

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Manejo Sustentable de *Fusarium* sp. en el Cultivo de Papa (*Solanum tuberosum*. L),
en Invernadero

Por:

DIEGO LÓPEZ LIMÓN

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Febrero del 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Manejo Sustentable de *Fusarium* sp. en el Cultivo de Papa (*Solanum tuberosum*. L),
en Invernadero

Por:

DIEGO LÓPEZ LIMÓN

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobado por el Comité de Asesoría:

Dr. Alberto Flores Olivas
Asesor Principal

Dr. Adalberto Benavides Mendoza
Coasesor

M.C. Juan Mayo Hernández
Coasesor

Dr. Gabriel Gallegos Morales
Coordinador de División de Agronomía



Coordinación
División de Agronomía
Saltillo, Coahuila, México

Febrero del 2017

DEDICATORIAS

A MIS PADRES: María del Carmen Esther Limón de Jesús y Everardo López Blancas. Gracias por todas sus atenciones y preocupaciones hacia mí, por ser mi guía, por todo el amor y cariño que me brindan, por ser mi ejemplo, por confiar en mí y darme la oportunidad de ser un profesionista más en nuestra familia, gracias por los buenos consejos, y sobre todo gracias por todos los momentos maravillosos que hemos vivido. LOS AMO

A MIS HERMANAS: Lizet López Limón, Liliana López Limón, Eloyna López Limón. Gracias por el cariño y apoyo en todo momento, porque de ustedes también veo el reflejo de esfuerzo, en verdad son grandes motivos de razón y de aliento, gracias por la confianza depositada en mí. Dios las bendiga siempre.

A MIS CUÑADOS: Eduardo, Gilberto, Juan Carlos. Gracias por el apoyo y la confianza que me brindaron, por su amabilidad y cuidado con los que más quiero.

A MIS SOBRINOS: Eduardo, Xóchitl, Alfonso, Citlaly, Arturo, Gil Alonso, María José, Juan Carlos. Por formar parte de esta gran familia, por toda la alegría que brindan a nuestro hogar.

A LA FAMILIA LÓPEZ BLANCAS: Gracias por el apoyo en todo momento, por la confianza, enseñanzas y por los buenos momentos.

A MIS ABUELOS: Jacinta Blancas y Bulmaro López. Por las bendiciones depositadas, cariño, apoyo y por confiar en mí.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitirme llegar hasta ésta meta tan importante para mí, agradezco las bendiciones recibidas, por guiarme día a día, por todos los beneficios recibidos y por la salud que me brindo.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por todas las oportunidades que me brindo para poder crecer como persona y profesionista, por ser la mejor casa de estudios y por todo lo vivido.

Al Ing. José Luis Herrera Ayala, porque sin su ayuda no hubiera logrado éste objetivo, por todo su apoyo, comprensión y por todo lo aprendido.

Al Dr. Alberto Flores Olivas, por darme la oportunidad de participar en el presente trabajo, por su confianza, amistad, tiempo que me brindo y por todas las experiencias adquiridas.

Al Dr. Adalberto Benavides Mendoza, por compartir sus conocimientos, confianza, tiempo y dedicación.

Al Mc. Juan Mayo Hernández, por el apoyo, tiempo, confianza y gran amistad.

A la Dra. Lidia Monserrat Flores Torres. Por su apoyo, comprensión, dedicación, tiempo y todos los conocimientos compartidos.

A mis amigos y compañeros: Erik Serrano, César Augusto Martínez, Jorge Luis Vicente, Víctor Emiliano Madrigal, Martin Rendón Villegas, David Colorado, Moisés López, Alejandra Estudillo, por su valiosa amistad, comprensión, buenos momentos, las locuras, las salidas y las conversaciones que se vuelven memorables.

A mis amigos de casa: Jesús Moreno, Adilene Bonilla, Miguel Ángel Rodríguez, Favio Saúl López, por los buenos momentos que disfrute con ustedes, su amistad, confianza, el tiempo dedicado y las enseñanzas que con buenas conversaciones aprendimos.

A Sarahí Romero Zepeda, por el tiempo dedicado, comprensión, apoyo dedicado en todo momento, por los buenos momentos y sobre todo por todo ese amor que me brinda día a día. Con admiración, amor y respeto gracias

A los amigos que colaboraron en este trabajo: Cesar Augusto Martínez, Néstor Francisco García, Alejandro Romero, Favio Saúl López, gracias por su tiempo dedicado, compromiso y por su valiosa amistad.

