

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
COLEGIO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**



T E S I S

**RELACIÓN ENTRE LA NUTRICIÓN EN TOMATE
(*Solanum lycopersicum*)
Y LA SEVERIDAD DE LA FUSARIOSIS VASCULAR**

**QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**PRESENTA:
DANIEL MENDOZA MEDRANO**

**DIRECTOR:
DR. CARLOS ALFONSO LÓPEZ ORONA**

**CO-DIRECTOR:
DR. JOSÉ ÁNGEL MARTÍNEZ GALLARDO**

CULIACÁN DE ROSALES, SINALOA, JUNIO DE 2023

LA PRESENTE TESIS TITULADA “**RELACIÓN ENTRE LA NUTRICIÓN EN TOMATE (*Solanum lycopersicum*) Y LA SEVERIDAD DE LA FUSARIOSIS VASCULAR**” FUE REALIZADA POR **DANIEL MENDOZA MEDRANO**, BAJO LA DIRECCIÓN DEL CONSEJO PARTICULAR QUE SE INDICA, HA SIDO **APROBADA** POR EL MISMO, Y **ACEPTADA** COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

CONSEJO PARTICULAR

DIRECTOR:

DR. CARLOS ALFONSO LÓPEZ ORONA

CO-DIRECTOR:

DR. JOSÉ ÁNGEL MARTÍNEZ GALLARDO

ASESOR:

DR. GUADALUPE ALFONSO LÓPEZ URQUÍDEZ

ASESOR:

DR. AZAREEL ANGULO CASTRO

ASESORA:


DRA. JOSEFINA LEÓN FÉLIX

Culiacán, Sinaloa, junio de 2023

DEDICATORIA

A **Dios** principalmente porque es el ser supremo que me dio la vida y me permitió culminar mis estudios.

A MIS PADRES

José Daniel Mendoza Santos  y **Gloria Alicia Medrano Cervantes**, quienes me han dado su apoyo incondicional en los mejores y peores momentos de mi vida. Quienes, sin escatimar esfuerzo alguno, han sacrificado gran parte de su vida para formarme y educarme. Son las personas en la que su ilusión en la vida, ha sido convertirme en persona de provecho. A ellas nunca podré pagar todos sus desvelos ni aún con las riquezas más grandes del mundo. Sabiendo que jamás existirá una forma de agradecer en esta vida de lucha y superación constante, deseo expresarles que mis ideales, esfuerzos y logros, han sido también suyos, y constituye el legado más grande que pudiera recibir con cariño, admiración y respeto. ¡Gracias!

A MIS HERMANOS

Danyela Alicia Mendoza Medrano, Alexis Junyent Mendoza Medrano, Gloridiana Mendoza Medrano, Brisa Nazali Mendoza Medrano y María Julieta Mendoza Medrano, por brindarme ánimos y asesoría para lograr culminar mis créditos y mis proyectos que me propuse para la elaboración de la tesis en el Doctorado en Ciencias Agropecuarias.

AGRADECIMIENTOS

A la ALMA MATER, la Universidad Autónoma de Sinaloa, al Colegio de Ciencias Agropecuarias, y la Facultad de Agronomía la gran casa, por darme la oportunidad de realizar mis estudios y colaborar con una meta más de superación profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por proporcionarme el apoyo de beca para poder realizar los proyectos de investigación y los estudios de posgrado.

A MIS PROFESORES

Al **Dr. Carlos Alfonso López Orona** por haberme aceptado como su alumno, compañero, amigo y tesista, brindarme todo el apoyo, tiempo, conocimientos y dedicación para culminar los créditos, objetivos y metas que me propuse.

Al **Dr. Guadalupe Alfonso López Urquidez** por aceptarme en como su alumno en el doctorado, darme las herramientas necesarias para poder culminar mi tesis en todos los aspectos, darme los mejores consejos de vida, prepararme tanto en el ámbito profesional y personal.

Al **Dr. José Ángel Martínez Gallardo** por su gran apoyo profesional, moral y ético para poder culminar mis estudios de doctorado.

Al **Dr. Azareel Angulo Castro** por su enorme amistad que me entregó, un gran conocimiento laboral, práctico y su gran experiencia didáctica para la obtención de resultados para la elaboración de artículos científicos.

A la **Dra. Josefina León Félix** por enseñarme nuevas técnicas en el ámbito agrícola en el procesamiento de resultados los cuales me ayudaron a obtener grandes resultados para mi persona y la elaboración de la tesis doctoral.

A mis amigos: Dr. Tomás Aarón Vega Gutiérrez, Dr. Martín Abraham Tirado Ramírez, amigos cercanos tanto laboral como social por ser una de las piezas claves para seguir adelante en los pasos que daba y ayudarme a levantar cuando me sentía derrotado y por su compañía en los cuatro años de posgrado.

Les entrego una enorme gratitud a todos.....

CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS -----	vi
ÍNDICE DE FIGURAS -----	vii
RESUMEN -----	viii
ABSTRACT -----	ix
I. INTRODUCCIÓN -----	1
II. JUSTIFICACIÓN -----	8
III. HIPÓTESIS -----	9
IV. OBJETIVO GENERAL -----	9
4.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS -----	9
V. REVISIÓN DE LITERATURA -----	10
5.1. Importancia del cultivo de tomate -----	10
5.1.2. Producción del tomate a nivel nacional -----	11
5.2. Clasificación taxonómica -----	11
5.3. Requerimientos edafoclimáticos -----	12
5.4. Patógenos en el cultivo de tomate -----	13
5.5. <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> (FOL) -----	14
5.5.1. Características morfológicas de <i>Fusarium oxysporum</i> -----	15
5.6. Soluciones nutritivas -----	17
5.7. El Nitrógeno en las plantas -----	19
5.8. El fósforo en las plantas -----	20
5.9. El Calcio en las plantas -----	21
5.10. El potasio en las plantas -----	23
5.11. Proteínas anti fúngicas -----	24
5.12. Enzimas en las plantas -----	27
VI. MATERIALES Y MÉTODOS -----	29
6.1. Área de estudio-----	29
6.2. Aislamiento de cultivos monospóricos <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> (FOL)	29

6.3. Identificación morfológica-----	30
6.4. Purificación de las cepas de (FOL)-----	30
6.5. Extracción de ADN de cultivos monospóricos-----	31
6.6. Siembra del cultivo de tomate-----	31
6.7. Solución nutritiva-----	32
6.8. Inoculación-----	33
6.9. Trasplante-----	33
6.10. Análisis foliar-----	34
6.11. Severidad de la enfermedad-----	35
6.12. Diseño experimental-----	36
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN -----	38
7.1. Severidad de la enfermedad -----	38
7.2. Relación entre variables dependientes-----	46
7.2.1. Relación de razas de FOL y variedades de tomate-----	46
7.2.2. Relación entre razas de FOL y nivel de fertilización-----	47
7.2.3. Relación entre las variedades y los niveles de fertilización-----	48
7.3. Análisis foliar-----	52
VIII. CONCLUSIONES-----	56
IX. LITERATURA CITADA-----	57

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Países con mayor producción de tomate (t) -----	1
Cuadro 2. Principales municipios productores en Sinaloa -----	10
Cuadro 3. Origen, códigos y números de accesión del Genbank de <i>Fusarium oxysporum</i> Aisladas en plantas de tomate -----	30
Cuadro 4. Niveles de los factores en estudio -----	32
Cuadro 5. Tratamientos y los niveles de los factores -----	37
Cuadro 6. Distribución de los síntomas de severidad del grupo 1 formado en el dendrograma de clasificación -----	40
Cuadro 7. Distribución de los síntomas de severidad del grupo 2 formado en el dendrograma de clasificación -----	41
Cuadro 8. Distribución de los síntomas de severidad del grupo 3 formado en el dendrograma de clasificación -----	42
Cuadro 9. Distribución de los síntomas de severidad del grupo 4 formado en el dendrograma de clasificación -----	43
Cuadro 10. Distribución de los síntomas de severidad del grupo 5 formado en el dendrograma de clasificación -----	45
Cuadro 11. Distribución de los síntomas de severidad del grupo 6 formado en el dendrograma de clasificación-----	45
Cuadro 12. Cuadro 12. Prueba de independencia entre las razas y variedades evaluadas (Chi-cuadrada)-----	46
Cuadro 13. Prueba de independencia entre las razas y los niveles de fertilización (Chi-cuadrada) -----	47
Cuadro 14. Prueba de independencia entre las variedades evaluadas y los niveles de fertilización (Chi-cuadrada) -----	48
Cuadro 15. Prueba de Kruskal-Wallis / Prueba bilateral (variedad, fertilización y razas) -----	49
Cuadro 16. Prueba de Kruskal-Wallis / Prueba bilateral-----	51
Cuadro 17. Análisis foliar de nitrógeno en planta (mg) -----	53
Cuadro 18. Análisis foliar de fósforo en planta (mg) -----	18
Cuadro 19. Análisis foliar de potasio en planta (mg)-----	55
Cuadro 20. Análisis foliar de calcio en planta (mg)-----	55

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Macroconidos y microconidos de FOL-----	17
Figura 2. Dendrograma basado en la severidad de la enfermedad en las plantas de tomate -----	39
Figura 3. Distribución de las frecuencias observadas en la tabla de contingencia de la relación entre las tres razas de FOL y las cuatro variedades de tomate evaluadas-----	47
Figura 4. Distribución de las frecuencias observadas en la tabla de contingencia de la relación entre las tres razas de FOL y los ocho niveles de fertilización-----	48
Figura 5. Distribución de las frecuencias observadas en la tabla de contingencia de la relación entre los ocho niveles de fertilización y las cuatro variedades de tomate evaluadas-----	49
Figura 6. Promedio de severidad por nivel de fertilización-----	50
Figura 7. Promedio de severidad las razas de fusarium oxisporum evaluadas en cuatro variedades de tomate-----	51
Figura 8. Comparación del DSI en las variedades de tomate evaluadas mediante la prueba de Kruskal-Waliss. Las letras iguales representan que no hay diferencia estadística entre ellas al aplicar la prueba de Dunn-----	52

RESUMEN

La fusariosis vascular es una de las principales limitantes en la producción del cultivo de tomate. Actualmente el manejo de la solución nutritiva del cultivo se plantea como una alternativa de control hacia la fusariosis, por lo cual en la presente investigación se evaluaron distintas soluciones nutritivas con modificaciones en nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y calcio (Ca), en cuatro variedades de tomate saladette Bony Best (BB), Manapal (M), Walter (W) y FLA, para analizar la severidad del daño ocasionado por *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (FOL). Las plantas de tomate se inocularon con 3 razas de FOL, estableciendo un diseño completamente al azar con un arreglo factorial con seis repeticiones. La severidad de la enfermedad se evaluó a los 30 días después de la inoculación utilizando los niveles del (0-4) de la metodología establecida por Marlatt y Correll (1996). Posteriormente, se realizó un análisis estadístico mediante la prueba de Kruskal Wallis, en el cual se observó que los tratamientos 93 (Ca 207 mg L⁻¹, R3, variedad BB), 95 (207 mg L⁻¹Ca, R3, variedad W), 81 (0Ca, R3, BB) presentaron menor severidad de la enfermedad. En el análisis foliar los mejores tratamientos fueron, el 22 (193 mg L⁻¹ N, R3, M) para N, el mayor contenido de P fue el tratamiento 94 (207 mg L⁻¹Ca, R3, M), para K el tratamiento tres, el tratamiento 93 (207 mg L⁻¹ Ca, R3, variedad BB) mayor contenido de Ca. Se llegó a la conclusión que la adición de fósforo provoca la reducción de la severidad de FOL en las variedades de tomate evaluadas, también la carencia de K permite mayor severidad de la raza 3 de FOL, lo contrario ocurrió con la raza 3 de FOL la cual manifestó menor severidad en el tratamiento donde se aumentó el calcio.

Palabras clave: *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*; solución nutritiva; control cultural.

ABSTRACT

The vascular fusariosis is one of the main obstacles in the tomato crop production. Currently, the management of the nutrient solution is presented as a control option to the fusariosis, for such reason different nutrient solutions with nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K) and calcium (Ca) modifications, in four saladette tomato varieties Bony Best (BB), Manapal (M), Walter (W) and FLA were evaluated in this research, in order to analyze the damage caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (FOL) severity. Tomato plants were inoculated with 3 FOL breeds, establishing a completely random design with a factorial arrangement with six repetitions. Disease's severity was evaluated 30 days after the inoculation using levels of (0-4) of the methodology established by Marlatt and Correll (1996). Afterwards, a statistical analysis was done through the Kruskal Wallis test, in which was observed that treatments 93 (Ca 207 mg L⁻¹, R3, variety BB), 95 (207 mg L⁻¹Ca, R3, variety W), 81 (0Ca, R3, BB) showed less disease severity. In the foliar analysis the best treatments were 22 (193 mg L⁻¹ N, R3, M) for N, the greatest P content was treatment 94 (207 mg L⁻¹Ca, R3, M), for K treatment three, the treatment 93 (207 mg L⁻¹ Ca, R3, variety BB) greatest Ca content. It was concluded that the addition of phosphorus causes the reduction of the severity of FOL in the evaluated tomato varieties, also the lack of K allows greater severity of FOL race 3, the opposite occurred with FOL race 3, which showed less severity in the treatment where calcium was increased.

Key words: *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*; nutrient solution; cultural control.

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de tomate es la hortaliza más importante en numerosos países y su popularidad aumenta constantemente. En la actualidad este cultivo ha adquirido importancia económica y alimenticia en todo el mundo. De las principales frutas y hortalizas que se consumen en EE. UU, el tomate es una de las hortalizas de mayor importancia para la dieta humana. En México se registra un consumo promedio *per capita* anual de 15 kilogramos por año, volumen inferior al consumo promedio mundial de 18 kg. Este cultivo genera cuantiosos ingresos y empleos es la segunda hortaliza más cultivada (Mundo *et al.* 2019).

El tomate es originario de México, Perú y Ecuador, donde se encuentran diversas variedades silvestres. A la llegada de los españoles el tomate formaba parte de los huertos de hortalizas de Mesoamérica. Actualmente, el tomate es la hortaliza más popular y aceptada en la cultura gastronómica de la mayoría de los países. A nivel mundial se rebasan los 3 millones de hectáreas de tomate cosechadas anualmente, con una producción promedio que fluctúa alrededor de los 160 millones de toneladas por año (Montes y Aguirre, 1992). Los principales países productores en el mundo son China, EE. UU., India, Italia, Egipto, España, Holanda, México y Francia. Las producciones de estos países en los años de 2016-2019 fueron las que se indican en el Cuadro 1. Como se observa, China es el principal productor de tomate en el mundo, seguido por los Estados Unidos y la India. México ocupa la novena posición, por debajo de Italia (FAO,2020).

Cuadro1. Países con mayor producción de tomate (t)

País	2019	2020	2021	2022
China	57 023 280	58 968 909	60 919 328	62 869 502
EE. UU.	12 877 049	11 138 620	12 613 090	10 858 990
India	18 732 000	20 708 000	19 759 000	19 007 000
Turquía	12 600 000	12 750 000	12 150 000	12 841 990
México	4 047 171	4 243 058	4 559 375	4 271 914
España	5 233 542	5 163 466	4 768 600	5 000 560
Italia	6 437 572	6 015 868	5 753 230	5 252 690
Francia	3 250 870	4 250 000	4 800 000	3 875 500
Canadá	8 690 500	9 650 487	9 250 450	8 980 500
Portugal	4 860 800	4 680 650	13 392 700	10 560 230
Brasil	4 166 789	4 225 414	4 126 988	3 917 967
Mundial	177 001 000	182 000 000	182 256 000	199 000 000

FAO, 2022; SIAP, (2022).

La exportación de tomate representa para México una fuente importante de divisas, al ocupar el tercer lugar como país exportador de esta hortaliza en el mundo, representando el 22 % de las exportaciones agrícolas, las cuales son exclusivamente en tomates (Moor, 1994).

Los estados más importantes en cuanto a producción de tomate en México son Sinaloa, Baja California, San Luis Potosí, Michoacán, Morelos, Sonora, Jalisco, Nayarit, Edo. de México y Baja California Sur. Siendo Sinaloa el principal estado productor. La producción de tomate en esta entidad se ubica principalmente en los Valles de Culiacán, Guasave y El Fuerte, en los cuales se siembran aproximadamente 12 700 hectáreas de tomate de vara o tutorado y el industrial, significando una muy importante fuente de empleos y divisas para esta zona, donde se cultivan alrededor de 95,000 hectáreas de diferentes hortalizas (SIAP, 2022).

Los promedios anuales de superficie sembrada de tomate en diferentes estados del país durante periodo 2015-2020 fueron los siguientes: Sinaloa 24 243 hectáreas, Baja California 8691 hectáreas, Michoacán 7599 hectáreas, San Luis Potosí 7277 hectáreas, Morelos 3384 hectáreas, Nayarit 3450 hectáreas, Jalisco 3329 hectáreas, Sonora 2721 hectáreas, el estado de México 2013 hectáreas y Baja California Sur 2024 hectáreas en promedio anual para el periodo mencionado (SIAP, 2021).

La producción promedio obtenida de tomate en los principales estados productores durante el año 2021 fue de 627 735 toneladas para Sinaloa; de 61 416 toneladas para Baja California; de 343 370 toneladas para San Luis Potosí; de 132 621 toneladas para Jalisco; de 125 470 toneladas para Sonora; de 237 842 toneladas para Michoacán; de 147 718 toneladas para Morelos; de 164 507 toneladas para Baja California Sur; y de 119 117 toneladas para el Estado de México (SIAP, 2022). Sin embargo, la producción de esta hortaliza enfrenta una serie de problemas, uno de los que más afecta es la sanidad vegetal, por lo que se tiene que invertir en el control de plagas y enfermedades. Esto incrementa los costos de producción, además puede generar cierta resistencia a los productos químicos por parte de las plagas cuando estas eran controladas aceptablemente con los mismos productos años atrás. Por

otra parte, el mal manejo de agroquímicos y fertilizantes que ha provocado una ecotoxicidad general del medioambiente (Sañudo, 2013).

Una de las enfermedades que ataca al tomate es la fusariosis vascular, la cual es una enfermedad criptogámica ocasionada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (FOL) la cual produce marchitez vascular en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). En 1895 fue descrita por Masee (1895) y ha sido encontrada en al menos 32 países. La enfermedad continúa apareciendo como consecuencia del cultivo intensivo del tomate, siendo esta una de las más destructivas, siendo el factor más importante que limita el éxito en la producción de esta hortaliza, al grado de ocasionar pérdidas totales en algunas temporadas (Tello y Lacasa, 1988).

