, 7(2), 47-54.
- Tiwari, S., Prasad, V. and Lata, C. (2019). Bacillus: Plant growth promoting bacteria for sustainable agriculture and environment. In J. S. Singh and D. P. Singh (Eds). *New and future developments in microbial biotechnology and bioengineering*. (pp. 43-55). Elsevier.
- Ubaque-López, H. y Parrado, C.A. (2004). *Buenas prácticas agrícolas en sistemas de producción de tomate bajo invernadero*. Editorial Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Colombia. 36 pp.
- UC-IPM (University of California Statewide IPM Program). (2023). Agriculture: Pest Management Guidelines. Recuperado el 5 de enero de 2023 de <https://ipm.ucanr.edu/agriculture/tomato>
- USDA. (2022). Agricultural marketing service, National Retail Report. Recuperado el 14 de noviembre de 2022 de <https://marketnews.usda.gov/mnp/fv-report-retail?&commodity=0&repDate=01%2F01%2F2020&repType=wiz&endDate=12%2F31%2F2020&run=&type=termPrice&compareLy=No&locChoose=&portal=fv&commodityClass=®ion=0&class=0&organic=0&startIndex=7001>.

- Valdés-Gómez, H., Ortega-Farías, S. and Argote, M. (2009). Evaluation of water requirements for a greenhouse tomato crop using the Priestley-Taylor method. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 69(1), 3-11.
- Valenzuela-Escoboza, F. A., Bautista-Martínez, N., Lomeli-Flores, J. R., Valdez-Carrasco, J. M., Cortez-Mondaca, E. y Palacios-Torres, R. E. (2010). Identificación y fluctuación poblacional del minador de la hoja *Liriomyza trifolii* en Chile jalapeño en el norte de Sinaloa. *Acta zoológica mexicana*, 26(3), 585-601.
- Velasco-Hernández, E., Nieto-Angel, R., Navarro-López, E. R. (2012). *Cultivo de tomate en hidroponía e invernadero*. Editorial Mundi-Prensa. México. 126 pp.
- Viera-Arroyo, W. F. (2020). Rol de los microorganismos benéficos en la agricultura sustentable. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 8(2), 67-68.
- Villasanti, C. (2013). *El Cultivo de Tomate con Buenas Prácticas Agrícolas en la Agricultura Urbana y Periurbana*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Paraguay. 70 pp.
- Wang, H., Shi, Y., Wang, D., Yao, Z., Wang, Y., Liu, J., Zhang, S. and Wang, A. A. (2018). Biocontrol strain of *Bacillus subtilis* WXCDD105 used to control tomato *Botrytis cinerea* and *Cladosporium fulvum* Cooke and promote the growth of seedlings. *International Journal of Molecular Sciences*, 19, 1371.
- Yadav, A. N. (2022). Potassium-solubilizing microorganisms for agricultural sustainability. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*, 10(05), 1-4.
- Yagmur, B. and Gunes, A. (2021). Evaluation of the effects of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield and quality parameters of tomato plants in organic agriculture by principal component analysis (PCA). *Gesunde Pflanzen*, 73, 219-228.
- Yan, Y., Xu, W., Hu, Y., Tian, R. and Wang, Z. (2022). *Bacillus velezensis* YYC promotes tomato growth and induces resistance against bacterial wilt. *Biological Control*, 172, 104977.

- Yoo, S. -J., Kim, J. W., Kim, S. T., Weon, H. -Y., Song, J. and Sang, M. K. (2019). Effect of *Bacillus mesonae* H20-5 on fruit yields and quality in protected cultivation. *Research in plant disease*, 25(2), 84-88.
- Yuan, B. -Z., Kang, Y. and Nishiyama, S. (2001). Drip irrigation scheduling for tomatoes in unheated greenhouse. *Irrigation Science*, 20: 149-154.
- Zhou C., Zhu, L., Guo, J., Xiao, X., Ma, Z. and Wang, J. (2019). *Bacillus subtilis* STU6 ameliorates iron deficiency in tomato by enhancement of polyamine-mediated iron remobilization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(1), 320-330.
- Zhou, Z., Chang, N., Lv, Y., Jiang, H., Yao, C., Wan, X., Li, Y. and Zhang, X. (2022). K-solubilizing bacteria (*Bacillus*) promote theanine synthesis in tea roots (*Camellia sinensis*) by activating CsTSI activity. *Tree Physiology*, 42(8), 1613-1627.
- Zolezzi, M. y Abarca, P. (Coord.). (2017). *Manual de cultivo del tomate al aire libre*. Editorial Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Chile. 94 pp.