ÍNDICE

ÍNDICE DE CUADRO	6
ÍNDICE DE FIGURAS.....	6
ÍNDICE DE GRAFICAS	7
RESUMEN	8
INTRODUCCIÓN	9
Objetivo general	10
Objetivos específicos	10
Hipótesis.....	10
REVISIÓN DE LITERATURA.....	11
Cultivo de la Papa (<i>Solanum tuberosum</i> L.)	11
Origen y distribución.....	11
Importancia del cultivo	11
Variedades	12
Ubicación taxonómica	12
Descripción botánica	13
Principales enfermedades que afectan al cultivo de papa	14
Fusarium spp	14
Morfología	15
Síntomas	15
Ubicación Taxonómica.....	16
Manejo en Fusarium.....	16
Control químico de Fusarium sp	17
Vigold (Fluoxastrobin)	17
Tecto 60 (Thiabendazol).....	17
Control biológico.....	18
Bacillus subtilis	19
Morfología colonial	19
Ubicación Taxonómica.....	19
Modo de acción de B. subtilis.....	20
Trichoderma harzianum.....	20
Sistemática de Trichoderma.....	21
Hábitat	22

Mecanismos de acción de Trichoderma.....	22
MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
Ubicación del experimento	23
Obtención de material biológico.....	23
Establecimiento del ensayo.....	24
Tratamientos evaluados y Concentración de tratamientos	24
Modelo estadístico del análisis	25
Evaluación.....	25
Variable y parámetros evaluados	25
Parámetros tomados en cuenta en la primera evaluación	25
Longitud de tallo.	25
Longitud de raíz.....	25
Número de tubérculos.....	25
Número de tallos.	25
Diámetro de tallo a base.....	25
Incidencia y Severidad en tallos.....	26
La segunda evaluación se realizó en la cosecha a los 165 días después de la siembra, donde se tomaron en cuenta los siguientes parámetros.	26
Número de tubérculos.....	26
Diámetro de Tubérculos.....	26
Peso total de tubérculos.	26
Incidencia de Fusarium en Tubérculos.....	26
RESULTADOS	27
Evaluación 1 (80 DDS)	27
Longitud de tallo	27
Número de tubérculos.....	28
Número de tallos.....	29
Diámetro de tallo.....	29
Incidencia y Severidad	30
Testigo Absoluto	30
Testigo con Fusarium sp.....	30
Fusarium +Trichoderma harzianum.....	31
Fusarium + Bacillus subtilis	31

Fusarium + Tratamiento convencional (Vigold)	32
Evaluación 2 (165 DDS)	32
Número de tubérculos.....	32
Diámetro de tubérculos.....	33
Peso total de tubérculos	33
Incidencia de Fusarium en tubérculos.....	34
Porcentaje de control de Fusarium sp reflejado en los tubérculos de cada uno de los tratamientos.	34
DISCUSIÓN.....	35
CONCLUSIONES	37
BIBLIOGRAFÍA.....	38

ÍNDICE DE CUADRO

Cuadro 1. Se muestran los tratamientos evaluados, concentración y la cantidad utilizada en el experimento.....	24
--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Toma aérea de la UAAAN, donde se ubica el invernadero de Parasitología.....	23
Figura 2. Tubérculos con daño por <i>Fusarium sp</i> (semilla utilizada).....	23
Figura 3. Aplicación de tratamientos al momento de la siembra.....	24
Figura 4. Corte longitudinal en tallo de planta de papa.....	26
Figura 5. Corte transversal en tubérculos de papa cosechada.....	26
Figura 6. Hongo <i>Fusarium sp</i> en medio de cultivo y observado a través de microscopio.....	27
Figura 7. Evaluación de incidencia y severidad en el testigo absoluto.....	30
Figura 8. Evaluación de incidencia y severidad en el testigo con <i>Fusarium sp</i>	30
Figura 9. Evaluación de incidencia y severidad en <i>Fusarium sp</i> + <i>Trichoderma harzianum</i>	31

Figura 10. Evaluación de incidencia y severidad en *Fusarium* sp + *Bacillus subtilis*.....31

Figura 11. Evaluación de incidencia y severidad en *Fusarium* sp + Vigold.....32

ÍNDICE DE GRAFICAS

Grafica 1. Promedios de longitud de tallo de plantas de papa por tratamiento.....27

Grafica 2. Promedios de longitud de raíz de plantas de papa por tratamiento.....28

Grafica 3. Promedios de número de tubérculos en plantas de papa por tratamiento.....28

Grafica 4. Promedios de número de tallos en plantas de papa por tratamiento.....29

Grafica 5. Promedios de diámetro de tallo a la base en plantas de papa por tratamiento.....29

Grafica 6. Promedios de número de tubérculos en plantas de papa por tratamiento.....32

Grafica 7. Promedios de diámetro de tubérculos en plantas de papa por tratamiento.....33

Grafica 8. Promedios de peso total de tubérculos en plantas de papa por tratamiento.....33