Tello y Lacasa (1988), mencionan que la sintomatología provocada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* inicialmente se observa en el sistema radicular, al que ocasiona una severa pudrición y avanza por los haces vasculares del tallo hacia la parte aérea de la planta, obscureciéndolos y obstruyendo el paso de agua y nutrientes. El sistema vascular de la raíz, tallo y pecíolos se torna café rojizo, ocasionando el taponamiento del mismo, lo cual produce un leve amarillamiento y envejecimiento prematuro de las hojas inferiores. La obstrucción se presenta tornándose más grave el daño, cuando la infección tiene lugar en estado de plántula, al presentarse condiciones de alta humedad en el suelo. En el follaje adquiere un color amarillamiento unilateral de un foliolo o en la nervadura de la hoja (Tello y Lacasa, 1988).

Uno de los principales problemas que enfrenta la producción de tomate en México es el uso excesivo de agroquímicos. Las plagas y enfermedades son uno de los principales problemas que impactan en el cultivo del tomate, incrementando los costos de producción por el uso de productos químicos para su control (Montes y Aguirre, 1992). En la actualidad, en la agricultura es urgente el uso de procedimientos amigables con el medioambiente, lo cual debe ser cambiando con las exigencias de un mercado internacional cada vez más competitivo (Nuez *et al.*, 2001)

Aunado a lo anterior, en muchos casos, no se tiene el conocimiento de que la nutrición mineral juegue un papel importante en el control de enfermedades de las

plantas. La deficiencia de nutrientes esenciales afecta la salud de las plantas y aumenta la susceptibilidad a las enfermedades (Sepúlveda, 2006).

Se conocen los mecanismos por los cuales la nutrición influye en los valores de incidencia y severidad de las enfermedades de las plantas cultivadas. Además, se tienen las bases para incorporar el manejo nutricional en esquemas comerciales de control integrado de los problemas sanitarios de varios cultivos (Munévar, 2004).

Los nutrimentos influyen en el crecimiento y la supervivencia de los patógenos, en la predisposición, tolerancia y resistencia de las plantas. De igual forma, las enfermedades causadas por virus alteran a los nutrimentos en su absorción, translocación y concentración en las plantas. Sin embargo, las plantas enfermas desarrolladas con una nutrición balanceada pueden resistir más el ataque de los patógenos, lo cual se traduce en un mejor desarrollo y rendimiento de la propia planta (Velasco, 1999).

La defensa de las plantas, ante el ataque plagas y patógenos es compleja, pues actúan varios factores de manera combinada, dentro de los cuales están estos dos tipos de defensa: a) defensa constitutiva, expresada como una característica normal del desarrollo de la planta; y b) defensa inducible, la cual se activa cuando se entra en contacto con un organismo invasor. Este mecanismo consta de un sistema de vigilancia para reconocer la amenaza, con lo cual se genera un sistema de transducción de señales y una ruta de respuesta, usualmente regulada a un nivel transcripción por medio de la expresión de genes relacionados con la defensa. Existe un número elevado de proteínas que forman parte de los mecanismos de defensa de las plantas, las cuales, solo actuarían sobre los depredadores que ataquen a la planta (Blanco y Aguirre, 2002).

Los pequeños péptidos antimicrobianos juegan un papel como parte del sistema natural de defensa en las plantas contra los microorganismos patógenos. Se conoce una amplia gama de microorganismos, cientos de péptidos anti fúngicos y proteínas conocidas. Los sistemas de defensa, pueden ser además subdivididos en defensa estructural, basada en características anatómicas de la pared celular y defensa química, basada en compuestos biológicamente activos de altos o bajos pesos

moleculares. Tales distinciones no son absolutas, sin embargo, algunos componentes de la defensa constitutiva pueden ser también producidos durante una respuesta activa, e inhibidores químicos pueden, por ejemplo, ser precursores de polímeros tales como la lignina, la cual es incorporada en barreras estructurales (Blanco y Aguirre, 2002).

Los factores constitutivos, tanto anatómicos como químicos tales como: cutícula, pared celular inhibidores enzimáticos preformados, son utilizados para prevenir la colonización de tejidos de la planta, por los microorganismos no patogénicos. Si ocurriera una penetración por parte del microorganismo, entonces los sistemas de defensa inducibles serían activados (Blanco y Aguirre, 2002). Esto incluye una rápida generación de espacios activos de oxígeno, cambios en los polímeros de pared celular, síntesis de compuestos de bajo peso molecular como las fitoalexinas producción de proteínas relacionadas con la defensa y muerte celular hipersensitiva.

Colectivamente estos sistemas primero inhiben y después sellan al colonizador potencial. En términos genéticos es usual distinguir entre genes de reconocimiento, los cuales codifican proteínas receptoras o asociadas con rutas de transducción de señales y genes de respuesta, los cuales codifican proteínas que actúan como factores de defensa o como enzimas biosintéticas en rutas que dirigen a la producción de compuestos de defensa. Tal respuesta puede estar localizada en el sitio de conflicto, o ser expresados sistémicamente en otros órganos y tejidos (Blanco y Aguirre, 2002).

Todos los elementos esenciales (con excepción del carbono, oxígeno e hidrógeno) en la solución nutritiva para los cultivos, son suministrados en forma asimilable para las raíces de las plantas; esto se logra disolviendo los fertilizantes en agua, los elementos se disocian y quedan en forma iónica (Carrillo, 2009).

Steiner (1966), señala que una solución nutritiva verdadera debe cumplir los siguientes requisitos: 1) una relación mutua de aniones; 2) una relación mutua de cationes; 3) una concentración iónica total; y 4) un pH con tolerancia de ± 0.1 . De esta manera dicho autor desarrolló un método para preparar soluciones nutritivas.

En estudios con tomate, lechuga, pimiento, crisantemo, clavel, frijol y avena, en cultivo en solución, Steiner (1966) encontró que, de las 12 soluciones probadas para lograr un mejor desarrollo y producción, el punto óptimo está en una región muy limitada, explorado en su sistema de triángulo equilátero para formular prácticamente todas las combinaciones posibles de aniones y cationes.

Munévar (2004), indicó que todos los elementos esenciales para las plantas pueden influenciar para la reducción de algunas enfermedades, y aunque ningún nutriente las combate todas, la severidad de la mayoría de ellas puede reducirse de manera apreciable con una nutrición adecuada. Es claro que con excepción del nitrógeno (N) y del azufre (S), al aumentar la disponibilidad de los elementos, el efecto más frecuente es una disminución de la enfermedad (Munévar, 2004).

Algunos nutrientes tienen mayor incidencia en las enfermedades que otros. Un nutriente en particular puede tener efectos opuestos sobre diferentes enfermedades y bajo condiciones distintas: el mismo nutriente puede disminuir la incidencia de una enfermedad, pero aumentar la incidencia de otra (Sepúlveda, 2006).

Munévar (2004), realizó estudios relacionados con la enfermedad de la Pudrición del Cogollo. Dichos estudios muestran que carencias de algunos nutrientes y desbalances entre ellos actúan como factores de predisposición a la enfermedad, la cual es causada por patógenos débiles. Dichos estudios también señalan que los desbalances entre N y K, entre Ca y Bo y entre los elementos Ca, Mg y K propician el desarrollo de la enfermedad y han mostrado cómo el manejo integral de la nutrición debe ser parte de las estrategias de manejo integrado de la Pudrición de Cogollo.

La presencia de sustancias fenólicas y flavonoides que tienen propiedades fungistáticas, las cuales en muchos casos están en mayores concentraciones en las células epidérmicas. Mientras que la formación de dichas sustancias es limitada y, por tanto, hay acumulación de fenol cuando las plantas tienen deficiencias de algunos nutrientes (Munévar, 2004).

Desde el punto de vista ambiental, el cultivo de tomate es uno con los que más se contamina al suelo, debido a las elevadas cantidades de fertilizantes que se aplican en un tiempo relativamente corto, por lo que se sugiere que la fertilización sea fraccionada durante el ciclo del cultivo (Sepúlveda, 2006). Por otra parte, la principal causa de daño al medioambiente es la gran cantidad de fungicidas utilizados para controlar *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, causante de la enfermedad de la fusariosis vascular, principal enfermedad del cultivo de tomate. Si en la aplicación de los fungicidas se excede la dosis de absorción, se pueden contaminar el suelo, disminuir la productividad, inducir resistencia en patógenos y provocar riesgo potencial a la salud pública. Además, se incrementan los costos de producción por la remoción de los excedentes de fungicidas y agroquímicos aplicados al cultivo de tomate y que terminan acumulándose en los suelos o lixiviándose a las aguas subterráneas (Sepúlveda, 2006). El presente trabajo pretende generar conocimiento de frontera al explicar el papel de los nutrientes en los mecanismos de defensa de la planta de tomate frente a las diferentes razas de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*.

II. JUSTIFICACIÓN

La enfermedad de la fusariosis vascular en el cultivo de tomate ocasionada por *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici* (FOL), es el factor más limitante en la producción de esta hortaliza, al grado de ocasionar pérdidas totales en algunas temporadas, la marchitez vascular por FOL razas 1, 2 y 3 (Ascencio-Álvarez *et al.*, 2008; Carrillo-Fasio *et al.*, 2003; Valenzuela *et al.*, 1996; Jone *et al.*, 1993). FOL es la principal causa de problemas sanitarios, disminuyendo en un 60 % el rendimiento del tomate y afecta la calidad del producto. Esta enfermedad, se ha reportado en por lo menos 32 países (Jones *et al.*, 1993), prosperando en una diversidad de condiciones ambientales desde trópicos secos hasta climas templados. En Sinaloa, el control de las enfermedades radicales en el cultivo de tomate se han realizado mediante la utilización fungicidas y fumigantes del suelo, lo cual ha impactado negativamente al medioambiente, donde la práctica del monocultivo y la contaminación por el uso indiscriminado de agroquímicos, han impactado en la agricultura, reduciendo la biodiversidad (microorganismos) de los agroecosistemas, ocasionando la inestabilidad de los mismos, la cual se refleja, entre otros efectos nocivos, en una mayor incidencia y severidad de esta enfermedad en las plantas de tomate (Watson *et al.*, 1992). Ante esto, y los problemas salud pública inherentes a la fabricación y uso de agroquímicos, se requiere del planteamiento de alternativas sustentables de manejo de las enfermedades.

III. HIPÓTESIS

La concentración de los nutrientes, así como la etapa fenológica de la planta de tomate en la que se suministran los nutrientes, tiene una relación con la severidad de la enfermedad de la fusariosis vascular en tomate ocasionada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (FOL).

IV. OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar la incidencia de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* en el cultivo de tomate bajo diferentes soluciones nutritivas.

4.1. Objetivos específicos

- a) Conocer la incidencia de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* en el cultivo de tomate bajo una solución nutritiva al aumentar nitrógeno, fósforo, potasio, calcio.
- b) Encontrar qué elemento esencial influye en la reducción de la incidencia de *Fusarium oxysporum* f sp. *lycopersici* en el cultivo de tomate.
- c) Determinar la concentración de nitrógeno, fósforo, potasio y calcio en las plantas del cultivo de tomate.

V. REVISIÓN DE LITERATURA

5.1. Importancia del cultivo de tomate

El tomate es la hortaliza más popular y aceptada en la mayoría de los países. A nivel mundial se rebasan los 4 millones de ha cosechadas anualmente, con una producción promedio anual que fluctúa alrededor de los 190 millones de toneladas. En 2022, México ocupó el séptimo lugar como país productor con un 3 % de la producción mundial y el segundo lugar en exportaciones con un 18 %. En 2022 la producción anual fue de 4 271 914 toneladas (FAO, 2022). Sinaloa, es el estado que se ha consolidado como el primer productor de tomate en México, cultivándose principalmente en los valles de Culiacán, Guasave, Navolato y Elota (Cuadro 2). En el Estado se siembran aproximadamente 12 700 ha, con una producción de 709 789 t, con un valor de poco más de 3 billones de pesos (SIAP, 2022).

Cuadro 2. Principales municipios productores en Sinaloa

Municipio	Producción (t)	Rendimiento (t ha ⁻¹)
Culiacán	354 692	70.74
Navolato	323 434	85.60
Guasave	97 067	48.50
Elota	154 033	75.00

SIAP, 2022

La importancia de la planta radica en que posee cualidades muy esenciales para adecuarse a la dieta alimenticia, para su consumo en fresco o procesado, representa una rica fuente de sales minerales y de vitaminas A y C principalmente, además se utiliza en la industria cosmética, farmacéutica y ornamental. La planta es potencialmente perenne y muy sensible a las heladas, lo que determina su ciclo anual, de distinta duración según la variedad (Rodríguez *et al.*, 2001).

Uno de los principales problemas que enfrenta la producción de tomate México es el excesivo uso de agroquímicos. Las plagas y enfermedades son uno de los principales

problemas que impactan en el cultivo del tomate, incrementando los costos de producción por el uso de productos químicos para su control (Carrillo *et al.*, 2003).

5.1.2. Producción del tomate a nivel nacional

En México, el tomate es la segunda hortaliza más importante después del chile (*Capsicum annum* L.), la exportación de tomate representa una importante fuente de divisas, al ser ubicado como el tercer país exportador de tomate en el mundo. Para México, el tomate representa el 22 % del total de las exportaciones agrícolas, (Moor, 1994). México se encuentra en el séptimo lugar en cuanto a producción a nivel mundial aportando el 3 % de dicha producción (FAO, 2022).

Los estados más importantes en cuanto a producción de tomate en México son Sinaloa, Baja California, San Luis Potosí, Michoacán, Morelos, Sonora, Jalisco, Nayarit, Edo. De México y Baja California Sur. Este cultivo requiere de una cantidad considerable de mano de obra para labores de campo, empaque y el procesamiento industrial.

La exportación de este cultivo a los Estados Unidos de América, genera anualmente ganancias mayores a un billón de dólares. Sin embargo, Medina-Ríos (2011), señala que la superficie dedicada al cultivo de tomate ha disminuido gradualmente, debido a diversos factores; entre ellos, la incidencia creciente de plagas y enfermedades.

5.2. Clasificación taxonómica

El origen del tomate es la región andina de Colombia, Chile, Perú, y Bolivia (Peralta *et al.*, 2007). Sin embargo, hay indicios de que la domesticación se produjo en México (Sims, 1979; Bai y Lindhout, 2007).

El cultivo de tomate, desde su introducción a Europa en el siglo XVI, varios botánicos lo relacionaron con el género *Solanum*, en 1753 Linneo lo clasificó y lo nombró *Solanum lycopersicum*. Un año después Miller lo reclasificó y nombró como *Lycopersicum esculentum* (Peralta *et al.*, 2007). Actualmente la clasificación del

tomate dada por la Integrated Taxonomic Information System (ITIS, 2017) es la siguiente:

Reino: Plantae

División: Tracheophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Solanales

Familia: Solanaceae

Género: *Solanum*

Especie: *S. lycopersicum* L.

Puede desarrollarse de forma rastrera, semierecta o erecta, y el crecimiento es limitado en las variedades determinadas e ilimitado en las variedades indeterminadas, pudiendo llegar estas últimas, varios metros en un año (Rick, 1978).

5.3. Requerimientos edafoclimáticos

Se desarrolla bien en un amplio rango de latitudes, tipos de suelos, temperaturas, métodos de cultivo y es moderadamente tolerante a la salinidad (Chamarro, 2001). Sin embargo, las temperaturas óptimas según el ciclo de vida son las siguientes: temperaturas nocturnas entre 15 y 18 °C, temperaturas diurnas de 24 a 25 °C y temperatura ideal para la floración de 21 °C (Rodríguez *et al.*, 2001). Los requerimientos de humedad del suelo para el desarrollo del tomate son aquellas no superiores al 50 %, y suelos no encharcados (Rodríguez *et al.*, 2001). Los periodos críticos de humedad en las plantas de crecimiento determinado son: después del trasplante, 125.3 mm; en floración e inicio de fructificación, 110.6 mm; en la etapa de maduración de fruto, 167.5 mm (INIFAP, 2010). La disponibilidad de agua, también puede afectar la formación de flores y posteriormente la disminución de frutos. La media del número de flores por racimo, decrece cuando disminuye el suministro de agua (Wien, 1997).

La humedad relativa por su lado, debe ser inferior al 90 %, valores superiores favorecen las enfermedades fúngicas. Se consideran óptimos los valores de humedad

relativa entre 70 y 80 %. En condiciones de baja humedad relativa la tasa de transpiración crece, lo que acarrea estrés hídrico, cierre estomático y reducción de la fotosíntesis en las fases de fructificación. Valores extremos de humedad con baja iluminación reducen el cuajo de tomates y la reducción en la viabilidad del polen.

El tomate se desarrolla en una gama de suelos. Sin embargo, estos deben de ser fértiles, profundos y que presenten un buen drenaje. El rango de pH óptimo varía entre 6 y 6.5 para que la planta se desarrolle y disponga de nutrientes adecuadamente (Rodríguez *et al.*, 2001).

5.4. Patógenos en el cultivo de tomate

Los problemas fitosanitarios constituyen uno de los aspectos más importantes en el proceso productivo del cultivo de *Solanum lycopersicum*. En México, el tomate es un cultivo con tendencias a incrementarse, en el año 2015 se obtuvo una producción de 3 millones de toneladas y un aumentó para 2018 obteniendo una producción con más de 3.5 millones de toneladas, esto debido al aumento considerable y progresivo de las áreas sembradas (SIAP, 2020).

A nivel mundial el tomate es afectado por diferentes patógenos que dañan tanto la parte aérea como el área radicular, afectando los rendimientos. Las enfermedades son ocasionadas por bacterias, virus y hongos, entre otros; además de las variaciones climáticas que afectan a este cultivo (Ramírez *et al.*, 2010).

Dentro de las enfermedades causadas por microorganismos en la parte aérea de la planta sobresalen especies como *Phytophthora infestans* y *Alternaria solani* causantes del tizón tardío y el tizón temprano del tomate, respectivamente. *Stemphylium* spp. y *Aspergillus* spp. Causantes del moho gris y el moho negro, respectivamente. En Sinaloa, las bacterias año con año causan problemas en dicho cultivo; la peca bacteriana (*Pseudomonas syringae*), la mancha bacteriana (*Xanthomonas campestris*) y el cáncer bacteriano (*Clavibacter michiganensis*). Estas son introducidas principalmente en los trasplantes y están asociadas con la semilla. La marchitez bacteriana (*Pseudomonas solanacearum*), la necrosis de la médula

(*Pseudomonas corrugata*) y la pudrición del tallo (*Erwinia carotovora*) sobreviven en el suelo y pueden causar la destrucción rápida del cultivo (Ramírez *et al.*, 2010).