Grafica 9. Incidencia de *Fusarium* en tubérculos de papa por tratamiento, con respecto a la gráfica 6.....34

Grafica 10. Porcentaje de control de *fusarium* sobre los tubérculos en plantas de papa por tratamiento.....35

RESUMEN

El presente trabajo se llevó a cabo con plantas de papa (*Solanum tuberosum* L.) con la finalidad de evaluar el control que tienen productos biológicos (*Bacillus subtilis* y *Trichoderma harzianum*) y un producto comercial (Vigold) sobre el hongo *Fusarium* sp. La evaluación se realizó a partir de tubérculos infectados con *Fusarium* sp. La aplicación de los tratamientos se hizo a la siembra, siendo ésta la única aplicación en el ciclo del cultivo. Posteriormente a la aplicación se le dio el manejo normal como se realiza en campo.

Se realizaron dos evaluaciones, la primera a los 80 días después de la siembra donde los principales parámetros evaluados fueron incidencia y severidad del patógeno en tallos, en donde no se obtuvieron daños causados por *Fusarium* sp, la segunda evaluación se realizó en cosecha a los 165 días después de la siembra y el parámetro más importante fue porcentaje de control de *Fusarium* sp en tubérculos cosechados donde las diferencias entre tratamientos fueron muy visibles en el cual se demostró que *Trichoderma harzianum* es la mejor opción de control de *Fusarium* sp en tubérculos de papa aplicado a la semilla.

En comparación del producto químico sobre los productos biológicos se obtuvo como resultado que *Trichoderma harzianum* (producto Biológico) su control sobre *Fusarium* sp fue durante todo el ciclo del cultivo, mientras que Vigold (producto químico) su efecto de control se manifestó por un determinado tiempo.

INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es originaria de América, específicamente de la región sur, en donde se ubica la zona andina, que comprende los países de Perú, Ecuador, Bolivia y Chile, aunque también se ha podido demostrar, que algunas variedades silvestres son originarias de México (Comité Nacional Sistema Producto Papa, 2013). A nivel mundial, la papa es el tercer cultivo más importante después del arroz y el trigo (Hancock *et al.*, 2013).

El cultivo de papa a nivel nacional en el año agrícola 2011 se ubicó en el lugar 17 por la superficie sembrada, del orden de las 54,500 hectáreas, con un rendimiento promedio nacional de 26.2 toneladas por hectárea, lo que representó un volumen de producción de 1,433 millones de toneladas. De éstas, 56% se destinó al mercado en fresco; 29%, a la industria, y 15% como semilla (Neira, 2012).

Aún y cuando la papa se produce casi todo el año, el consumo per cápita es muy bajo; en el año 2000 fue de 16.2 kg, para 2007 aumentó a 17 kg por habitante y en el 2013 alcanzó 17.1 kg. Este nivel de consumo es insuficiente para estimular la oferta. Para el 2022 el consumo per cápita de papa fresca será de casi 20 kg por habitante; de continuar con esa tendencia, para el 2060, México tendría un consumo de casi 36 kg por habitante (Alonso, 2014).

Una de las grandes limitantes en la producción de papa son los problemas fitosanitarios o de enfermedades, que afectan plantas y tubérculos, generando pérdidas en los rendimientos y en la calidad del producto final. Los daños ocasionados pueden ser totales o parciales, comprometiendo la rentabilidad final del cultivo. Los problemas de enfermedades pueden originarse principalmente por la calidad del material semilla a plantar y por condiciones ambientales propicias para el desarrollo de ciertas enfermedades (Méndez, 2015).

Numerosas enfermedades de las plantas aparecen por la infección que llevan las semillas, las pérdidas acontecen en el periodo de preemergencia y por la muerte de las plántulas, sin embargo, más tarde la dispersión de la enfermedad puede causar la pérdida total o parcial de la cosecha. *Fusarium* sp. es un patógeno que afecta el rendimiento y la calidad del cultivo (Arispe Vázquez, 2014).

El patógeno *Fusarium* sp es uno de los más importantes en el cultivo de la papa, provocando enfermedades que generalmente ocasionan pérdidas económicas. La sintomatología más común se presenta en tubérculos, con pudrición de la semilla en el campo o pudrición seca en el almacenaje (Méndez, 2015).

Por ello, en el presente trabajo se realizó una evaluación en la cual se pretende determinar el control de *Fusarium* sp, en donde se busca determinar la eficacia de productos de origen biológico y químico. Esto con el fin de identificar cuáles pueden

ser las mejores alternativas de control de ciertos patógenos sin poner en riesgos la salud humana y preservar el medio ambiente.

Una buena aplicación de los tratamientos y excelente manejo del cultivo, contribuirá a lograr los mejores resultados de control de patógenos, reducir los costos de producción y contribuir a la producción de alimentos que demanda la sociedad.

Objetivo general

Evaluar métodos de control biológico de *Fusarium* sp en papa.

Objetivos específicos

- 1.- Evaluar el efecto de control de *Trichoderma harzianum* sobre *Fusarium* sp. en tubérculos de papa
- 2.- Evaluar el efecto de control de *Bacillus subtilis* sobre *Fusarium* sp. en tubérculos de papa
- 3.- Evaluar el efecto de control de fluoxastrobin (Vigold) sobre *Fusarium* sp. en tubérculos de papa.

Hipótesis

La aplicación de Vigold (fluoxastrobin) es más efectiva que *Bacillus subtilis* y *Trichoderma harzianum* para el control de *Fusarium* sp en el cultivo de papa.

REVISIÓN DE LITERATURA

Cultivo de la Papa (*Solanum tuberosum* L.)

Origen y distribución

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es originaria de la región montañosa Andina en América de Sur. Se han realizado análisis de sitios antiguos y se ha confirmado que la papa ha sido cultivada por más de 8,000 años. Se conocen unas 2,000 especies del género botánico *Solanum*, de los cuales de 160-168 son plantas productoras de tubérculos y ocho especies con fines alimenticios, pero solo *S. tuberosum* es ampliamente cultivada en el mundo (Rowe, 1993).

La papa fue introducida de América del Sur a España en el año de 1570 y fue distribuida hacia algunos países de Europa. Posteriormente llegó a Norteamérica por medio de los migrantes en 1700 (Maiti and Singh, 2002).

Importancia del cultivo

Es uno de los cultivos de mayor importancia en el planeta, por su alto valor nutricional (Rhodes, 1982). La producción anual de este cultivo representa aproximadamente la mitad de la producción mundial de todas las raíces y tubérculos (Korschinerk, *et al.*, 1991).

El cultivo de la papa constituye una fuente importante de ingresos para los agricultores, además de generar empleos para los trabajadores agrícolas que abarcan todas las labores de siembra, escardas, riego, aplicación, etc. Incluyendo labores de postcosecha como cargadores, transportistas y comerciantes (Rocha, 1985).

Como cultivo, ocupó el quinto lugar en el renglón alimenticio en la dieta de los mexicanos, después del maíz, frijol, trigo y arroz. Con un consumo per cápita de 16.2 kilogramos (FIRA, Ochoa Neira, 2013)

La papa se cultiva en 22 estados de la República, concentrándose en la zona Norte y Noroeste del país. Seis entidades concentran el 73.5% del volumen y 76.2% del valor generado: Sonora, Sinaloa, Veracruz, Nuevo León, México y Puebla (SHCP, 2014).

En la región papera del sur de Coahuila y Nuevo León, el promedio de producción por hectárea es de 45 toneladas, sin embargo, algunos productores llegan a obtener hasta 65 ton /ha. Además de generar una buena fuente económica para los agricultores y proporcionar fuentes de empleo para los campesinos de la región. Las variedades que más se siembran son Fiana y Aghata (Flores, 2017).

La papa es una hortaliza que tiene diversos usos: en fresco para consumo humano, en la elaboración de diversos platillos gastronómicos, como materia prima en la elaboración de forraje para el consumo animal, y en la industria química, para la extracción de alcohol y fabricación de licores, esencias, aromas, entre otros (SIAP-SAGARPA, 2014).

En México, el tubérculo de papa se produce todo el año, prácticamente, desde el nivel del mar (Sinaloa, Sonora, entre otros), hasta altitudes superiores a los 2,400 metros sobre el nivel del mar (Jalisco, Michoacán, Veracruz, entre otros), por lo que su oferta en el mercado en fresco es permanente. Se cultiva todo el año, tanto en los ciclos primavera-verano (abril a septiembre), así como en el de otoño-invierno (de octubre a marzo), bajo condiciones de temporal y riego. El cultivo de papa en México alcanza un valor cercano a los 11 mil mdp, cifra que le coloca como el 7º cultivo más importante en el país. Esta actividad se ha estancado en los últimos años, sin mostrar un crecimiento significativo (SIAP-SAGARPA, 2014).

Variedades

En el mundo se encuentra una gran cantidad de variedades, las cuales se pueden dividir en industriales, para consumo en fresco y variedades llamada finas. En nuestro país existe un gran número de variedades entre las que destacan la Alpha, que participa con el 44% de la superficie nacional cosechada y más de la mitad de la producción total del país; además de que se cuenta con otras como la Atlantic, Gigant, Mundial, entre otras (FAO, 2008).