En México se han reportado daños por el agente causal *Pythium aphanidermatum* y *Rhizoctonia solani*, provocando el ahogamiento o secadera, marchitez sureña por *Sclerotium rolfsii* (Quiroga *et al.*, 2007). *P. ultimum* agente causal de la muerte de plántulas y pudrición de raíz (González *et al.*, 2010), *Ralstonia solanacearum* (Perea *et al.*, 2010), pudrición del pie por *Fusarium solani* (Ortega, 2010), pudrición de la corona ocasionada por *F. oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* (Forl) (Apodaca *et al.*, 2002; Jones *et al.*, 1993) y la marchitez vascular por *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* (FOL) razas 1, 2 y 3 (Ascencio-Álvares *et al.*, 2008; Carrillo-Fasio *et al.*, 2003; Valenzuela *et al.*, 1996; Jones *et al.*, 1993). Siendo esta última la principal causa de problemas sanitarios, disminuyendo en un 60 % el rendimiento del tomate y afecta la calidad del producto. Esta enfermedad, se ha reportado en por lo menos 32 países (Jones *et al.*, 1993), prosperando en una diversidad de condiciones ambientales desde trópicos secos hasta climas templados (Cai *et al.*, 2003). Existen tres razas reportadas del hongo, las cuales se distinguen por su patogenicidad en variedades diferenciales de tomate que contienen distintos genes de resistencia (Cai *et al.*, 2003).

5.5. *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (FOL)

Fusarium oxysporum f. sp. *lycopersici* (FOL) produce marchitez vascular en plantas de tomate. En 1895 esta enfermedad fue descrita por Masee (1895) y ha sido encontrada en al menos 32 países. La enfermedad continúa apareciendo como consecuencia del cultivo intensivo del tomate, siendo esta una de las más destructivas. El hongo penetra por heridas o aberturas naturales de las raíces, invadiendo al xilema y propagándose en forma ascendente hacia el tallo y la corona de la planta. El micelio se ramifica y produce microconidios que son desprendidos y llevados hacia la parte superior de la planta en el torrente de la savia. La obstrucción de los vasos por conidios produce un déficit de agua en las plantas afectadas, ocasionando que los estomas se cierren, las hojas se marchiten y la planta muera (Agrios, 1986).

FOL es un hongo que se presenta principalmente como saprófito en el suelo, o también como patógeno especializado. La denominación forma especial, o en latín, forma especial (f. sp.), se determina de acuerdo con la planta hospedante que afecte. Es posible distinguir razas fisiológicas dentro de una misma forma especial (Garcés *et al.*, 2001). Esta enfermedad se encuentra distribuida en todo el mundo causando grandes pérdidas económicas en el cultivo de tomate. El hongo sobrevive en restos de cultivo de una temporada a otra y posee estructuras de resistencia que le permiten perdurar en el suelo por espacio de hasta seis años. Su desarrollo es favorecido a una temperatura óptima de 20 °C, pero su rango va de los 12 °C a los 28 °C, asociado a alta humedad relativa. Se caracteriza por ser un hongo muy variable debido a su especificidad y virulencia. Dicha variabilidad también se manifiesta por la presencia de razas fisiológicas numeradas del uno al tres (R1, R2 y R3) (González, 2006).

Este hongo por lo general ataca durante los periodos cálidos del año. Prefiere los suelos arenosos y ácidos, las plantas son más sensibles a la enfermedad cuando necesitan nitrógeno, fósforo y calcio, cuando están sometidas a días cortos y poco luminosos. Así mismo, el ataque fuerte de nematodos como *Meloydogine* spp., o cuando las plantas han sufrido asfixia radical favorece la incidencia de la enfermedad, aún en plantas consideradas previamente, como resistentes a *Fusarium* (Blancard, 1992).

5.5.1. Características morfológicas de *Fusarium oxysporum*

Las especies del género *Fusarium* pueden producir tres tipos de esporas: macroconidios, microconidios y clamidosporas. El macroconidio es la estructura principal para caracterizar a la especie y al género *Fusarium*; su forma y tamaño varía según la especie. Este se puede formar en una estructura especializada llamada esporodoquio, como también en monofiálides, polifiálides y en el micelio aéreo. Para algunas especies el microconido es una característica relativamente constante y estable, pero se debe utilizar cautelosamente como criterio taxonómico. La presencia de una célula basal con forma de pie en los macroconidios se considera característica de *Fusarium*, pero varios géneros de Coelomycetes también la tienen (Nelson *et al.*, 1983; Seifert, 2001; Samson *et al.*, 2004; Leslie y Summerell, 2006).

El microconidio es un carácter primario en taxonomía del género *Fusarium* y se considera su presencia o ausencia. Si el microconidio está presente, las características consideradas son: forma, modo de formación, si está solo, en falsas cabezas, en cabezas o en cadenas. Estos se forman en el micelio aéreo a partir de monofiálides o polifiálides pero no en el esporodoquio. Se pueden ver aislados, en masas o en cadenas. La forma en la que son producidos se observa mejor en un medio con sustrato natural como el agar-clavel (Samson *et al.*, 2004; Leslie y Summerell, 2006).

La presencia o ausencia de clamidosporas es también un carácter importante en la taxonomía del género *Fusarium*. Si están presentes, pueden estar solas, en pares, en grupos, o en cadenas. Su pared puede ser gruesa, rugosa o lisa. Es una espora de supervivencia ante ambientes adversos que garantiza la propagación y supervivencia del hongo (Samson *et al.*, 2004; Leslie y Summerell, 2006).

Fusarium oxisporum se caracteriza por producir colonias de crecimiento rápido y tres tipos de esporas: microconidias, macroconidias y clamidosporas. Las microconidias son esporas unicelulares son variables, sin septas, hialinas, de elipsoidales a cilíndricas, rectas o curvadas, de ovales a elipsoidales, cilíndricos, rectos o curvados, con un tamaño de 5-12 x 2.2-3.5 μm . Las macroconidias, son esporas de pared delgada, fusiformes, largas, moderadamente curvadas, con varias células y de tres a cinco septas transversales, con la célula basal elongada y la célula basal atenuada, de 3-5 septas, son fusoides, terminados en punta ambos lados, con diferentes tamaños según el número de septas: con 3 septas, 27-46 x 3-5 μm ; con 5 septas, 35-60 x 3-5 μm ; de 6-7 septas, 50-66 x 3.5-5 μm . Las clamidosporas son esporas formadas a partir de la condensación de células de las hifas o de las macroconidias y se caracterizan por poseer paredes bastante gruesas, globosas de 1 célula, de 6.4-11.2 μm de diámetro, lo que las hace muy resistentes a condiciones ambientales desfavorables o a la ausencia de plantas hospedantes (Nelson, 1981). Las clamidosporas se forman simples o en pares, son terminales o intercalares y son las principales responsables de la sobrevivencia del hongo en tejidos muertos de plantas hospedantes o en el suelo, produce micelio abundante, de color blanco a oscuro, pero

usualmente con tintes púrpuras, generalmente solitarias, pero ocasionalmente formadas en pares o grupos (Mendoza, 1996).

Las esporas tienen una forma y tamaño las cuales cuentan con unas características principales para el reconocimiento de *Fusarium*. Este cuenta con numerosas estructuras llamadas esporodocios donde se agrupan las esporas. En los cuales se pueden encontrar dos tipos de conidios, los macroconidios que son hialinos, tabicados, generalmente con tres tabiques y microconidios más pequeños hialinos, unicelulares (Figura 1) (Leslie y Summerell, 2006). Posee células de paredes engrosadas que actúan como estructuras de resistencias denominadas clamidosporas, pueden ser terminales o intercalares. Las monofiálides producen conidios desde una sola abertura y en las polifiálides surgen las esporas desde más de una abertura en la misma célula (Booth, 1971).

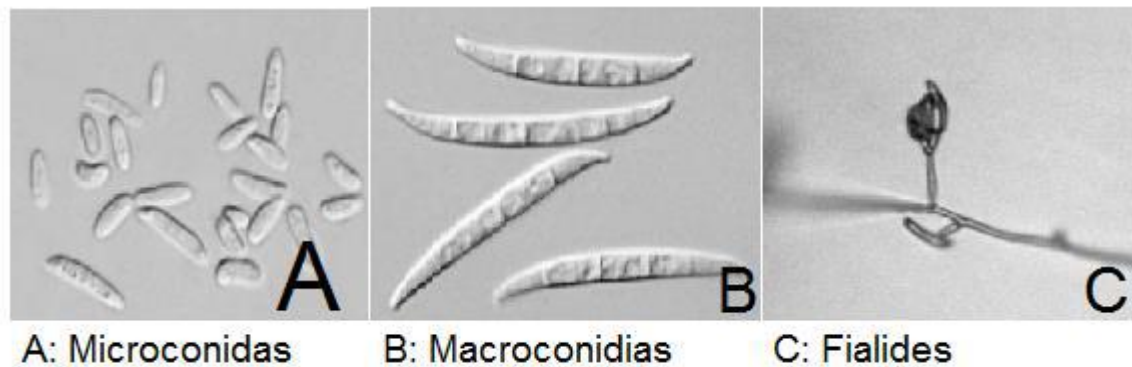


Figura 1. Macroconidios y microconidios de *Fol* (Leslie y Summerell, 2006).

5.6. Soluciones nutritivas

Se han publicado muchas fórmulas para diferentes cultivos acerca de la composición y concentración de las soluciones nutritivas (SN) empleadas en la hidroponía por diversos investigadores, sin embargo, hay que considerar que la composición específica más adecuada depende de las condiciones climáticas, en particular de la temperatura y de la luz y, sobre todo, de la calidad del agua que se utilice. También se deben tomar en cuenta las necesidades nutrimentales de la planta a la que se va a

aplicar, así como la edad o etapa fenológica de la misma y el sistema con el cual se lleve a cabo el cultivo (Gómez y Sánchez, 2003).

La SN tiene reacciones que conducen a la formación de complejos y a la precipitación de los iones en ella, lo cual evita que estos estén disponibles para las raíces de las plantas. La selección de elementos nutritivos de una SN universal al momento de la absorción por la planta, se puede explicar desde un punto de vista fisiológico, al no variar el equilibrio iónico de la SN durante el ciclo de cultivo. Los parámetros que caracterizan la SN son: el pH, la presión osmótica y las relaciones mutuas entre los aniones y los cationes (Favela *et al.*, 2006).

La planta no absorbe nutrimentos en la misma cantidad durante el ciclo, ya que lo hace según la etapa fenológica y las condiciones climáticas, por lo que el equilibrio iónico de la SN se adapta al ritmo de absorción de la planta (Favela *et al.*, 2006).

La relación mutua entre aniones, se basa en la relación que existe entre los aniones NO_3^- , H_2PO_4^- y SO_4^{2-} , y los cationes K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , con los cuales se regula la SN. Tal relación no solo consiste en la cantidad absoluta de cada ion presente en la solución, sino en la relación cuantitativa que guardan los iones entre sí, ya que, de existir una relación inadecuada entre ellos, puede disminuir el rendimiento (Steiner, 1966).

Las plantas son selectivas al absorber nutrimentos, lo cual significa que, a pesar de que la SN tenga una relación determinada entre aniones y/o cationes, al suministrar una SN de relación arbitraria entre iones, las plantas los tengan que absorber en esa misma proporción. La relación original entre iones en la SN, en circuitos cerrados, se modifica debido a la absorción de nutrimentos por las plantas: generalmente se incrementan los SO_4 respecto a los NO_3 , y el Ca respecto al K; sin embargo, la modificación de la SN no es siempre en el mismo sentido, ya que depende también de las condiciones ambientales y de la etapa de desarrollo del cultivo (Favela *et al.*, 2006).

Se manejan intervalos de concentración óptimos para los nutrimentos que componen las soluciones nutritivas. Estos intervalos, medidos en mg L^{-1} (ppm), oscilan entre los valores siguientes: N: 150 a 300; P: 40 a 60; K: 200 a 400; Ca: 150 a 300; Mg: 30 a

60; S: 100 a 400; Fe: 0.5 a 3; Mn: 0.5 a 1; B: 0.5 a 1; Cu: 0.05 a 0.1; Zn: 0.05 a 0.1; Mo: 0.001 a 0.1 (Gómez y Sánchez, 2003).

La solución nutritiva universal de Steiner contiene las siguientes concentraciones mg L⁻¹ (ppm): nitrógeno 167, fósforo 31, potasio 273, magnesio 49, calcio 180, azufre 112, hierro 3, manganeso 1.97, boro 0.44, zinc 0.11, cobre 0.02, molibdeno 0.007 (Steiner, 1984).

Como parte del paquete tecnológico y con base en la experiencia comercial con productores, se ha manejado la siguiente concentración en (ppm) para el cultivo de tomate: N: 250; P: 60; K: 300; Ca: 300; Mg: 60; S: 200; Fe: 2; Mn: 0.5; B: 0.5; Cu: 0.1; Zn: 0.1 (Gómez y Sánchez, 2003).

5.7. El Nitrógeno en las plantas

El Nitrógeno (N) es el nutrimento económicamente más importante, por la frecuencia en que se encuentra como limitante en los cultivos de México y de la mayoría de los países del mundo (Alcantar, 2013).

El ciclo del N en el suelo representa solamente una parte del ciclo total del N en la naturaleza. La disponibilidad de este elemento es de gran importancia para las plantas, las que absorben nitratos y amonio, que utilizan en la síntesis de las proteínas y de otros compuestos orgánicos vegetales. A través de los procesos microbianos de fijación de N, se produce un enriquecimiento en el suelo (Fassbender, 1978).

La materia seca de las plantas contiene entre el 2 y el 4 % de N. Esta cantidad es baja en comparación con el contenido de Carbón (C), que es del orden del 40 %. Sin embargo, el N es un constituyente esencial de numerosos compuestos orgánicos de la planta (Mengel y Kirkby, 2000).

El N absorbido por las raíces de las plantas es translocado por el xilema a las partes superiores de la planta (Mengel y Kirkby, 2000). El N es uno de los macro elementos esenciales en las plantas, por la cantidad que estas absorben del elemento, la forma de absorción por la planta es en forma de nitrato (NO₃⁻) y amonio (NH₄⁺). El N- NH₄

absorbido es asimilado en el tejido radicular y redistribuido como aminoácidos. El N-NO₃ puede translocarse inalterado a los brotes y hojas, pero esto depende del potencial de reducción de nitratos en las raíces (Alcantar, 2009).

La función principal de este elemento es la formación de biomoléculas como proteínas, lípidos, aminoácidos, enzimas, nucleoproteínas, ácidos nucleicos, así como también de las paredes celulares y clorofila. Es necesario para el crecimiento de las plantas y ayuda en el proceso fotosintético (Alcantar, 2009).

El N es de los elementos más reportados que afecta las enfermedades en plantas, sin embargo, es el elemento nutrimental que se aplica con mayor cantidad, ya que este elemento que muestra frecuentemente una deficiencia en los suelos cultivados. Generalmente es muy común que el N influya en el incremento de las enfermedades en plantas, mientras que el K tiende a reducir la enfermedad, y el P puede mostrar ambas respuestas. Sin embargo, en esta falla generalmente se debe tomar en cuenta el efecto de la dosis de aplicación (deficiencia, dosis adecuada o exceso), tiempo de aplicación (etapa de crecimiento de la planta o actividad del patógeno), forma de N (reducir la forma amoniacal o nítrica), condiciones del suelo y la interacción con otros elementos (Lawrence, 2007).

5.8. El fósforo en las plantas

La importancia práctica del fósforo (P) en la agricultura es solo superada por el N en cuanto a frecuencia y magnitud de su deficiencia, así como a volúmenes de fertilizantes empleados para corregirla. El P se encuentra en el suelo en formas orgánicas e inorgánicas (Alcantar, 2013).

Las raíces de las plantas son capaces de absorber fosfato de soluciones con concentraciones muy bajas del mismo. Generalmente el contenido de fosfato de las células radiculares y la savia del xilema es entre 100 y 1000 veces más alto que el de la solución del suelo. Esto demuestra que el fosfato es absorbido por las células de la planta en contra de un elevado gradiente de concentración (Mengel y Kirkby, 2000).

Una de las principales funciones del P es la estimulación en el desarrollo de las raíces, propiciando un mayor vigor y área radicular, lo cual permite a las plantas ser

más resistentes a las enfermedades (Velasco, 1999). El P también influye en el incremento y formación de flores y semillas (Alcantar, 2009).

La fertilización fosfatada siempre ha sido importante. Grandes zonas de tierras potencialmente aptas son aún pobres para la agricultura debido a la deficiencia de P. A esto se hay que añadir que los fosfatos en los suelos rápidamente pueden volverse no disponibles para las plantas, y que el P es el más inmóvil de los principales nutrientes vegetales (Mengel y Kirkby, 2000).

Por otra parte, puesto que el P es esencial para la multiplicación de los virus, un exceso de este puede incrementar la susceptibilidad de las plantas a las enfermedades ocasionadas por virus. Por ejemplo, un bajo nivel de concentración de P en la solución nutritiva balanceada presenta menor expresión de síntomas del Virus Mancha Anillada del Tabaco en calabacita (*Cucúrbita pepo* L.) y cuando se mantiene en cantidades normales se observa un incremento en la expresión de síntomas (Velasco, 1999).

5.9. El Calcio en las plantas

El Calcio es un elemento esencial con dos cargas positivas, es el quinto elemento más abundante en la corteza terrestre, es muy común que se encuentre en la solución del suelo y dependiendo el pH del suelo va ser su disponibilidad para las plantas. Este elemento se encuentra en dos minerales muy comunes, que son el sulfato de calcio y el carbonato de calcio. Después del potasio es uno de los elementos esenciales más abundantes en la planta, sin embargo, el calcio está presente en la mayoría de los cultivos, pero comparado al potasio está en menor concentración (Alcantar, 2009). El Ca está presente en las plantas entre 1-3 kg por 100 kg de materia seca, este elemento se presenta principalmente en hojas y tallos de las plantas, pero en muy baja concentración en semillas (Lawrence, 2007).

El contenido de calcio aumenta en todas las partes de las plantas, cuando el movimiento del agua aumenta por la transpiración. Con una adecuada aplicación de calcio ayuda a estimular el desarrollo de los pelos radiculares y de todo el sistema radicular. Estimula un desarrollo normal de las hojas y tiende a concentrarse en las

hojas y partes maduras de la planta, está presente en altas concentraciones en las hojas debido a la formación pectato de calcio que es un nutriente que se encuentra en las láminas medias de las paredes celulares (Lawrence, 2007).

La participación del Ca en la estructura de la pared celular es muy importante ya que se encuentra formando un compuesto llamado pectato de calcio, que es un compuesto que le da mayor rigidez a esta, dificultando el ataque de patógenos (Munévar, 2004).

Cuando ocurren desordenes fisiológicos por la deficiencia del calcio causan pudrición apical en frutos y otros órganos en cultivo de tomate, chile y sandia. Cuando se presenta esa pudrición, los tejidos se tornan necróticos y esto facilita la entrada de microorganismos y patógenos al interior de la planta (Lawrence, 2007).

Según Lawrence en 2007, la aplicación nitrato de calcio reduce la incidencia de la enfermedad llamada pudrición sureña causada por *sclerotium rolfsii* en el cultivo de zanahoria.