Ubicación taxonómica

De acuerdo a (Montaldo 1984) la ubicación taxonómica de la papa es la siguiente:

Reino: Vegetal

División: Magnoliophyta

Clase: Magnolipsida

Subclase: Asteridae

Orden: Solanales

Familia: Solanaceae

Género: *Solanum*

Especie: *S. tuberosum*

Descripción botánica

Es una planta suculenta, herbácea y anual por su parte aérea, perenne por sus tubérculos (tallos subterráneos) que se desarrollan al final de los estolones que nacen del tallo principal y a veces de varios tallos, según el número de yemas que hayan brotado del tubérculo (Montaldo, 1984).

Raíz: el sistema radical está formado por muchas ramificaciones, ya sea de planta originada de semilla o planta originada de tubérculo. La raíz es gruesa y pivotante, su mayor aérea de desarrollo se encuentra entre los 60 y 80 cm de profundidad.

Tallo: son aéreos, gruesos, fuertes y angulados, al principio son erguidos y con el tiempo se van extendiendo hacia el suelo. Los tallos se originan en la yema del tubérculo, siendo su altura variable entre 0.5 y 1m son de color verde pardo debido a los pigmentos asociados a la clorofila, estando presentes en todo el tallo.

Rizomas: son tallos subterráneos de los cuales surgen las raíces adventicias, los rizomas producen unos hinchamientos denominados tubérculos, siendo éstos ovales o redondeados.

Tubérculos: son los órganos comestibles de la planta. Están formados por tejido parenquimatoso, donde se acumulan las reservas de almidón. En las axilas de los tubérculos se sitúan las yemas de crecimiento llamadas “ojos”, dispuestas en espiral sobre la superficie del tubérculo.

Hojas: son compuestas, imparipinnadas y con folíolos primarios, secundarios e intercalares. La nerviación de las hojas es reticulada, con una densidad mayor en los nervios y en los bordes del limbo. Cuando la planta empieza a producir tubérculos la producción de hojas se reduce ligeramente para concentrarse en los tubérculos que crecen rápidamente, cuando los tubérculos alcanzan su máximo desarrollo las hojas se tornan amarillentas.

Inflorescencias: cimosas, situadas en la extremidad del tallo y sostenidas por un escapo floral. Es una planta autógama; las flores tienen la corola rotácea gamopétala de color blanco, rosado, violeta, etc.

Fruto: en forma de baya redondeada de color verde de 1 a 3 cm de diámetro, que se tornan amarillos al madurar. El fruto contiene en sus lóculos abundantes semillas, las cuales son pequeñas, lenticulares y blancas (Montaldo, 1984)

Principales enfermedades que afectan al cultivo de papa

De las principales limitaciones para la producción de éste tubérculo, se encuentran los problemas de enfermedades causadas por diferentes organismos los cuales se presentan a continuación.

Fitoplasmas: los principales fitoplasmas que afectan el cultivo de papa son, la punta morada de la papa, escoba de brujas y la bola de hilo.

Nematodos: entre los nematodos se encuentran *Globodera pallida*, *G. rostochiensis*, *Meloidogyne spp.* y *Nacobbus aberrans*, que inducen agallas, *Pratylenchus spp.* induce lesiones radiculares (Cepeda, 2003).

Virus: al presentarse se han reportado alrededor de 28 virus que infectan al cultivo de la papa. De éstos, el virus X (PVX), virus Y (PVY), y el virus del enrollamiento de la hoja (PLRV) de la papa, son los más importantes a nivel mundial.

Bacterias: Las principales enfermedades bacterianas que afectan a este cultivo son, Marchitez bacteriana *Ralstonia solanacearum*, Pierna negra y pudrición blanda *Pectobacterium spp.*, Pudrición anular *Clavibacter michiganensis sub.*, Sarna común *Streptomyces scabies* (Thaxter), (Hiltunen *et al.*, 2005).

Hongos: entre las enfermedades fungosas se encuentran la roña *Spongospora subterránea*, Tizón tardío *Phytophthora infestans*, Pudrición rosada *Phytophthora erythroseptica*, Tizón temprano *Alternaria solani*, Pudrición basal *Sclerotium rolfsii*, Rizoctoniosis *Rhizoctonia solani*, Pudrición seca y marchitez por *Fusarium spp* (Reynoso *et al.*, 2011).

De los principales hongos que afectan el cultivo de papa se encuentra *Fusarium sp.* que a continuación se presenta su descripción.

Fusarium spp

Dentro de las enfermedades que afectan el cultivo *F. oxysporum* es un hongo cosmopolita que existe en muchas formas patogénicas, parasitando más de 100 especies de plantas Gimnospermas y Angiospermas, gracias a los diversos mecanismos que tiene el hongo para vencer las defensas de muchas plantas (Bosland, 1988, citado por Garcés *et al.*, 2001).

Existen más de 120 formas especiales diferentes, estas han sido identificadas sobre la base de la especificidad de especie huésped que pertenecen a una amplia gama de familias de plantas (Di pietro *et al.*, 2003). Entre las formas especiales de importancia económica tenemos a: *Fusarium oxysporum f.sp. cubense* (mal de Panamá del banano); *Fusarium oxysporum f.sp. lycopersici* (marchitez del tomate); *Fusarium oxysporum f.sp. phaseoli* (marchitez del frijol); *Fusarium oxysporum f.sp. pisi* (marchitez de la arveja); *Fusarium oxysporum f.sp. dianthi* (marchitez del clavel); *Fusarium oxysporum f.sp. chrysanthemi* (marchitez del crisantemo); *Fusarium oxysporum f.sp. melonis* (Agrios, 2005).

Morfología

El micelio es incoloro al principio, pero con la edad se vuelve de color crema, amarillo pálido, rosa pálido o violeta (Agrios, 2005). Los macroconidios se forman en esporodoquios de color naranja pálido, generalmente abundantes. Los macroconidios son cortos a medio en longitud, encorvados a casi rectos y de paredes delgadas, generalmente con 3 septos. La célula apical es corta y ligeramente enganchada en algunos aislamientos. La célula basal posee forma de pie. Los macroconidios se forman a partir de monofialides en conidióforos ramificados en los esporodoquios y en menor medida de monofialides en hifas. Los microconidios generalmente sin septos, pueden ser de forma oval, elíptica o reniforme (en forma de riñón) y se forman abundantemente en falsas cabezas en cortos monofialides. Las clamidosporas se forman abundantemente en hifas en la superficie del agar en la mayoría de los aislados, especialmente en clones saprofitos del suelo, pero pueden formarse lentamente (4-6 semanas) en algunos aislamientos (Leslie *et al.*, 2006). Los tres tipos de esporas se producen en los cultivos del hongo y probablemente en el suelo, aunque sólo las clamidosporas puede sobrevivir en el suelo durante mucho tiempo (Agrios, 2005).

Síntomas

Fusarium oxysporum. Se ha caracterizado por causar síntomas que causan daño en el sistema vascular ocasionando daños en los marchitamientos, coloración amarilla, y putrefacción de la raíz, dentro de los daños el que cobra mayor importancia es el de marchitamiento vascular que generalmente *Fusarium oxysporum* es el que lo ocasiona en mayor grado (Agrios, 1988).

El ataque con frecuencia se inicia en el sistema radicular, especialmente en aquellas raíces más finas, de ahí el daño avanza hacia el tallo. Los síntomas de la marchitez fusarica, se observan principalmente en las hojas más viejas, muestran estas una clorosis seguida de una marchitez; dichos síntomas progresan posteriormente a las hojas jóvenes iniciándose al mismo tiempo una invasión del sistema vascular por el hongo (Smith *et al.*, 1992).

(Roberts *et al.*, Boothroyd 1978), indicaron que los síntomas de la marchitez causada por el hongo puede desarrollarse con mayor rapidez durante la floración y la fructificación. En los cultivos generalmente dichos marchitamientos van a observarse en forma de manchones que se extiende en forma gradual hasta cubrir todo el cultivo causando la muerte prematura de las plantas. Los síntomas de la marchitez se ven más acentuados durante el día o durante las horas intensas de calor y durante las noches hay una aparente recuperación de la planta.

Ubicación Taxonómica

Clasificación taxonómica de *Fusarium oxysporum* (Michielse y Rep, 2009).

Reino: Fungi

Phylum: Ascomycota

Clase: Sordariomycetes

Order: Hypocreales

Familia: Nectriaceae

Género: *Fusarium*

Especie: *oxysporum*

Manejo en *Fusarium*

(Agrios 2008) señaló que algunas alternativas de manejo para esta enfermedad son:

- Usar variedades resistentes, es el único método práctico para controlar la enfermedad en el campo (actualmente se dispone de varias, en ciertos cultivos).
- Esterilizar los almácigos en invernaderos.
- Usar semilla y trasplantes sanos es un hecho que resulta obligatorio, y debe efectuarse el tratamiento con agua caliente de las semillas sospechosas antes de que se siembren.
- El usar hongos antagonistas como *Trichoderma* y bacterias del género *Pseudomonas* han dado buenos resultados.
- Usar plásticos transparentes durante el verano disminuye la incidencia de la enfermedad.

Mendoza (1983) citado por Uh (2007), agrega para el control de esta enfermedad se puede recurrir a:

- Tratar la semilla con agua caliente por 20 min a 50°C, para matar al patógeno.
- No fertilizar con demasiado Nitrógeno y evitar deficiencias de Potasio.