El incremento de calcio en el contenido vegetal de la planta ha sido asociado con el incremento a la resistencia de algunas enfermedades y se ven reflejados en algunos mecanismos como la inhibición directa de la poligalacturonasa por el calcio y otras enzimas pecto líticas producidas por el patógeno. El calcio incrementa la resistencia fortaleciendo las paredes celulares para evitar la degradación de la pared celular causada por dichas enzimas, también inhibe la producción de etileno (Yamazaki y Hoshina, 1995).

La nutrición con calcio aumenta la tolerancia y una alta supresión a la multiplicación de patógenos, resultando una supresión del desarrollo de la enfermedad en una resistencia en plantas de tomate (Yamazaki y Hoshina, 1995).

El calcio es esencial en el crecimiento de la planta y, además, actúa como un segundo mensajero universal involucrado en varios aspectos de respuesta a estrés de factores bióticos y abióticos en plantas. (Chandra *et al.*, 2014). Reportes actuales revelan que el óxido nítrico (NO), calcio (Ca²), calmodulina (CaM) y otras señales moleculares son requeridas para inducir arriba y abajo la regulación de la expresión

de la defensa de las plantas relacionada con moléculas como proteínas PR, fenoles, enzimas antioxidantes etc. (Chakraborty *et al.*, 2017).

5.10. El potasio en las plantas

El potasio (K) es un elemento básico en la planta, la absorción de este elemento es absorbido en grandes cantidades por la planta, es por eso que se le considera un macro elemento, que está relacionado con el rendimiento de los cultivos. Este es un elemento muy móvil en el interior de la planta y sus síntomas de deficiencia se presentan en hojas adultas. Promueve un mejor tamaño y calidad de frutos, imparte mayor vigor y resistencia a plagas y enfermedades, aumenta el tamaño de granos y semillas y controla la apertura y cierre de las estomas en las hojas de las plantas, esto provoca un control en la transpiración de la planta (Alcantar, 2009). Una deficiencia de potasio en la planta ocasiona que esta presente susceptibilidad a enfermarse. El K altera la severidad de muchas enfermedades del suelo y del medioambiente, sin embargo, es un efecto positivo para la planta esto siempre y cuando se le apliquen las cantidades óptimas y en el momento adecuado del nutriente (Lawrence, 2007).

La concentración de azúcares y aminoácidos es elevada en las hojas cuando hay deficiencia K, y como estas sustancias favorecen el desarrollo de los hongos, esta mayor concentración favorece las enfermedades fungosas (Munévar, 2004). Así mismo, la permeabilidad de las membranas citoplasmáticas aumenta cuando hay deficiencia de Ca o de B y esto favorece la acumulación de aminoácidos y azúcares en el apoplasto (región externa al citoplasma), lo cual ocurre también con la deficiencia de K, que limita la síntesis de polímeros (Munévar, 2004).

La compleja relación de la nutrición del K con las funciones metabólicas y el crecimiento, así como su interrelación con otros nutrimentos dentro de la planta y el suelo, permiten al K modificar la resistencia o susceptibilidad a las enfermedades. El K probablemente ejerza un gran efecto sobre la enfermedad, a través de una función metabólica específica que altera la compatibilidad de la relación ambiental parásito-huésped (Velasco, 1999).

5.11. Proteínas anti fúngicas

Los insectos y de patógenos sobre las plantas y granos almacenados, produce pérdidas muy elevadas para los agricultores, quienes han tenido que recurrir tradicionalmente al uso intensivo de pesticidas. Sin embargo, su utilización presenta grandes problemas, ya que, al no ser específicos contra una clase particular de organismos, y dado que su toxicidad abarca una amplia variedad de organismos, han generado daños considerables tanto al medioambiente, como a los organismos superiores, debido a que estos también son blanco de su toxicidad. Además, al llegar las lluvias, estas arrastran a los insecticidas remanentes, produciendo serias contaminaciones de los mantos freáticos (Blanco y Aguirre, 2002).

Los patógenos fúngicos de plantas tienen estrategias para reconocer al hospedante adecuado, penetrar e invadir el tejido vegetal, superar las defensas de la planta y optimizar su crecimiento dentro de la misma. Para realizar estos procesos, generalmente, el hongo tiene que percibir las señales químicas y físicas del hospedante y responder con los cambios metabólicos y morfogenéticos requeridos para el desarrollo patogénico. Tales cambios incluyen directamente el crecimiento de las hifas, la adhesión a la superficie vegetal, la diferenciación de las estructuras de infección especializadas y la secreción de enzimas líticas y fitotóxicas (González *et al.*, 2012). Por ello es necesario estudiar mecanismos alternos que permitan generar plantas con mayor resistencia al ataque de insectos y de patógenos, tales como los hongos, virus y nematodos, buscando mecanismos naturales que tengan una elevada selectividad y que, además, en las condiciones en las que el producto se ingiere, no presenten toxicidad contra los humanos o contra los animales (Blanco y Aguirre, 2002).

Las respuestas de las plantas requieren la síntesis de productos génicos específicos y dependen de las vías de transducción de señales conservadas involucradas con la activación de proteínas G, las señales de adenosín monofosfato cíclico (AMPc) y las cascadas de proteínas quinasas activadas por mitógenos (de sus siglas en inglés MAPK) (González *et al.*, 2012).

FOL es un hongo capaz de secretar enzimas y pequeñas proteínas durante la colonización de los vasos xilemáticos de la planta de tomate. Estas proteínas promueven la colonización del hospedante, por ejemplo, por la supresión de los mecanismos de resistencia basales. El repertorio de proteínas efectoras, determina la virulencia de un patógeno hacia un hospedante particular (González *et al.*, 2012).

Las plantas han evolucionado y con ello han generado una serie de sistemas de defensa contra el ataque de insectos y patógenos basados en barreras estructurales o químicas o generando una respuesta metabólica activa. La resistencia de las plantas está frecuentemente dividida en defensa constitutiva, expresada como una característica normal del desarrollo de la planta, o defensa inducible, la cual se activa al contacto con un organismo invasor.

Existe un número elevado de proteínas que han sido descritas como parte de los mecanismos de defensa de las plantas, las cuales, solo actuarían sobre los depredadores que ataquen a la planta o a los granos, sin causar daño a otros organismos. Por esta razón, es importante considerar que estos mecanismos alternos no deben ocasionar daño cuando el hombre o los animales los utilizan como alimento. Esto puede ocurrir debido a su inactivación durante el proceso de cocimiento, o bien, debido a su estricta selectividad que le permita reconocer como blanco solamente al insecto o patógeno correspondiente (Blanco y Aguirre, 2002).

A través de la evolución, los organismos han desarrollado mecanismos para defenderse activamente del ataque de los patógenos. El más sofisticado de estos mecanismos es el sistema inmunitario, que produce anticuerpos y células asesinas que reconocen y eliminan a los invasores o a células específicas. Estas reacciones inmunitarias se activan en respuesta a moléculas defectuosas o extrañas que invaden a los organismos multicelulares (Islas *et al.*, 2005).

En la periferia de la membrana plasmática ocurren eventos moleculares útiles para estudiar las interacciones planta-patógeno, de ahí que se considere el espacio intercelular, como el primer sitio de respuesta de la planta al ataque de microorganismos, además de construir una fuente importante de proteínas (PR). Las defensinas en las plantas, son péptidos pequeños (5kDa), básicos, con un patrón de

plegamiento 3D característico estabilizado por 8 cisteínas enlazadas por disulfuros; su estructura, comprende una triple hebra β -laminar con una α -hélice en paralelo (Riaño y Zamora, 2005).

En contraste, la inmunidad innata es una estrategia de defensa mucho más antigua y más ampliamente distribuida, e involucra, entre otras respuestas, la producción de péptidos (proteínas pequeñas) antibacterianos y anti fúngicos (que matan, respectivamente, a bacterias y hongos). Se sabe que los péptidos anti fúngicos y antibacterianos juegan un papel importante en los mecanismos que se encargan de eliminar o evitar el crecimiento de organismos patógenos, tanto en el interior como en el exterior de los organismos.

La búsqueda de nuevos compuestos anti fúngicos se ha extendido a campos como la agricultura. Así, se han caracterizado nuevas proteínas con actividad anti fúngica. Se han identificado 11 proteínas de FOL, las cuales se han denominado proteínas secretadas en el xilema (SIX). Tres de estas proteínas son contrarrestadas por los genes I de tomate: Avr1 (SIX4) es reconocida por los genes I e I-1 no alélico (22), Avr2 (SIX3) es reconocido por I-2 (23); y Avr3 (SIX1) es reconocido por I-3 (2). Avr2, Avr3 (2, 23) así como SIX6, son efectores genuinos y se ha encontrado que contribuyen con la virulencia general. Esto se ha evidenciado por la reducida virulencia del respectivo gen, en cepas que no lo contienen usualmente es mejor observado en la infección de plantas adultas que en los retoños (Gonzalez *et. al.* 2012).

Las proteínas anti fúngicas son útiles para estudiar las interacciones planta-patógeno, de ahí se considera el espacio intercelular como el primer sitio de respuesta de la planta al ataque de microorganismos, además de construir una fuente importante de proteínas.

Se han aislado diversas proteínas de plantas de tomate, tabaco y papa encontrando en algunas de ellas actividad anti fúngica contra microorganismos como *Phytophthora infestans*, *Clavibacter michiganensi*, *Botrytis cinerea* y *Fusarium oxisporum*, los cuales atacan generalmente estos cultivos (Riaño y Zamora, 2005).

Las plantas en condiciones de estrés y en presencia de agentes patógenos producen péptidos catiónicos, llamados defensinas con características tan similares a los que poseemos, que se han considerado como si formaran parte de un sistema inmune en ella (Riaño y Zamora, 2005).

Para el estudio de las proteínas se pueden determinar distintas características, entre las que destacan el peso molecular, el punto isoeléctrico, la secuencia de aminoácidos y la del gen que la codifica, así como la sensibilidad a distintos tratamientos (térmicos, pH, iones, etc.) (Rodríguez, 2009).

5.12. Enzimas en las plantas

Las enzimas son biocatalizadores de naturaleza proteica. Todas las reacciones químicas del metabolismo celular se realizan gracias a la acción de catalizadores o enzimas, las plantas al ser atacadas por microorganismos son capaces de activar los mecanismos defensivos; dentro de estos mecanismos se incluye el incremento en la activación de enzimas, tales como la fenilalanina amonio liasa (PAL), la cual es clave en la síntesis de metabolitos defensivos importantes, donde se destacan las fitoalexinas, que constituyen compuestos altamente tóxicos al patógeno. También se inducen otras enzimas defensivas, entre las que se encuentran: β -1,3 glucanasas, quitinasas, quitosanasas, entre otras (Rodríguez *et al.*, 2006).

Se encuentran enzimas como la catalasa que está relacionada con el control celular, cataliza la oxidación y reducción del peróxido de hidrógeno en agua y oxígeno. Las enzimas per oxidasas participan en el catabolismo de hormonas, oxidación de fenoles, en el entrecruzamiento de polisacáridos y proteínas de la pared celular, polimerización de lignina, maduración de frutos y la defensa en contra de patógenos (Ortega *et al.*, 2007).

Los inductores primarios derivados de patógenos y señales endógenas secundarias pueden activar una variedad de genes relacionados con las defensas de las plantas que codifican enzimas antioxidantes como per oxidasas (PO), glutamina S-tranferasas (GST), componentes de la pared celular, proteínas relacionadas con la

patogenia, inhibidores de la proteinasa, enzimas hidrolíticas, enzimas biosintéticas de fitoalexinas (Chakraborty *et al.*, 2017).

La sobre expresión de los genes relacionados con la defensa como la taumatina en arroz reduce la infección de *rhizoctonia solani* en este cultivo y de *alternaría dauci*, *A. Petroselini*, *A. radicina*, *Botrytis cinerea*, *R. solani*, y *Sclerotinia sclerotiorum* en zanahoria (Punja, 2005), (Grover y Gowthaman 2003).

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Área de estudio

El estudio se realizó en la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa, ubicada en el valle de Culiacán, Sinaloa, México, en el kilómetro 17.5 de la maxipista Culiacán-Mazatlán, que se encuentra con la localización geográfica de 24°36'58" de latitud norte y 107°25'48" de longitud oeste, a una altura de 19 m s.n.m. (INEGI, 2017).

6.2. Aislamiento de cultivos monospóricos *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (FOL)

De las plantas de tomate colectadas se cortaron trozos longitudinales de 3 mm del tallo y raíces, los cuales se desinfectaron superficialmente con hipoclorito de sodio al 2 % por 2 min y etanol al 70 % por 2 min, seguido de tres lavados consecutivos con agua destilada estéril. Para el crecimiento y desarrollo del hongo, el tejido vegetal fue depositado en cajas de Petri con medio papa-dextrosa-agar (PDA-Difco) suplementado con 1.5 mL L⁻¹ de PCNB (pentacloronitrobenzeno) y cloranfenicol (600 mg L⁻¹), incubándose a una temperatura de 25 °C durante cinco días.

El hongo se identificó mediante la utilización de un microscopio compuesto (Olympus Cx31), con base a la morfología del micelio y microconidias en las fiálides propuestas por Leslie y Summerell (2006). Para obtener cultivos monospóricos de FOL, se cortó un pequeño fragmento del micelio crecido en medio PDA, el cual fue diluido en 1.0 mL de agua destilada estéril y mediante un hematocitómetro se contabilizó el número de conidias y mediante diluciones seriadas se sembraron en cajas Petri con medio PDA, a partir de donde se obtiene el cultivo monospórico, los cuales se observaron al microscopio, ubicando esporas individuales germinadas; se marca el sitio sobre el agar y un fragmento de 64 este con la espора germinada y seleccionada se transfiere a una nueva caja de Petri con medio PDA suplementado con PCNB y cloranfenicol, incubándose en las mismas condiciones anteriormente mencionadas. Un pequeño trozo de medio PDA con el hongo desarrollado se transfiere a tubos de ensaye que contengan arena tamizada estéril (8 x 10 hilos/cm³) con medio líquido Komada

(Komada, 1975) y se almacenaron en un refrigerador una temperatura de 4 °C para su preservación (Velarde, 2014) (Rodríguez y Montilla, 2002).

Los aislamientos se encuentran depositados en la colección de aislamientos del laboratorio de Fito protección de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa como se muestran en el Cuadro 3. Los aislamientos fueron obtenidos de cultivos comerciales de tomate en el estado de Sinaloa, México en el ciclo otoño-invierno 2016-2017.

Cuadro 3. Origen, códigos y números de acceso del Genbank de *Fusarium oxysporum* Aisladas en plantas de tomate

Código de aislamiento	Origen	Acceso a Genbank
FOB20SINELO	Elota, Sinaloa	MH298326
FOB29SINESC	Escuinapa, Sinaloa	MH463539
FOB30SINFUE	El Fuerte, Sinaloa	MH463540
FOA62SINFUE	El Fuerte, Sinaloa	MH048074
FOA64SINELO	Elota, Sinaloa	MH048079
FOA66SINESC	Escuinapa, Sinaloa	MH048078

6.3. Identificación morfológica

Una vez crecidos los aislamientos del hongo en las cajas Petri con medio de cultivo PDA, a una temperatura de 25-28 °C se realizó una observación a través del microscopio para identificar los hongos del género *Fusarium*, según los criterios propuestos por Leslie y Summerell (2006).

6.4. Purificación de las cepas de (FOL)

Para la purificación de las cepas de FOL, se procedió a desinfectar con un mechero, saca bocado y una aguja para eliminar cualquier contaminación de bacteria y hongos. Se tomó la caja Petri en la que estaba crecida la colonia de FOL, se insertó el saca bocado y con la aguja se sacó la muestra para transferir a otra caja Petri con PDA, se selló con parafilm, y se rotuló con el nombre de la cepa y la fecha en que se hizo para llevar un control (Hernández y Rangel, 2011).

6.5. Extracción de ADN de cultivos monospóricos

Para la extracción del ADN se utilizó el método del CTAB, primeramente, el micelio del hongo se obtiene raspando con un asa bacteriológica estéril a partir del medio sólido, este se colocó en mortero y pistilo de porcelana, los cuales esterilizaron durante 5 min en un horno de microondas electrodoméstico (LG, modelo MS-1446SQP/01, funcionando en la frecuencia de las microondas, en torno a los 2.45 GHz (GigaHertz) y finalmente enfriados a $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Después se agregó 1 mL de amortiguador de extracción que contenía: NaCl 30 mM, ácido etilendinitrilo tetracético 30 mM (EDTA) y Tris Base 250 mM (pH 8.5), el cual se maceró. El producto de la maceración se colocó en tubos Eppendorf de 1.5 mL con su respectiva etiquetación. Enseguida se añadió a la muestra 100 μL de cetiltrimetilbromuro de amonio al 10 % (CTAB) y 250 μL de Cloruro de Sodio 5M (NaCl) incubándose a $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 30 min y, posteriormente, se centrifugó a 13 000 rpm durante 10 min y transcurrido este tiempo, la solución acuosa (sobrenadante) se transfirió a un tubo nuevo manualmente. A la solución acuosa se le añadió un volumen de cloroformo frío (v/v) y se agitó con un equipo de vortex 65 durante unos segundos, y posteriormente se centrifugó a 10 000 rpm durante 5 min, una vez transcurrido este tiempo, mediante pipeteo (manualmente) la solución acuosa se transfirió a un tubo nuevo sin tocar la interface con la pipeta, agregándosele un volumen isopropanol absoluto frío y agitándose manualmente. Posteriormente, las muestras fueron almacenadas en un equipo de refrigeración a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante una hora para permitir la precipitación del ADN. Ocurrido este tiempo, las muestras en tubos fueron centrifugadas a 13 000 rpm durante 10 min para obtener la pastilla de ADN, dejándose en reposo dos horas para que el ADN se deshidratara y finalmente el ADN obtenido de los diferentes aislamientos se re suspendieron en 50 μL de agua libre de nucleasas HPLC (Promega) y se almacenó a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ para su conservación (Velarde, 2014).

6.6. Siembra del cultivo de tomate

La siembra de la semilla de las cuatro variedades de tomate indeterminado se hizo en sustratos de turba y vermiculita fina, en charolas de 200 cavidades, depositando una semilla por cavidad. Se mantuvieron bajo condiciones adecuadas de invernadero, se

utilizaron las variedades Bony best (BB) susceptible a las tres razas de FOL, Manapal (M) resistente a la raza 1 de FOL, Walter (W) resistente a la raza 1 y 2 de FOL y FLA resistente a las tres razas de FOL.

Las pruebas de patogenicidad se realizaron utilizando las cuatro variedades de tomate. Las raíces de las plantas por genotipo en la etapa de dos hojas verdaderas cultivadas en turba estéril se lavaron y se remojaron en una suspensión conidial (1×10^5 UFC ml⁻¹) de cada aislado durante 10 min y luego se trasplantaron a una maceta que contenía una mezcla de suelo franco arenoso. La suspensión se obtuvo recogiendo las esporas de cada aislado. A los 40 días después de la inoculación, al momento de presentar 4 hojas verdaderas fueron cosechadas para los análisis correspondientes.

6.7. Solución nutritiva

La solución nutritiva (SN) se aplicó después de la inoculación de FOL, se utilizaron las concentraciones basadas en la solución universal de Steiner (1966) con agua destilada estéril, pero con modificaciones, se aumentó su concentración en un 15 % los cuatro elementos se redujeron a cero, como se muestra en el cuadro 4. Los fertilizantes utilizados en este experimento fueron, nitrato de potasio KNO_3 , nitrato de calcio $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$, fosfato monopotásico KH_2PO_4 , sulfato de potasio K_2SO_4 , cloruro de calcio $CaCl_2$ y cloruro de potasio KCl . De acuerdo con Duffy y Défago (1999).

Cuadro 4. Niveles de los factores en estudio

Fertilización (8 niveles)	Variedades (4 niveles)	FOL (3 niveles)
Nitrógeno	Bonie best	R1:FOB20SINELO
1: 00 mg L ⁻¹	Manapal	(#Accesión: MH298326).
2: 19 mg L ⁻¹	Walter	R2:FOA62SINFUE
Fósforo	FLA	(# Accesión: MH048074).
3: 00 mg L ⁻¹		R3: FOB25SINGUA
4: 37 mg L ⁻¹		(# Accesión: MH463538).
Potasio		FOB29SINESC
5: 00 mg L ⁻¹		(# Accesión: MH463539).
6: 31 mg L ⁻¹		FOB30SINFUE
Calcio		(# Accesión: MH463538).
7: 00 mg L ⁻¹		
8: 21 mg L ⁻¹		

6.8. Inoculación

El inóculo fue sembrado para su crecimiento en 150 mL de Papa Dextrosa Agar con un (pH 5.5; Oxoid) en matraz Erlenmeyer titulado de 500 mL a una temperatura de 24 °C por 5–7 días mezclándolos a una velocidad de 130 rpm. Los medios de cultivo fueron centrifugados por (15 min a 2200 gn) para recolectar el hongo en biomasa, debe ser homogenizado brevemente el medio de cultivo en una licuadora eléctrica antes de agregarlo a la solución nutritiva (Duffy y Défago, 1999). Posterior a la siembra, todas las plantas se inocularon a los 40 días (al presentar dos hojas verdaderas), por el método de inmersión de raíz, esta fue sumergida por 15 min con FOL con una cantidad de 1×10^6 conidios.

6.9. Trasplante

Las plántulas se pasaron a un sustrato con turba y vermiculita en charolas de 128 cavidades con un volumen de 46 mL.

6.10. Análisis foliar

A los 50 días después de la siembra (dds) se determinaron las concentraciones de los elementos en tejido vegetal de las plantas de tomate se utilizaron las siguientes metodologías propuestas por Motsara y Roy (2008).

Las muestras en fresco de cada órgano de la planta se lavaron con agua destilada, posteriormente con ácido clorhídrico 0.1 mol L^{-1} y se enjuagó con agua destilada. Después de lavar las muestras fueron secadas inmediatamente para estabilizar el tejido y detener las reacciones enzimáticas.

Las muestras se introdujeron en bolsas de papel y se colocaron en una estufa con aire forzado y se secaron a $70 \text{ °C} \pm 5 \text{ °C}$ por 12 a 24 horas. Una vez seca la muestra se trituraron en un molino hasta que pasó a través de un tamiz de 1.0 mm. Después de la molienda se homogenizó la muestra y se separó en porciones de 5 a 10 g para los análisis y almacenaje.

De la muestra que se homogenizó se pesaron 2 g en un crisol y se colocaron en una mufla con una temperatura de 450 °C en dos horas. Posteriormente, la muestra se retiró cuidadosamente y se dejó enfriar, agregándole de 2-3 mL de agua destilada para humedecer las cenizas. Después se agregó 1 mL de ácido clorhídrico gota a gota y se esperó hasta que cesó el burbujeo.

Posteriormente, las cenizas se calentaron suavemente en un plato calefactor a una temperatura de 80 °C hasta la aparición de humos y se dejó enfriar. Se agregaron 2-3 mL de agua destilada (Faithfull, 2005) y se coló a través de un papel filtro, recibéndolo en un matraz aforado de 100 mL. Después se lavó con agua hasta llegar a un volumen cercano a 50 mL. A continuación, el papel filtro se colocó con su contenido en el crisol y se calentó suavemente en una estufa hasta que se secó. Posteriormente, el crisol se colocó en la mufla fría y se aumentó la temperatura a 550 °C manteniendo la temperatura por 30 min y enfriarlo.

Se agregaron 5 mL de ácido fluorhídrico. También se calentó en un plato calefactor evitando la ebullición hasta que este seco y se dejó enfriar.

Se agregó 1mL de ácido clorhídrico y calentar hasta la aparición de humo y enfriar.

Se agregó 2-3mL de agua destilada y se filtró en el mismo matraz aforado para lavar con agua destilada.

Ya al realizar estos pasos se analizó el (P) utilizando un equipo llamado espectrofotómetro se toma la lectura y se realizaron los cálculos correspondientes.

Para calcular el (N) se utilizó la titulación de las muestras.

Para el cálculo de (K), (Ca) se utilizó el flamómetro (Faithfull, 2005).

6.11. Severidad de la enfermedad

La inoculación de FOL se realizó en plántulas con un desarrollo de 15 - 25 días después de la siembra, con una suspensión conidial de 10^5 mL^{-1} a través de la inmersión de raíces. Inmediatamente se trasplantó en un sustrato inerte llamado lana de roca para evitar la retención de los elementos por el sustrato con turba y vermiculita y así la planta pueda absorber los nutrientes que se le suministren, la planta se depositó en charolas de 128 cavidades. Las plantas se mantuvieron en suelo húmedo durante todo el período de la evaluación en un invernadero, con una temperatura ambiente aproximada de $25 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$.

La evaluación de la respuesta a la inoculación se realizó 25 días después de la inoculación con base a la presencia o ausencia de síntomas de la enfermedad, considerados estos como amarillamiento foliar, marchitez, coloración amarillenta o café de los haces vasculares y coloración café en la raíz.

El daño de la enfermedad fue medido en una escala del 0-4 de acuerdo al método establecido por (Mihuta *et al.*, 1990) donde 0= 0 %; 1=necrosis ligera (1-33 %); 2=necrosis moderada y decoloración (34-66 %); 3= Necrosis extrema y decoloración (67-100 %); 4= Planta muerta.

La incidencia de la enfermedad fue medida mediante la ecuación:

$$\text{DII} = \{(\sum S_i * N_i) / (4 * N_t)\} * 100$$

Donde:

S_i = Síntoma de severidad, N_i = Número de plantas con síntomas de severidad, N_t = Número total de plantas, DII= Índice de severidad de la enfermedad, valor promedio de expresión de la intensidad de la enfermedad expresado en porcentaje (Cachinero *et al.*, 2002).

6.12. Diseño experimental

Se estableció un diseño completamente al azar con un arreglo factorial con seis repeticiones teniendo un total de 96 tratamientos como se muestra en el cuadro 5, para la variable respuesta de severidad de la enfermedad. Los datos fueron analizados mediante la prueba no paramétrica de Kruskal Whallis ($\alpha = 0.01$), Para las variables de análisis foliar de los elementos se realizó una prueba de normalidad y homogeneidad de las varianzas de Bartlett, de ANOVA y una prueba de comparación de medias Tukey ($\alpha = 0.01$). También se realizó un dendrograma mediante el método jerárquico de Ward (Hair, *et al.*, 1999) utilizando a la distancia Euclidiana como medida de disimilitud.

Cuadro 5. Tratamientos y los niveles de los factores

Tratamiento	Fertilización	Raza	Variedad	Tratamiento	Fertilización	Raza	Variedad
1	0 N	R1	BB	51	OK	R1	W
2	0 N	R1	M	52	OK	R1	FLA
3	0 N	R1	W	53	OK	R2	BB
4	0 N	R1	FLA	54	OK	R2	M
5	0 N	R2	BB	55	OK	R2	W
6	0 N	R2	M	56	OK	R2	FLA
7	0 N	R2	W	57	OK	R3	BB
8	0 N	R2	FLA	58	OK	R3	M
9	0 N	R3	BB	59	OK	R3	W
10	0 N	R3	M	60	OK	R3	FLA
11	0 N	R3	W	61	15 % K	R1	BB
12	0 N	R3	FLA	62	15 % K	R1	M
13	15 % N	R1	BB	63	15 % K	R1	W
14	15 % N	R1	M	64	15 % K	R1	FLA
15	15 % N	R1	W	65	15 % K	R2	BB
16	15 % N	R1	FLA	66	15 % K	R2	M
17	15 % N	R2	BB	67	15 % K	R2	W
18	15 % N	R2	M	68	15 % K	R2	FLA
19	15 % N	R2	W	69	15 % K	R3	BB
20	15 % N	R2	FLA	70	15 % K	R3	M
21	15 % N	R3	BB	71	15 % K	R3	W
22	15 % N	R3	M	72	15 % K	R3	FLA
23	15 % N	R3	W	73	0 Ca	R1	BB
24	15 % N	R3	FLA	74	0 Ca	R1	M
25	0 P	R1	BB	75	0 Ca	R1	W
26	0 P	R1	M	76	0 Ca	R1	FLA
27	0 P	R1	W	77	0 Ca	R2	BB
28	0 P	R1	FLA	78	0 Ca	R2	M
29	0 P	R2	BB	79	0 Ca	R2	W
30	0 P	R2	M	80	0 Ca	R2	FLA
31	0 P	R2	W	81	0 Ca	R3	BB
32	0 P	R2	FLA	82	0 Ca	R3	M
33	0 P	R3	BB	83	0 Ca	R3	W
34	0 P	R3	M	84	0 Ca	R3	FLA
35	0 P	R3	W	85	15 % Ca	R1	BB
36	0 P	R3	FLA	86	15 % Ca	R1	M
37	15 % P	R1	BB	87	15 % Ca	R1	W
38	15 % P	R1	M	88	15 % Ca	R1	FLA
39	15 % P	R1	W	89	15 % Ca	R2	BB
40	15 % P	R1	FLA	90	15 % Ca	R2	M
41	15 % P	R2	BB	91	15 % Ca	R2	W
42	15 % P	R2	M	92	15 % Ca	R2	FLA
43	15 % P	R2	W	93	15 % Ca	R3	BB
44	15 % P	R2	FLA	94	15 % Ca	R3	M
45	15 % P	R3	BB	95	15 % Ca	R3	W
46	15 % P	R3	M	96	15 % Ca	R3	FLA
47	15 % P	R3	W				
48	15 % P	R3	FLA				
49	0 K	R1	BB				
50	0 K	R1	M				

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Severidad de la enfermedad

De acuerdo con el DSI de los 96 tratamientos, al realizar el análisis de clasificación aglomerativa jerárquica, teniendo como criterio de disimilitud a la distancia euclidiana, se conformaron 6 grupos, como se muestran en la figura 2.

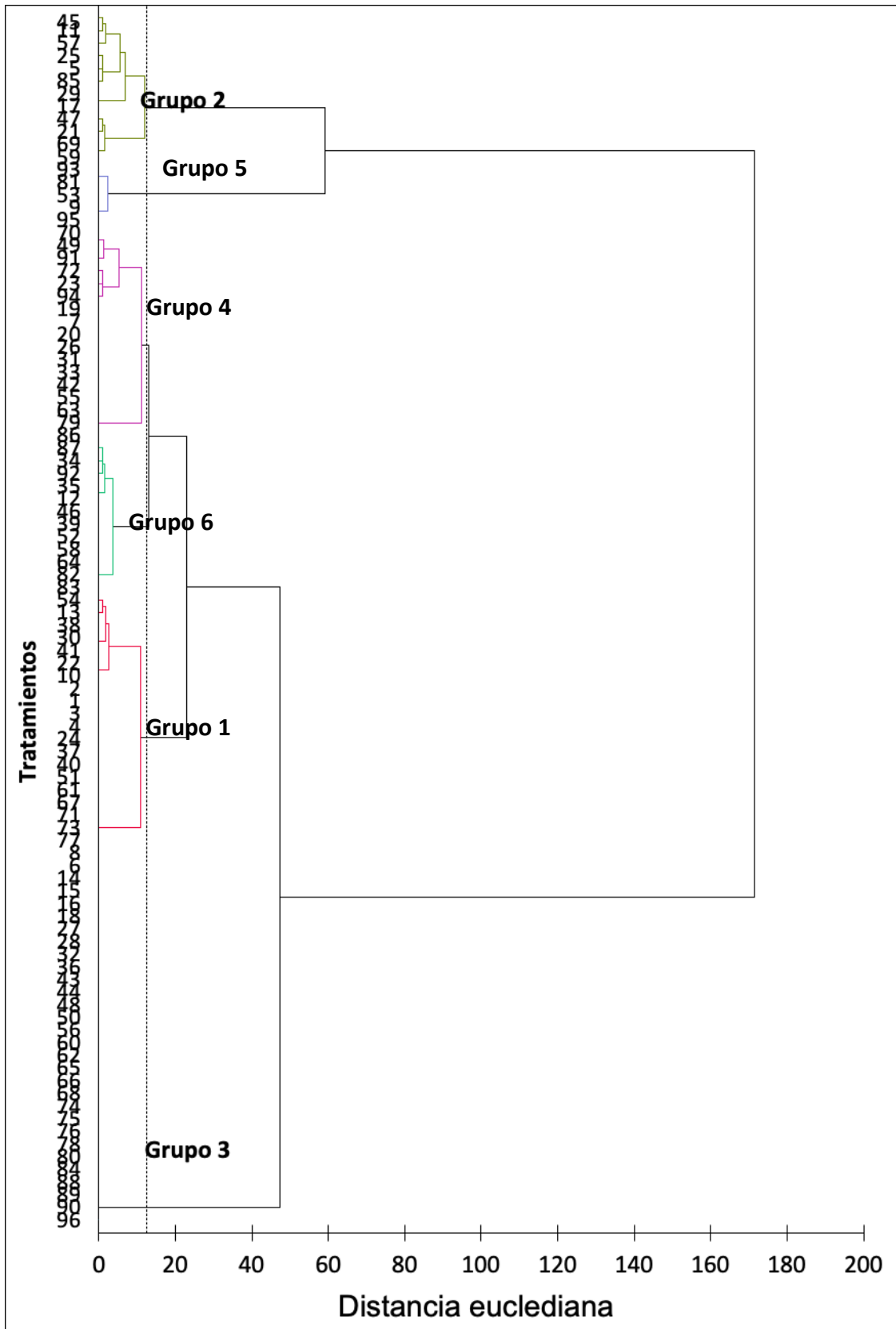


Figura 2. Dendrograma basado en la severidad de la enfermedad en las plantas de tomate

El grupo 1 se compone de 20 tratamientos y se caracteriza por la presencia de síntomas de severidad de nivel 1 (necrosis ligera) y un índice de severidad de 20.83 % en promedio. Dentro de este grupo destacan los tratamientos 30, 38 y 41 con un índice de severidad de 16.67. En cuanto a los tratamientos es un grupo muy heterogéneo, aunque algo en común de todos los tratamientos que componen a este grupo es que no tienen el aumento del 15 % de Ca, como se muestra en el cuadro 6.

Cuadro 6. Distribución de los síntomas de severidad del grupo 1 formado en el dendrograma de clasificación

Tratamiento	Fertilización	Raza	Variedad	Síntoma de severidad					Índice de severidad
				0	1	2	3	4	
1	0 N	R1	BB	1	5	0	0	0	20.83
2	0 N	R1	M	1	5	0	0	0	20.83
3	0 N	R1	W	1	5	0	0	0	20.83
4	0 N	R1	FLA	1	5	0	0	0	20.83
10	0 N	R3	M	1	4	1	0	0	25.00
13	15 % N	R1	BB	2	3	0	1	0	25.00
22	15 % N	R3	M	1	4	1	0	0	25.00
24	15 % N	R3	FLA	1	5	0	0	0	20.83
30	0 P	R2	M	2	4	0	0	0	16.67
37	15 % P	R1	BB	1	5	0	0	0	20.83
38	15 % P	R1	M	2	4	0	0	0	16.67
40	15 % P	R2	BB	1	5	0	0	0	20.83
41	15 % P	R2	M	2	4	0	0	0	16.67
51	0 K	R1	W	1	5	0	0	0	20.83
54	0 K	R2	M	2	3	1	0	0	20.83
61	15 % K	R1	BB	1	5	0	0	0	20.83
67	15 % K	R2	W	1	5	0	0	0	20.83
71	15 % K	R3	W	1	5	0	0	0	20.83
73	0 Ca	R1	BB	1	5	0	0	0	20.83
77	0 Ca	R2	BB	1	5	0	0	0	20.83

Donde 0= 0 %; 1=necrosis ligera (1-33 %); 2=necrosis moderada y decoloración (34-66 %); 3= Necrosis extrema y decoloración (67-100 %); 4= Planta muerta.

En el cuadro 7 se tienen las características de los tratamientos que conforman el grupo 2, el cual está definido por tener el índice de severidad más alto y por tener plantas con nivel de severidad 4, lo que significa que las plantas murieron. Dentro de este grupo destacan los tratamientos: 5, 11, 17, 25 y 29 (0P-R2-BB), los cuales, en su mayoría tienen en común, la variedad BB.

Cuadro 7. Distribución de los síntomas de severidad del grupo 2 formado en el dendrograma de clasificación

Tratamiento	Fertilización	Raza	Variedad	Síntoma de severidad					Índice de severidad
				0	1	2	3	4	
5	0 N	R2	BB	0	1	1	1	3	75.00
11	0 N	R3	W	0	2	0	2	2	66.67
17	15 % N	R2	BB	0	1	1	3	1	66.67
21	15 % N	R3	BB	1	2	2	0	1	41.67
25	0 P	R1	BB	0	1	2	1	2	66.67
29	0 P	R2	BB	0	1	1	3	1	66.67
45	15 % P	R3	BB	0	3	0	2	1	54.17
47	15 % P	R3	W	0	2	3	0	1	50.00
57	0 K	R3	BB	1	2	0	1	2	54.17
59	0 K	R3	W	0	2	2	1	1	54.17
69	15 % K	R3	BB	0	2	2	1	1	54.17
85	15 % Ca	R1	BB	0	2	1	1	2	62.50

En el cuadro 8 se tiene al grupo 3, el cual se compone de 30 tratamientos, siendo el grupo más grande formado en el dendrograma. Se caracteriza porque todas las plantas se enfermaron, presentando solo necrosis ligera (nivel 1). Destaca que la mayor parte de los tratamientos incluyen a la variedad FLA y solo dos son de la variedad BB. Otra característica importante es que, de los 30 tratamientos que conforman este grupo, a 15 de les falta de un elemento nutritivo. Además, 14 de los 30 tratamientos contienen a la raza 2.