Control químico de *Fusarium* sp

El control de los patógenos que causan las enfermedades de las plantas hasta la fecha se realizan con productos químicos, los cuales se aplican al follaje, a las semillas y al suelo (Arispe Vázquez, 2014).

Existen diversas técnicas de control químico de *Fusarium* sp. (Gutiérrez 1991) menciona que en una cama de producción con síntomas de esta enfermedad deben hacerse aplicaciones de formaldehído 50% para evitar contagio.

El mismo autor menciona otros tratamientos a base de dazomet, Methan sodio, metil isotiocianato, además de la aplicación de fungicidas sistémicos como benomyl, Thiabendazol, Carbendazim y metilthiofanato.

Entre los productos químicos que más se utilizan actualmente para el control de *Fusarium* sp se encuentran: Vigold (Fluoxastrobin) y Tecto 60 (Thiabendazol).

Vigold (Fluoxastrobin)

Las estrobilurinas sintéticas derivadas de la estructura básica de plomo de Strobilurin. Son la clase química de fungicidas agrícolas descubiertos en la segunda mitad de los años ochenta y a lo largo de los años noventa.

La estructura de la fluoxastrobin combina un innovador toxóforo, con una respuesta óptima, cadena lateral ajustada con un Flúor en el anillo de pirimidina como elemento esencial.

La fluoxastrobina, representa una clase novedosa de estrobilurinas con un valor biológico de rendimiento. Es el primer fungicida comercial de estrobilurina de sistémica foliar distinta. Ha sido desarrollado como un fungicida para aplicaciones en cultivos de cereales, papas, verduras y otros cultivos (U. Heinemann, J. Benet-Buchholz, W. Etzel and M. Schindler).

Tecto 60 (Thiabendazol)

Identificación:

Nombre químico: 2-(tiazol-4-il) bencimidazol, o bien 2-(4-tiazolil)-1*H*-benzimidazo

Thiabendazol producto sistémico con actividad fungicida preventiva y curativa por contacto, de amplio campo de acción. Se absorbe por raíces y hojas e impide la mitosis al unirse a la tubulina por lo que se altera el crecimiento del hongo. También actúa sobre algunos nematodos.

En el suelo, su vida media puede oscilar de 33 y 120 días según condiciones de humedad y temperatura. Se considera altamente persistente: 403 días.

Campo de actividad: entre las numerosas enfermedades de origen fúngico que previene aplicado en presembrado, precosecha, postcosecha y tratamiento de semillas destaca *Fusarium* sp en el cultivo de papa (Terralia, 2017).

La principal ventaja del control biológico sobre el control químico está en la ausencia de residuos químicos sobre las partes comestibles de los cultivos, así mismo aminora el daño al medio ambiente por la falta de químicos persistentes (Zulia, 2009).

Control biológico

La utilización de microorganismos antagonistas constituye una alternativa para disminuir la incidencia de enfermedades, mejorar la nutrición y la resistencia de las plantas (Pocasangre, 2000). Investigaciones han demostrado que existen varios mecanismos de acción de estos antagonistas para controlar el desarrollo de patógenos, que involucran generalmente antibiosis, competencia por espacio o por nutrientes, interacciones directas con el patógeno (micoparasitismo y lisis enzimática) e inducción de resistencia (Fernández, 2001; Berg y Hallmann, 2006).

El control biológico se refiere a la utilización intencionada de organismos vivos introducidos o nativos, para suprimir las actividades y poblaciones de uno o más fitopatógenos (Pal *et al.*, McSpadden, 2006).

Los fitopatógenos son los factores más importantes que causan pérdidas a los productos agrícolas cada año. Para minimizar estas pérdidas, los agricultores utilizan fungicidas que causan efectos tóxicos a la salud humana. Por lo tanto, la necesidad de una agricultura sostenible dependerá cada vez más en la integración de la biotecnología con las prácticas agrícolas tradicionales. El método de control sostenible y ambientalmente más aceptable, puede conseguirse utilizando el control biológico, debido al esfuerzo para reducir el uso de agroquímicos y sus residuos en el medio ambiente y en los alimentos. Para mejorar la producción de cultivos es necesario, identificar, entender y utilizar microorganismos o productos microbianos para el control de fitopatogenos, estos puntos son partes integrales de la agricultura sostenible (Khokhar *et al.*, 2012).