Cuadro 8. Distribución de los síntomas de severidad del grupo 3 formado en el dendrograma de clasificación

Tratamiento	Fertilización	Raza	Variedad	Síntoma de severidad					Índice de severidad
				0	1	2	3	4	
6	0 N	R2	M	0	6	0	0	0	25
8	0 N	R2	FLA	0	6	0	0	0	25
14	15 % N	R1	M	0	6	0	0	0	25
15	15 % N	R1	W	0	6	0	0	0	25
16	15 % N	R1	FLA	0	6	0	0	0	25
18	15 % N	R2	M	0	6	0	0	0	25
27	0 P	R1	W	0	6	0	0	0	25
28	0 P	R1	FLA	0	6	0	0	0	25
32	0 P	R2	FLA	0	6	0	0	0	25
36	0 P	R3	FLA	0	6	0	0	0	25
43	15 % P	R2	W	0	6	0	0	0	25
44	15 % P	R2	FLA	0	6	0	0	0	25
48	15 % P	R3	FLA	0	6	0	0	0	25
50	0 K	R1	M	0	6	0	0	0	25
56	0 K	R2	FLA	0	6	0	0	0	25
60	0 K	R3	FLA	0	6	0	0	0	25
62	15 % K	R1	M	0	6	0	0	0	25
65	15 % K	R2	BB	0	6	0	0	0	25
66	15 % K	R2	M	0	6	0	0	0	25
68	15 % K	R2	FLA	0	6	0	0	0	25
74	0 Ca	R1	M	0	6	0	0	0	25
75	0 Ca	R1	W	0	6	0	0	0	25
76	0 Ca	R1	FLA	0	6	0	0	0	25
78	0 Ca	R2	M	0	6	0	0	0	25
80	0 Ca	R2	FLA	0	6	0	0	0	25
84	0 Ca	R3	FLA	0	6	0	0	0	25
88	15 % Ca	R1	FLA	0	6	0	0	0	25
89	15 % Ca	R2	BB	0	6	0	0	0	25
90	15 % Ca	R2	M	0	6	0	0	0	25
96	15 % Ca	R3	FLA	0	6	0	0	0	25

El grupo 4 se compone de 17 tratamientos como se observa en el cuadro 9, en este grupo se tienen plantas muertas, aunque la mayor parte de ellos alcanzó solo el nivel 1 de daños y se diferencia del grupo 3 en que también ocurrieron algunas plantas con nivel de daño 2 (necrosis moderada) y algunas con nivel de daño 3 (necrosis extrema).

Cuadro 9. Distribución de los síntomas de severidad del grupo 4 formado en el dendrograma de clasificación

Tratamiento	Fertilización	Raza	Variedad	Síntoma de severidad					Índice de severidad
				0	1	2	3	4	
7	0 N	R2	W	0	5	1	0	0	29.17
19	15 % N	R2	W	0	5	1	0	0	29.17
20	15 % N	R2	FLA	0	5	1	0	0	29.17
23	15 % N	R3	W	0	3	2	1	0	41.67
26	0 P	R1	M	0	5	1	0	0	29.17
31	0 P	R2	W	0	5	1	0	0	29.17
33	0 P	R3	BB	0	5	1	0	0	29.17
42	15 % P	R2	M	0	5	1	0	0	29.17
49	0 K	R1	BB	0	5	0	1	0	33.33
55	0 K	R2	W	0	5	1	0	0	29.17
63	15 % K	R1	W	0	5	1	0	0	29.17
70	15 % K	R3	M	0	5	0	1	0	33.33
72	15 % K	R3	FLA	0	4	1	1	0	37.50
79	0 Ca	R2	W	0	5	1	0	0	29.17
86	15 % Ca	R1	M	0	5	1	0	0	29.17
91	15 % Ca	R2	W	0	4	0	2	0	41.67
94	15 % Ca	R3	M	0	3	1	2	0	45.83

El grupo 5 se integra por cinco tratamientos los cuales se presentan en el cuadro 10, se caracteriza porque aproximadamente el 50 % de las plantas no presentaron daño y el otro 50 % solo tuvo daños de nivel 1. Siendo el grupo con menor índice de severidad. Los tratamientos de este grupo se caracterizan por ser de la variedad BB, con excepción del tratamiento 95 que es de la variedad W. También fueron inoculadas con la raza 3, a excepción del tratamiento 53 que fue inoculado con la raza 2. Esto sugiere que la combinación de la raza 3 con la variedad BB, es la de menor severidad. También llama la atención que 3 de los cinco tratamientos que conforman a este grupo tienen la carencia de un nutriente (N, K y Ca). Los otros dos tratamientos contienen calcio al 15 %.

La severidad de la fusariosis vascular causada por FOL fue estadísticamente menor en los tratamientos 93 y 81 (Cuadro 10). Los tratamientos 93 (Ca al 15 %, R3, variedad BB) y 81 (0Ca, R3 y la variedad BB), presentaron una disminución de la severidad de la enfermedad. Woltz *et al.* (1992), concluyeron que, al incrementar el calcio, la enfermedad de FOL se redujo, ya que se encuentra un adecuado contenido

del calcio en el tejido de la planta de tomate el cual reduce las enzimas que degradan las paredes celulares producidas por FOL. Además, se ha reportado que la deficiencia de Ca en las plantas aumenta la permeabilidad de las membranas citoplasmáticas, lo que favorece la acumulación de azúcares y aminoácidos en el apoplasto (Munévar, 2004), esto limita la síntesis de polímeros los cuales pueden tener un efecto negativo en el desarrollo del patógeno (Rodríguez-Pedroso *et al.*, 2009).

Por otra parte, el Ca es fundamental en la estructura de la pared celular, por lo que, su deficiencia podría causar una pérdida de rigidez de la pared celular y facilitar la infección de patógenos en las plantas (Munévar, 2004). Yamazaki y Hoshina (1995) encontraron que la nutrición con calcio es importante para la resistencia al marchitamiento bacteriano en tomate, reportando que, al incrementar el contenido de calcio en los tejidos de las plantas, se induce a la resistencia de algunas enfermedades y han mostrado algunos mecanismos posibles: el calcio realiza una inhibición directa de la poligalacturonasa y otras enzimas pecto líticas producidas por el patógeno. Según Lawrence (2007), la aplicación de nitrato de calcio reduce la incidencia de la enfermedad llamada pudrición sureña causada por *Sclerotium rolfsii* en el cultivo de zanahoria. Por lo anterior se puede inferir que la aplicación de calcio en los tratamientos pudo haber beneficiado en la sanidad de las plantas de tomate.

El índice de severidad más bajo se presentó con un valor de 8.5 %. Esto concuerda con lo obtenido por Quiroga *et al.*, (2007), que encontraron niveles bajos de severidad entre 3.5 y 5.8 %, mientras que Delgado y colaboradores (2016), obtuvieron resultados similares en ajo donde los índices de severidad oscilaron entre 2.25 a 3.5 %. Cachinero *et al.*, (2002) obtuvieron un índice de severidad del 5 % en garbanzo, los cuales inocularon la raza 5 de *Fusarium oxysporum* f.sp. *ciceris*.

El aumento del Ca se reporta como un evento importante durante la interacción patógeno-huésped que induce respuestas inmunes innatas de la planta (Chakraborty *et al.*, 2017). El Ca actúa como elemento estructural y promotor en la activación de algunas enzimas que participan en la defensa contra algunos patógenos y desórdenes fisiológicos, según García (2001), el calcio también inhibe drásticamente la acción de la poligalacturonasa, porque los niveles altos de calcio en el apoplasto de las células generan mayor proporción de pectatos y así mayor resistencia a la desintegración de las paredes; el Ca puede actuar como

amplificador de ciertas señales de defensa contra la mancha de madurez e incrementar la velocidad de respuesta de la planta frente a la incidencia. Diversos reportes científicos demuestran la relación estrecha de la enfermedad con las deficiencias de calcio en épocas de sequía. La fertilización y el comportamiento del calcio con respecto a otros nutrientes del suelo son también factores que inciden en la mancha de madurez, incidencia que es reducida con fertilizaciones de nitrato de calcio (Díaz *et al.*, 2007).

Cuadro 10. Distribución de los síntomas de severidad del grupo 5 formado en el dendrograma de clasificación

Tratamiento	Fertilización	Raza	Variedad	Síntoma de severidad					Índice de severidad
				0	1	2	3	4	
9	0 N	R3	BB	3	3	0	0	0	12.50
53	0 K	R2	BB	3	3	0	0	0	12.50
81	0 Ca	R3	BB	4	2	0	0	0	8.33
93	15 % Ca	R3	BB	4	2	0	0	0	8.33
95	15 % Ca	R3	W	3	3	0	0	0	12.50

El grupo 6 se integra por 11 tratamientos, destacando que la mayor parte de las plantas tienen nivel de daño 1, sin embargo, en todos los tratamientos se tuvo presencia de plantas muertas, con un índice de severidad entre 33 y 50 %. Destaca que en este grupo no se encuentra la variedad BB y que la mayor parte de los tratamientos contienen la raza 3 y solo 1 es de la raza 2. En cuanto a la fertilización, se tiene que la mayor parte de los tratamientos carece de algún nutriente.

Cuadro 11. Distribución de los síntomas de severidad del grupo 6 formado en el dendrograma de clasificación

Tratamiento	Fertilización	Raza	Variedad	Síntoma de severidad					Índice de severidad
				0	1	2	3	4	
12	0 N	R3	FLA	0	4	1	0	1	41.67
34	0 P	R3	M	0	4	0	0	2	50.00
35	0 P	R3	W	0	4	1	0	1	41.67
39	15 % P	R1	W	0	5	0	0	1	37.50
46	15 % P	R3	M	0	5	0	0	1	37.50
52	0 K	R1	FLA	0	5	0	0	1	37.50
58	0 K	R3	M	0	5	0	0	1	37.50
64	15 % K	R1	FLA	0	5	0	0	1	37.50
82	0 Ca	R3	M	0	5	0	0	1	37.50
83	0 Ca	R3	W	0	5	0	0	1	37.50
87	15 % Ca	R1	W	1	4	0	0	1	33.33
92	15 % Ca	R2	FLA	0	4	0	1	1	45.83

Los resultados anteriores muestran que la variedad FLA, en todos los tratamientos tuvo al menos un grado de severidad. En contraparte, la variedad BB, asociada con la raza tres, presentó plantas sin síntomas de la enfermedad. Por otro lado, la variedad BB fue la que predominó en el grupo donde fue el nivel de severidad más alto.

7.2. Relación entre variables dependientes

A continuación, se muestran los análisis de la relación entre las variables dependientes estudiadas en esta investigación.

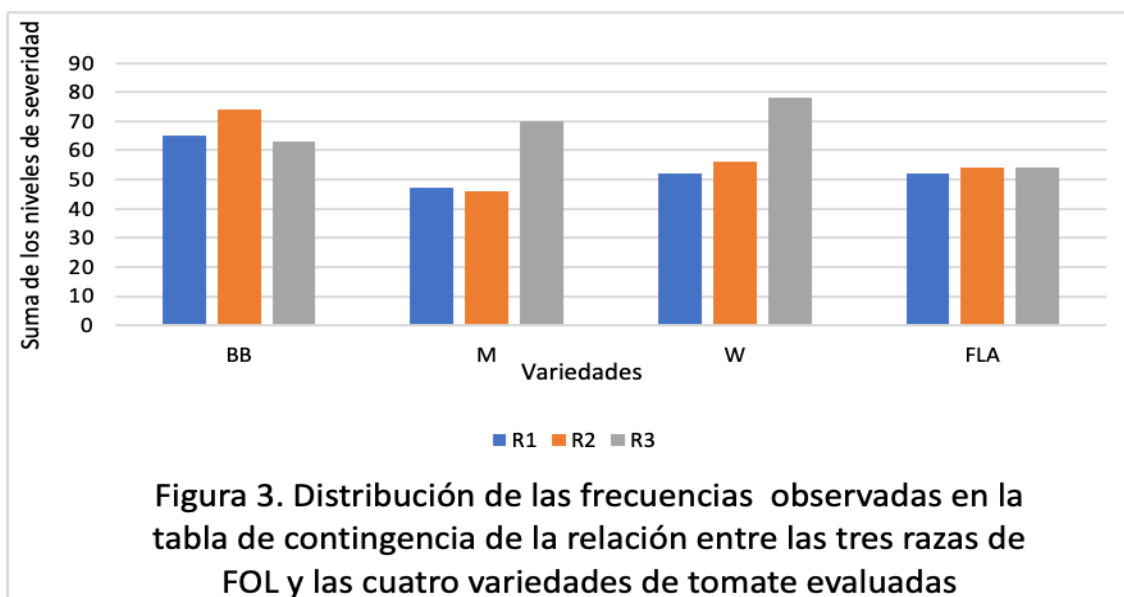
7.2.1. Relación de razas de FOL y variedades de tomate

Al realizar la tabla de contingencia con los datos de las variables dependientes, se encontró que entre razas y variedades no hay asociación entre dichas variables, aplicando la prueba de independencia de Chi cuadrada, como se observa en el cuadro 12.

Cuadro 12. Prueba de independencia entre las razas y variedades evaluadas (Chi-cuadrada)

Chi-cuadrada (Valor observado)	8.36
Chi-cuadrada (Valor crítico)	12.59
GL	6.00
valor-p	0.21
alfa	0.05

A pesar de que el análisis de asociación no muestra diferencias estadísticas, la Figura 3, se observa que la raza tres sí manifestó mayor frecuencia en las variedades B y C. Por el contrario, en la variedad D, las frecuencias fueron muy similares.



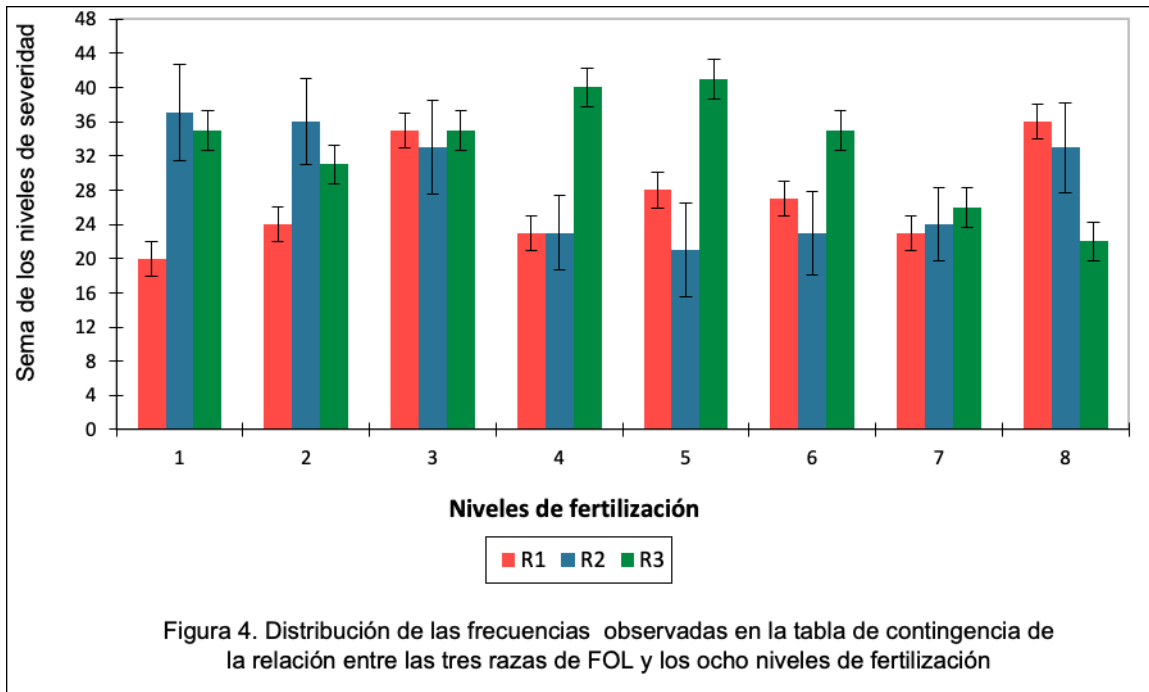
7.2.2. Relación entre razas de FOL y nivel de fertilización

Con respecto a la relación entre la variable raza y nivel de fertilización tampoco se encontró asociación entre dichas variables (Cuadro 13). Aunque, como se muestra en el cuadro, si se aplica un alfa de 0.1, sí se tendría diferencia estadística significativa, pues se tuvo un daño de 22. Cuando la frecuencia esperada es de 33.9. Es decir, que la raza 3 disminuye su severidad en presencia de calcio.

Cuadro 13. Prueba de independencia entre las razas y los niveles de fertilización (Chi-cuadrada)

Chi-cuadrada (Valor observado)	22.46
Chi-cuadrada (Valor crítico)	23.68
GL	14.00
valor-p	0.07
alfa	0.05

La asociación entre la raza 3 y el nivel de fertilización se manifiesta en la Figura 4, donde se muestra que la carencia de potasio permite la mayor actividad de la raza 3, asimismo, la presencia de fósforo provoca el mismo resultado. Además, raza 3 manifiesta menor severidad en tratamiento con aumento de calcio (nivel 8 de fertilización).



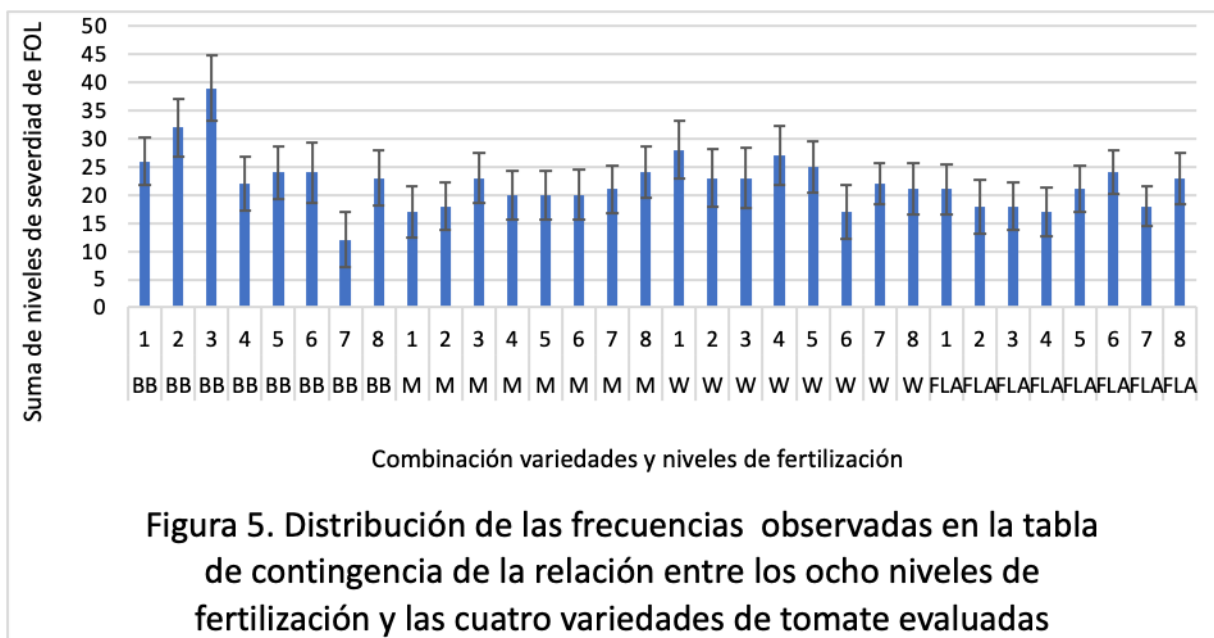
7.2.3. Relación entre las variedades y los niveles de fertilización

Al analizar la relación entre la variable variedad y los niveles de fertilización, se encontró que no hay asociación entre ellas (Cuadro 14).

Cuadro 14. Prueba de independencia entre las variedades evaluadas y los niveles de fertilización (Chi-cuadrada)

Chi-cuadrada (Valor observado)	19.56
Chi-cuadrada (Valor crítico)	32.67
GL	21.00
valor-p	0.55
alfa	0.05

Aunque se observa que la variedad BB tuvo mayor nivel severidad con la fertilización sin fósforo.

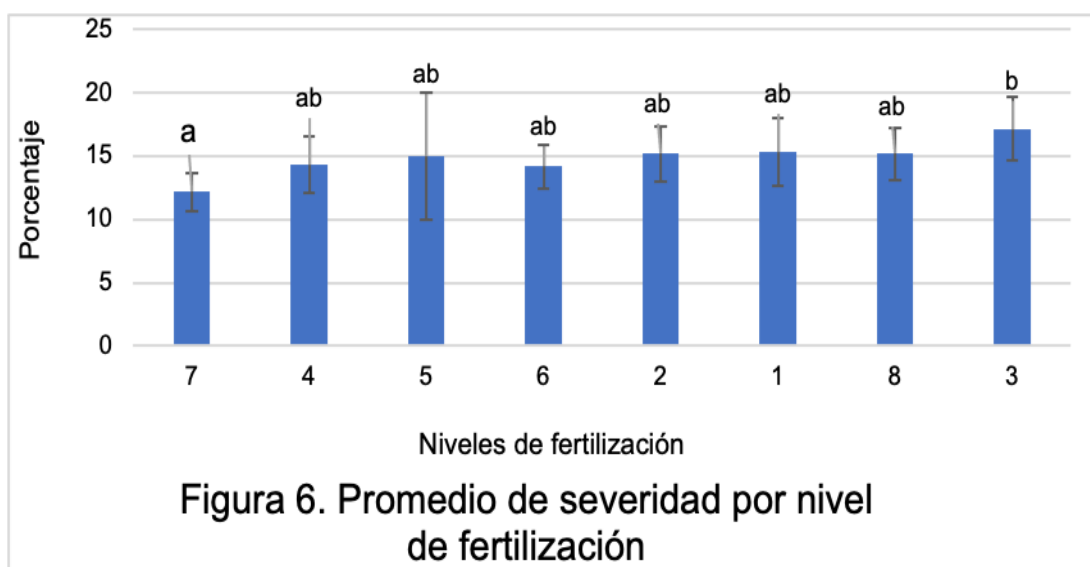


Al realizar el análisis mediante una la prueba estadística no paramétrica por separado, el efecto de las variables independientes sobre la severidad de la enfermedad, se encontró que la variable raza influye en la severidad de la enfermedad con un valor de alfa de 0.05 (Cuadro 15), mientras que la variable fertilización resultó significativo con un nivel de alfa de 0.1. Mientras que para la variable variedad no se tuvo diferencia estadística significativa.

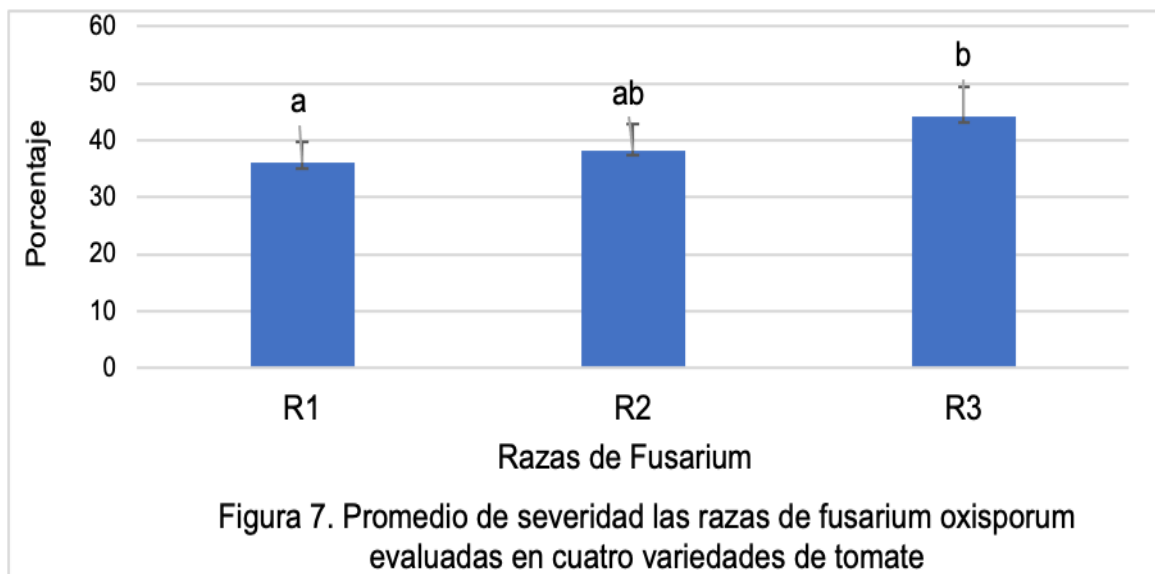
Cuadro 15. Prueba de Kruskal-Wallis / Prueba bilateral (variedad, fertilización y razas)

	Variedad	Fertilización	Raza
K (Valor observado)	5.16	12.37	6.65
K (Valor crítico)	7.82	12.02	5.99
GL	3.00	7.00	2.00
valor-p (unilateral)	0.16	0.09	0.04
alfa	0.05	0.10	0.05

Se puede observar en la (Figura 6) que, al realizar la prueba no paramétrica, la severidad de la enfermedad se encontró a un nivel más bajo en la fertilización a la cual no se le aplicó Ca utilizando un nivel de alfa de 0.1, comparado con el nivel donde se presentó el más alto daño de severidad de la enfermedad al cual no se le aplicó P. Esto ocurre ya que las aplicaciones de P reducen las enfermedades en semillas, así como enfermedades fungosas en la raíz, al estimular un desarrollo vigoroso que permite a las plantas evadir las enfermedades. Estos resultados muestran que al aplicar fósforo a la solución nutritiva en cantidad de 31 mg L⁻¹ se puede reducir la severidad del daño por *Fusarium* en plantas de tomate, como lo menciona Velasco (1999), que las aplicaciones de P reducen las enfermedades en semillas, así como enfermedades fungosas en la raíz, al estimular un desarrollo vigoroso que permite a las plantas evadir las enfermedades puesto que el P es esencial para la multiplicación de los virus, un exceso de este puede incrementar la susceptibilidad de las plantas a las enfermedades causadas por virus.



Se puede observar en la (Figura 7) que, al realizar la prueba no paramétrica, la severidad de la enfermedad se presentó con un nivel más bajo cuando se inoculó la raza 1 de FOL, contrastando con la raza 3 la cual causó una mayor severidad de la enfermedad, utilizando un nivel de alfa de 0.05.

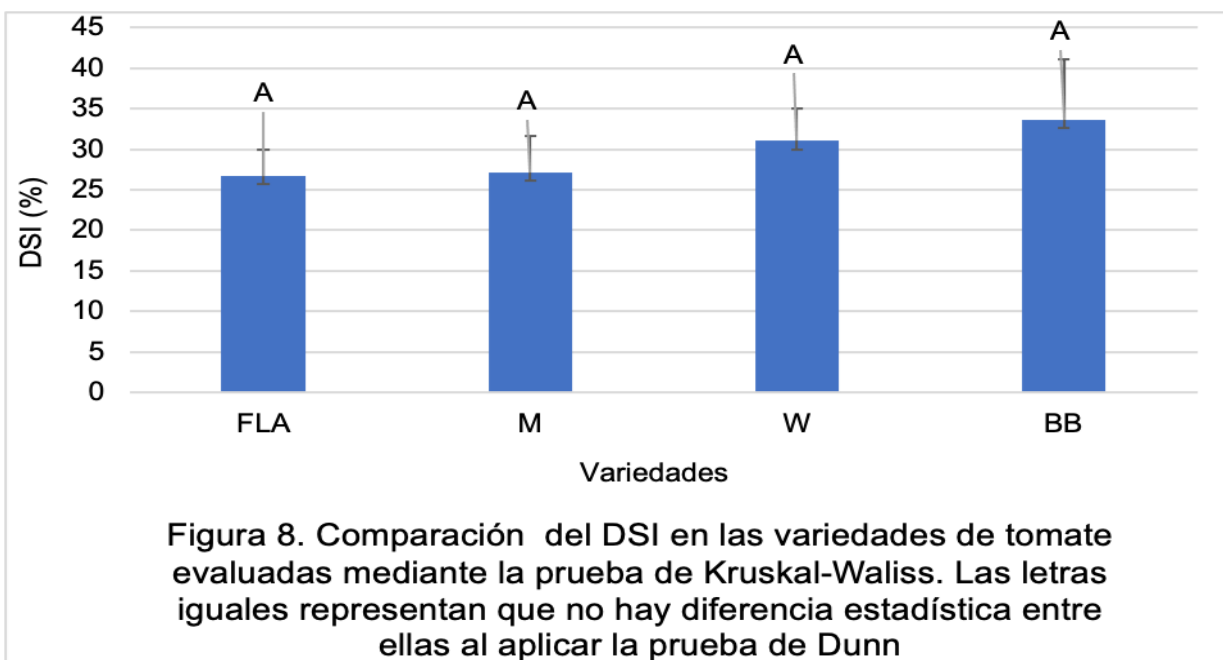


Se puede observar en el (Cuadro 16), al realizar la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, la severidad de la enfermedad no presentó diferencia estadística realizando la prueba de Dunn, entre las variedades de tomate utilizando un nivel de alfa de 0.05.

Cuadro 16. Prueba de Kruskal-Wallis / Prueba bilateral

K (Valor observado)	5.16
K (Valor crítico)	7.82
GL	3.00
valor-p (unilateral)	0.16
alfa	0.05

A pesar de lo indicado en el párrafo anterior, en la figura 8, se observa que sí presentó diferencias numéricas marcadas, reflejando que la severidad de la enfermedad fue más baja con la variedad FLA. Esto refleja que esta última variedad es la más resistente a las tres razas de FOL, lo cual era de esperarse de acuerdo con la información obtenida previamente.



7.3. Análisis foliar

Se puede observar en el cuadro 17, el tratamiento 22 que se compone de 193 mg L⁻¹ N, R3 FOL y la variedad M, presentó un mayor contenido de N en el área foliar estadísticamente a los demás tratamientos con una concentración de 73.5 mg de N g⁻¹ de planta. Sin embargo, esta concentración de nitrógeno en la planta no influyó en el nivel de severidad de FOL, como ya se indicó en el apartado correspondiente. Este resultado se contrapone con lo obtenido por, Rodríguez (2015), quien estableció un nivel suficiente de N entre 62.5-100 mg de N g⁻¹ de planta. Pero sí coinciden con lo planteado por Sepúlveda (2006) quien indica que el exceso de nitrógeno puede generar condiciones favorables para las enfermedades de las plantas, ya que promueve paredes celulares más delgadas y débiles. Por otra parte, Jones *et al.* (1989) comprobaron que el nitrato de amonio no tiene influencia sobre el crecimiento de *Fusarium* de la corona y de la raíz siempre y cuando se establezcan niveles bajos de este, nivelando de 10 a 100 mg L⁻¹ N.

Cuadro 17. Análisis foliar de nitrógeno en planta (mg)

Tratamientos	Media	Grupo	Tratamientos	Media	Grupo
22	73.50	A	25,63,84,75,90	31.25	R
30	63.00	B	31,34,15	31.00	S
18	61.25	C	82,41	30.00	T
90	49.00	D	13,76	29.50	U
36,80	43.40	E	86,61,70	29.25	V
28,50,70	42.00	F	83,42,71	29.00	W
58	41.20	G	78,17,16,72,	28.50	X
32,73,86,74	39.80	H	38,36,28,85	28.25	Y
75,66	39.00	I	29,79,68,6	27.00	Z
16,82	37.00	J	89,2	26.50	A1
34,40	36.50	K	20,64,77,94,32	26.80	B1
96,54	35.70	L	45	26.00	C1
83,14,78	35.00	M	33	25.60	D1
76,46	34.25	N	24	25.40	E1
85,26,62	34.00	O	81,45	25.00	F1
61,20	33.32	P	21	24.50	G1
53,93,60,28,14	32.00	Q	1-12	0.00	H1

La concentración de P fue mayor en el tratamiento 94 como se muestra en el (Cuadro 18), el cual está compuesto Ca (207 mg L⁻¹), P (31 mg L⁻¹), R3 FOL y la variedad M, con 62.75 mg de P g⁻¹ de planta. Esta mayor concentración de fósforo puede haber sido causada por la asociación de Ca y P, al formarse fosfato de calcio. Este tratamiento presentó un índice de severidad de 45.83 %, lo cual concuerda con lo mencionado por Angulo (2017), donde el contenido de fósforo en tejido vegetal, que se observó en ocho tratamientos, los valores fluctuaron entre 24.75 mg de P g⁻¹ de planta en el tratamiento 50 % solución Steiner, hasta 52.8 mg de P g⁻¹ de planta en el tratamiento 100 % solución Steiner respectivamente.

Cuadro 18. Análisis foliar de fósforo en planta (mg)

Tratamientos	Media	Grupo
94	62.70	A
69	40.25	B
9,53	37.75	C
90	35.25	D
86	32.75	E
1,96,45	30.25	F
93	25.25	G
2,17,5,13,61	22.75	H
83	20.25	I
18,70,74,87	17.75	J
92,43,21	15.25	K
76,58,71,91,75,49	12.75	L
48,10,95,3,51,89,41,37	10.25	M
4,72,40,78,6,62,66,50,82,42,79,39,55,81,77	7.75	N
84,44,88,60,16,8,57,22,65,46,85,38,14	5.20	O
59,63,68,11,52,23,64,73,56,24,54	2.75	P
64,47,19,20,15,12,7,80	0.25	Q
25-36	0.00	R

El tratamiento tres presentó una concentración foliar de K más alta y fue mayor estadísticamente con respecto a los demás tratamientos como se muestra en el cuadro 19, el cual se compone por la solución Steiner sin añadirle N, K (273 mg L⁻¹) R1 FOL y la variedad W, dicho tratamiento presentó una concentración 110.9 mg de K g⁻¹ de planta y una severidad de la enfermedad con una media de 0.8, esta concentración concuerda con lo publicado por Castellanos *et al.* (2000), los cuales concluyeron que son niveles suficientes del elemento para un adecuado desarrollo del cultivo, estableciendo un nivel suficiente entre 75 a 125 mg de K g⁻¹ de planta. La severidad de la enfermedad en este tratamiento fue menor, esto se puede explicar debido al contenido adecuado de potasio en la planta, ya que Zeng-Qiang *et al.* (2016) mencionan en un estudio realizado con plantas de fresa que la deficiencia de K puede promover la producción de exudados de raíz, especialmente ácidos fenólicos, que no solo pueden inhibir el crecimiento de las plantas de fresa, sino también promover crecimiento de *F. oxysporum*.

Cuadro 19. Análisis foliar de potasio en planta (mg)

Tratamientos	Media	Grupo	Tratamientos	Media	Grupo	Tratamientos	Media	Grupo
3	110.90	A	87,40,48	89.00	S	72	79.50	K1
10	109.30	B	73,47	88.20	T	21	79.00	L1
65	104.10	C	27,92	87.80	U	36,28	78.50	M1
7	101.40	D	19,66,95	87.00	V	85	78.00	N1
6	99.90	E	74,37	86.25	W	29,79,68	77.50	O1
43	98.80	F	80	86.00	X	67	77.00	P1
18	97.25	G	91	85.50	Y	89	76.50	Q1
30	96.25	H	26,14	85.00	Z	8,25	76.00	R1
5,39	95.60	I	1,63,84,75	84.50	A1	20,64,77,94	75.50	S1
88,62	94.50	J	90,31	84.00	B1	32	75.00	T1
38	93.50	K	34	83.50	C1	45	74.50	U1
35	93.00	L	15,82	83.00	D1	33	74.00	V1
23,2	92.00	M	41	82.50	E1	24	73.00	W1
46	91.50	N	4,13	82.00	F1	81	72.50	X1
69	91.00	O	76,9	81.50	G1	12	72.00	Y1
22	90.60	P	86,61,70,83,42, 71,78	81.00	H1	93	71.00	Z1
11	90.00	Q	17	80.00	I1	44	22.00	A2
96	89.50	R	16	79.80	J1	49-60	0.00	B2

El mayor contenido de Ca en las plantas de tomate se encontró en el tratamiento uno (Cuadro 20), el cual se compone de 0 N, R1 FOL y la variedad BB, donde se obtuvieron 6 mg de Ca g⁻¹ de planta, esto concuerda con lo reportado por Molina (2016), el cual establece que de 4 a 12 mg de calcio g⁻¹ de planta son niveles suficientes para que la planta tenga un óptimo desarrollo.

Cuadro 20. Análisis foliar de calcio en planta (mg)

Tratamientos	Media	Grupo
1	6.00	A
5	5.60	B
34,6,9	5.20	C
42,93,2,25,21,41,89	4.80	D
14,22,90,62,37,38,53,46	4.40	E
33,54,13,57,29	4.00	F
18,58,66,35,30,17,70,61,94,49,85	3.60	G
92,26,15,50,45,86	3.20	H
91,24,7,10,69	2.80	I
3,23,11,95,27,55	2.40	J
19,31,67,71,59,31	2.00	K
48,56,96,88,47,51,39,43,63,65,87	1.60	L
4,20,12,16,52,8,60,64,68,40,76,80,84,81,82,83,72,73-75,28,77	0.00	M

VIII. CONCLUSIONES

- a) Adición de fósforo provoca la disminución de la severidad FOL en las variedades de tomate evaluadas.
- b) Hay una asociación entre la raza 3 y el nivel de fertilización pues la carencia de potasio permite la mayor actividad de la raza 3, asimismo, la presencia de fósforo provoca el mismo resultado. Por otra parte, la raza 3 manifiesta menor severidad en tratamiento con aumento de calcio.
- c) La raza 1 de FOL presentó el nivel de severidad más bajo en con respecto a las variedades de tomate evaluadas, contrastando con los efectos de la raza 3, la cual fue la de mayor severidad.
- d) La variedad FLA fue la que presentó menor incidencia del ataque de las tres razas de FOL.
- e) La variedad BB presentó un índice de severidad indistinto del nivel de nutrición, la cual tuvo síntomas de alta y baja severidad ante dosis de fertilizantes similares.

IX. LITERATURA CITADA

- Agrios, G.N. 1986. Fitopatología. Editorial Limusa 2ª ed. México, D.F. 756 p.
- Alcantar, G. G. 2009. Nutrición de Cultivos. Mundi Prensa. México. pp. 20-40.
- Alcantar, G. G. 2013. Nutrición de Cultivos. Mundi Prensa. México. pp. 100-122.
- Angulo, C. A. 2017. Biotecnología microbiana en el manejo del chile pimiento (*Capsicum annuum* L.). Tesis de Doctorado. Edo. México, México. 82 p.
- Apodaca-Sánchez, M.A., Zavaleta-Mejía, E., García-Espinoza, R., Osada-Kawasoe, S., & Valenzuela-Ureta, J. G. 2002. Frecuencia de campos infestados con *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* en Sinaloa, México, y su control. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 20(1): 1-7.
- Ascencio-Álvarez, A., López-Benítez, A., Borrego-Escalante, F., Rodríguez-Herrera, S.A., Flores-Olivas, A., Jiménez-Díaz, F. y Gámez-Vázquez, A.J. 2008. Marchitez vascular del tomate: I. Presencia de razas de *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici* (Sacc.) Snyder y Hansen en Culiacán, Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 26:114-120.
- Bai, Y., y Lindhout, P. 2007. Domestication and breeding of tomatoes: what have we gained and what can we gain in the future?. *Annals of Botany*, 100(5): 1085-1094.
- Blancard, D. 1992. Enfermedades del tomate. Observar, identificar, luchar. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 212 p.
- Blanco, L. A., Aguirre, M. C. 2002. Proteínas involucradas en los mecanismos de defensa de plantas. *Cinvestav. México*. 12: (003): pp 3-28.
- Booth, C. 1971. The Genus *Fusarium*. Commonwealth Mycological Institute, Kew, Surrey, England.
- Cachinero, J. M., Hervás, A., Jiménez-Díaz, R. M., Tena, M. 2002. Plant defence reactions against fusarium wilt in chickpea induced by incompatible race 0 of *Fusarium oxysporum* f.sp. *ciceris* and nonhost isolates of *F. oxysporum*. Cordova, España. *Revista Plant Pathology* 51: pp 765–776.
- Cai, G., Gale, I.R., Scheider, R.W., Kistler, H.C., Davis, R.M., Elias, K.S., y Miyao, E.M. 2003. Origin of race 3 of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* at a single site in California. *Phytopathology* 93:1014-1022.
- Castellanos, J. Z., Uvalle, B. J. X., y Aguilar, S. A. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. México. Editorial Trillas.

- Carrillo, F. J.; Montoya, R. T.; García, E. R.; Cruz, O. J.; Márquez, Z. I. 2003. Razas de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* Snyder y Hansen, en Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el Valle de Culiacán, Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 21(002): pp. 123-127.
- Carrillo, L. L. 2009. Efecto de la solución nutritiva steiner en la calidad y vida de florero de crisantemo. Tesis. Estado de México. Pág. 1.
- Chamarro, L. J. 2001. Anatomía y Fisiología de la planta. In: El cultivo del tomate. F. Nuez. Mundi Prensa. España: 43-91 pp.
- Chandra, S., Chakraborty, N., Chakraborty, A. 2014. Abiotic elicitor-mediated improvement of innate immunity in *Camellia sinensis*. *J Plant Growth Regul* 33:849–859. doi:10.1007/s00344014-9436-y
- Chakraborty, N., Chandra, S., Acharya, K. 2017. Biochemical basis of improvement of defense in tomato plant against *Fusarium* wilt by CaCl₂. *Revista Physiol Mol Biol Plants*. 23(3):581–596. India.
- Delgado, O. J. C., Ochoa, F. Y. M., Cerna, C. E., Beltrán, B. M., Rodríguez, G. R., Aguirre, U. L. A., y Otilio Vázquez, M. O. 2016. Patogenicidad de especies de *Fusarium* asociadas a la pudrición basal del ajo en el centro norte de México. Editorial Elsevier España. *Revista Argentina de microbiología*. 48 (03): pp. 222-228.
- Díaz, A., Cayón, G., y Mira, J. J. 2007. Metabolismo del calcio y su relación con la mancha de madurez del fruto de banano. *Revista Agronomía Colombiana* 25(2): Colombia.
- Duffy, B. K.; Défago, G. 1999. Macro- and Microelement Fertilizers Influence the Severity of *Fusarium* Crown and Root Rot of Tomato in a Soilless Production System. Suiza. *Revista Hortscience* 34 (002): pp. 287–29.
- Faithfull, N. T. 2005. Métodos de análisis químico agrícola. Editorial ACRIBIA. Zaragoza, España. Pp. 160-167.
- FAO. 2022. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Revisado (5/Abril/2022). Disponible en: <http://www.fao.org/economic/ess/ess-publications/ess-yearbook/anuario-estadistico-de-la-fao-2010/es/>.
- Fassbender, H. W. 1978. Química de Suelos. Editorial IICA. San José, Costa Rica. 385 p.

- Favela, C. E., Preciado, R. P., Benavides, M. A. 2006. Manual para la preparación de soluciones nutritivas. Departamento de Horticultura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila, México. pp 31-46.
- Garcés de Granada, E., Orosque de Amesquiza. Bautista, G. R. 2001. *Fusarium oxysporum*. Acta Biológica Colombiana, 6 (1) [http://www.virtual.unal.edu.co/revistas/actabiol/PDF'sN6N1/Art1V6N1 .pdf](http://www.virtual.unal.edu.co/revistas/actabiol/PDF'sN6N1/Art1V6N1.pdf)
- García, E.R.S. 2001. Determinación de la raza de *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* causante de marchitamiento en plantas de tomate (híbrido Sun 0289) cultivadas en el lote de rancho viejo. Informe técnico CIAD/DUC/IT/006/ 01. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Culiacán, Sinaloa, México. 11 p.
- Gómez, H. T.; Sánchez, del C. F. 2003. Soluciones nutritivas diluidas para la producción de jitomate a un racimo. Revista Terra. ISSN 2395-8030. 40(001): pp 57-63.
- González, P. 2006. Enfermedades del tomate. Facultad de Agronomía. Montevideo Uruguay. <http://www.pv.fagro.edu.uy/fitopato/enfermedades/> [En -Línea]. Fecha de consulta. Mayo de 2017.
- González, M.M., Leyva, M.S.G., y Tlapal, B.B. 2010. Etiología de la pudrición de plántulas en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en Tecamachalco, Puebla. In: Memorias del XII Congreso Internacional/XXXVII Nacional de la Sociedad Mexicana de Fitopatología, A. C. Mérida, Yucatán, México del 4 al 8 de julio de 2010.
- González, I.; Arias, Y.; Peteira, B. 2012. Aspectos generales de la interacción *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*-tomate. Revista protección vegetal. 27 (001): pp 1-7.
- Grover, A., Gowthaman, R. 2003. Strategies for development of fungus-resistant transgenic plants. Curr Sci 84:330–340
- Hair, J. F., R. E. Anderson, R. L. Tatham, and W. C. Black. 1999. Análisis Multivariante. 768 pp. Prentice Hall. Madrid.
- Hernández, M. R., Rangel, M. E. A. 2011. Búsqueda de cepas de *Trichoderma* antagonistas a hongos causantes de marchitez vascular en tomate. Revista Electrónica de Divulgación de la Investigación. 1-9.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2017. Anuario estadístico y geográfico de Sinaloa 2017 / Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México: c2017.

- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 2010. Guía técnica para el cultivo del tomate en el Valle de Culiacán.
- Islas, F. I., Minero, G. Y., James, C. A. 2005. Proteínas contra las infecciones de las plantas. *Revista Ciencia*. México. pp 64-74.
- ITIS. 2017. Sistema Integrado de Información Taxonómica. Revisado (15/Mayo/2017). Disponible en: www.itis.gov/w.itis.gov/.
- Jones, J. P., Engelhard, A. W., and Woltz, S. S. 1989. Management of *Fusarium* wilt of vegetables and ornamentals by macro and microelements, p. 18–32. In: A.W. Engelhard (ed.). *Soilborne plant pathogens: Management of diseases with macroand microelements*. APS Press, St. Paul, Minnesota, U.S.A.
- Jones, J.B., Jones, J.P., Stall, R.E., y Zitter, T.A. 1993. *Compendium of Tomato Diseases*, American Phytopathological Society, St. Paul, MN, USA. 46 p.
- Komada, H. 1975. Desarrollo de un medio selectivo para el aislamiento cuantitativo de *Fusarium oxysporum* del suelo natural. *Revista de Investigación de Protección de Plantas*, 8. pp 114-125.
- Lawrence, E. 2007. Mineral nutrition and plant disease. *American Phytopathological Society*. Datnoff, Minnesota, U.S.A. pp 55-105.
- Leslie, J. F., Summerell, B. A. 2006. *The Fusarium Laboratory Manual*. Blackwell Publishing Ltd.
- Marlatt, M.L.J., Correll, J.C., Kaufman, P. y Cooper, P.E. 1996. Two genetically distinct populations of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* race 3 in the United States. *Plant Dis.* 80(12):1336-1342.
- Massee, G. 1895. The "sleepy disease" of tomatoes. *Gard Chron Ser.* 3:707-708.
- Medina, R. M. 2011. "Inducción de Resistencia a *Fusarium oxysporum* y Estimulación del Desarrollo Vegetal en Jitomate (*Solanum lycopersicum*) Empleando *Methylobacterium* spp." Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR IPN-MICHOACÁN. Jiquilpan, Michoacán, México. 69 pp.
- Mengel, K.; Kirkby, E. A. 2000. *Principios de nutrición vegetal*. International Potash Institute. Suiza. pp 345-419.
- Mihuta, G. L., Erb, W.A., Rowe, R.C. 1990. *Fusarium* crown and root rot of tomato in greenhouse rock wool systems: Sources of inoculum and disease management with benomyl. *Plant Disease.* 74:996–1002.

- Montes, S.; Aguirre, J. R. 1992. Tomate de cáscara (*Physalis philadelphica*). Cultivos marginados, Otra perspectiva de 1492. FAO, Roma: 115-120.
- Moor, J. 1994. Industria en Transición. Publicación #1. Productores de Hortalizas. Enero, 1994. D.F., México: 8-10.
- Motsara, M. y Roy, R.N. 2008. Guide to Laboratory Establishment for Plant Nutrient Analysis. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Mundo, C. M., Jaramillo, V. J.L., Morales, J. J. 2019. Rentabilidad financiera y económica de las unidades de producción de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo invernadero en Puebla, México. Revista agro productividad. Puebla, México. 12 (09). pp: 47-52.
- Munévar, M. F. 2004. Relación entre la nutrición y las enfermedades de las plantas. Palmas, Colombia. 22 (002): pp 172-178.
- Nelson, P.E. 1981. Life cycle and epidemiology of *Fusarium oxysporum*. En M.E. Mace, A.A. Bell and e.H. Beckman (eds.). Fungal wilt diseases of plants. Academic Press. New York. pp 51-80.
- Nelson, P.E. Toussoun, T.A., y Marasas, W.F.O. 1983. *Fusarium* species: an illustrated manual for identification. Pennsylvania State University Press, University Park. 193 p.
- Nuez, F. *et al.* 2001. El cultivo del Tomate. Mundi Prensa. España: 16-20.
- Ortega, O.H., Benavides, M. A., Mendoza, V. R., Ramírez, R. H., De Alba. R. K. 2007. Enzymatic Activity in Tomato Fruits as a Response to Chemical Elicitors. Coahuila, México. Sociedad Química de México. 51(3), 141-144.
- Ortega, G.J.G., Bravo, L.L., Arzufii, B.A.R., y Guigón, L.C. 2010. Actividad antagonista de *Trichoderma asperellum* sobre *Fusarium* spp., aislados de jitomate de Morelos, México. In: Memorias del XII Congreso Internacional/XXXVII Nacional de la Sociedad Mexicana de Fitopatología, A. C. Mérida, Yucatán, México del 4 al 8 de julio de 2010.
- Peralta, I.E., Spooner, D.M., Razdan, M.K., y Mattoo, A.K. 2007. Genetic improvement of solanaceous crops. Vol. 2. Enfield, Nueva Hampshire: Science Publishers. V.2, p.1-27.
- Perea, S.J.M., García, E.R.S., Carrillo, F.J.A., Allende, M.R., y León, F.J. 2010. Identificación de razas y patovares de cepas de *Ralstonia solanacearum* (E. F. Smith) Yabuuchi, aisladas en cultivos de tomate del Valle de Culiacán. In:

Memorias del XII Congreso Internacional/XXXVII Nacional de la Sociedad Mexicana de Fitopatología, A. C. Mérida, Yucatán, México.

- Punja, Z. 2005. Transgenic carrots expressing a thaumatin-like protein display enhanced resistance to several fungal pathogens. *Can J Plant Pathol* 27:291–296
- Quiroga, M.R., Rosales, E.M., Rincón, E.P., Hernández, G.E., y Garrido, R.E. 2007. Enfermedades causadas por hongos y nematodos en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el municipio de Villaflores, Chiapas, México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 25:114-119.
- Ramírez-Villapudua, J. y Sainz-Rodríguez, R.A. 2010. Manejo Integrado de la Enfermedades del Tomate. Segunda Edición.
- Riaño, A. L., Zamora, E. H. M. 2005. Proteínas antifúngicas contra *p. infestans* en los espacios intercelulares de hojas de tomate (*Lycopersicon esculentum* cerasiforme) posibles defensinas de plantas. Colombia, Bogotá. *Revista colombiana de Quimica*. 34 (001): pp 7-23.
- Rick, C. M. 1978. The tomato. *Sci. Amer.*, 239: 67-76 pp.
- Rodríguez, D.A., Montilla, J.O., 2002. Disminución de la marchitez causada por *Fusarium* en tomate con extracto de citrus paradisi. *Manejo Integrado de plagas (Costa Rica)*. 63. p. 46-47.
- Rodríguez, M.A. 2009. Caracterización de proteínas con actividad anti fúngica producidas por *Penicillium Chrysogenum*. Universidad de Extremadura. España.
- Rodríguez, R., Tavares, R., Medina. 2001. Cultivo moderno del tomate. 2ª Edición. Ediciones Mundi-Prensa. España. 255 p.
- Rodríguez, T. A., Ramírez, M. A., Falcón, A., Utria, E., Bautista, S. 2006. estimulación de algunas enzimas en plantas de arroz (*Oryza sativa*, L.) tratadas con un hidrolizado de quitosana. La Habana, Cuba. *Cultivos Tropicales*. 27(002): p. 87-91.
- Rodríguez, F. H. 2015. Métodos de análisis de suelos y plantas. Editorial Trillas. Edo. De México. México.
- Samson, R.A., Hoekstra, E.S., y Frisvad, J.C. 2004. Introduction to food borne fungi, 7th edition. Centraalbureau voor Schimmelcultures, Utrecht.

- Sañudo, T. R. 2013. El cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) y el potencial endofítico de diferentes aislados de *Beauveria bassiana*. México. Tesis de Maestría. pp 29-30.
- Seifert, K. A., y Gams, W. 2001. The taxonomy of anamorphic fungi. En *The Mycota. Systematics and evolution Part A*, p. 307-347. Edited by McLaughlin, D. J., McLaughlin, E. G. y Lemke, P. A. Berlin: Springer- Verlag.
- Sepúlveda, C. G. 2006. Enfermedades de las plantas y Nutrición mineral. Proyecto INNOVA CORFO 08CT11IUD-22. México.
- SIAP. 2022. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Revisado (05/Abril/2022). Disponible en: www.siap.gob.mx/
- Sims, W.L. 1979. History of tomato production for industry around the world. In *Symposium on Production of Tomatoes for Processing 100* (pp. 25-26).
- Steiner, A. A. 1966. The influence of the chemical composition of a nutrient solution on the production of tomato plant. *Plant and soil*. 454-466.
- Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. pp. 633-650. *In: Proceedings 6th International Congress on Soilless Culture*. Wageningen. The Netherlands.
- Tello, J. C.; Lacasa, A. 1988. La podredumbre del cuello y de las raíces", causada por *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis-lycopersici*, nueva enfermedad en los cultivos de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) españoles. *Bol. San. Veg. Plagas*. 14 (002): pp 307-312.
- Valenzuela-Ureta, J. G., Lawn D. A., Heisey R. F., y Zamudio-Guzman V. 1996. First report of *Fusarium wilt* race 3, caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, of tomato in Mexico. *Plant Dis*. 80:105.
- Velarde, S. F. 2014. Identificación Molecular y Biológica de Razas Fisiológicas de *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris* que Infectan Garbanzo en el Noroeste de México. México. Tesis de Doctorado. pp 60-67.
- Velasco, V. V. 1999. Papel de la nutrición mineral en la tolerancia a las enfermedades de las plantas. Oaxaca, México. *Revista Terra*. 17 (003). pp 194-200.
- Watson, R. T.; Albritton, D. T., Anderson, S. O., and Lee- Bapty, S. 1992. Methyl bromide: its atmospheric science, technology and economics. *Montreal Protocol Assessment Suppl.*, United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya: 234p.

- Wien, H. 1997. The physiology of vegetable crops. CAB International, London, UK. 651 p.
- Woltz S.S., Jones J. P., and Scott J.W. 1992. Sodium chloride, nitrogen source, and lime influence *Fusarium* crown rot severity in tomato. HortScience 27:1087–1088.
- Yamazaki, H., Hoshina, T. 1995. Calcium Nutrition Affects Resistance of Tomato Seedlings to Bacterial Wilt. Japón. Hortscience. 30 (001). pp 91-93.
- Zeng-Qiang C., Teng-Fei F., Yan-Meng B., Gei-Lin T. y Lu-Sheng Z. 2016. Potassium deficiency and root exudates reduce root growth and increase *Fusarium oxysporum* growth and disease incidence in continuously cultivated strawberry, New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, 44:1, 58-68, DOI: 10.1080/01140671.2016.1146306.