Bacillus subtilis

B. subtilis es un microorganismo autóctono de suelo que prospera en la naturaleza, donde se encuentra ampliamente distribuido en muy diversos hábitats y los cuales ha colonizado eficientemente debido a sus cualidades, entre las cuales podemos mencionar; el tener un programa genético que le permite formar esporas, crecer en un amplio rango de temperaturas, la capacidad de moverse, mostrar velocidades de crecimiento altas, producir enzimas hidrolíticas que le permiten formar esporas extracelulares y una variedad de antibióticos. Es una de las 40 especies reconocidas del Género *Bacillus*, su identificación es sencilla: forma esporas termo resistentes, es catalasa Voges- Proskauer positivo, su crecimiento es agar anaeróbico (agar nutritivo) es negativo y la hidrólisis del almidón es positiva (Slepecky y Hemphill, 1992). Este microorganismo son bacilos móviles, células individuales o pequeñas cadenas, temperatura de crecimiento de 15 a 55°C, reduce el nitrato a nitrilo, e hidrolizan almidón y caseína. (Nakamura, *et al.*, 1999) en medios complejos con glucosa o nitrato se observa un crecimiento anaeróbico restringido (Sallé, 1968).

Morfología colonial

Todas las características de *Bacillus subtilis* pueden ser observadas durante el crecimiento de la bacteria en una superficie de agar. La colonia es tradicionalmente circular, con bordes definidos, de color crema o blanco. Las bacterias se extienden desde el centro, manteniendo limitada la forma circular de la colonia. Se puede ver el movimiento de este organismo de manera individual bajo la observación de un microscopio. Las bacterias individuales viajan en bandas, moviendo a la colonia en conjunto. *Bacillus subtilis* sólo se puede mover en una dirección: hacia delante (Ferreira, *et al.*, 1991).

Ubicación Taxonómica

Dominio: Bacteria

Filo: Firmicutes

Clase: Bacilli

Orden: Bacillales

Familia: Bacillaceae

Género: *Bacillus*

Especie: *subtilis*

(Ehrenberg, 1835; Cohn 1872)

Modo de acción de *B. subtilis*

Antibiosis

Produce enzimas hidrofílicas extracelulares que descomponen polisacáridos, ácidos nucleicos permitiendo que el organismo emplee estos productos como fuente de carbono y electrones. Producen antibióticos como la bacitracina, polimixina, gramicidina y circulina, reduciendo la incidencia de enfermedades (Cuervo 2010).

(Cuervo 2010) menciona que *B. subtilis* segrega una proteína llamada subtilina que actúa sobre la pared celular de los hongos, minimizando su tamaño, también demostró que induce resistencia sistemática natural de la planta contra el patógeno fungoso, propiedad llamada Resistencia Sistemática Adquirida (SAR).

Estudios demuestran que *B. subtilis* colabora activamente en la degradación de diversos sustratos celulósicos gracias a la enzima que este aporta (Utkhede *et al.*, Smith 1991).

Trichoderma harzianum

Trichoderma forma una colonia que se desarrolla rápidamente, al inicio el micelio es sumergido y eventualmente es aéreo hialino muy variable en su forma, puede ser enmarañado, flocoso, lanoso o aracnoideo, dependiendo de la cepa y del medio de cultivo. El color de la colonia es variable, puede ser amarillo, ámbar, rojizo opaco o amarillo-verde. Produce un olor principalmente pronunciado o débil, característico del género, lo que sugiere el olor a coco o alcanfor. La producción de conidios es abundante en pústulas o formando mechones compactos, normalmente en tonos verdes y con menos frecuencia blanco, gris o marrones. El conidióforo en la mayoría de las especies posee un eje principal ampliamente ramificado a intervalos regulares, con ramas sucesivas apicalmente, las distales son más cortas y estrechas; la ramificación del conidióforo es más o menos divergente, solitario, emparejados o en verticilos; las ramificaciones verticiladas en forma consecutiva pueden dar como resultado una estructura piramidal altamente ramificada, en otras especies la ramificación es menor, regularmente con ramas solitarias o en parejas. La anastomosis puede ocurrir entre conidióforos adyacentes. Presenta células conidiogénicas, conocidas como fiálides, por lo general dispuestas en verticilos divergentes, terminales en las ramas del conidióforo o directamente debajo de los septos a lo largo de los conidióforos y ramas, de lo contrario son emparejadas o solitarias y dispuestas irregularmente; cilíndricas, subuladas, lageniformes, ampuliformes o subglobosas; generalmente atenuadas a un conidióforo estrecho, teniendo el cuello corto y cilíndrico. Los conidios son unicelulares, típicamente verdes, grisáceos o parduscos o incoloros; las paredes son lisas a claramente rugosas o con proyecciones sinuosas, ampollosas o en forma de ala de la pared exterior; subglobosos, ovoides, elipsoides, oblongos o cilíndricos. Las clamidosporas generalmente están presentes y son abundantes, especialmente en el micelio sumergido; son intercalares o terminales en cortas ramas laterales de las hifas vegetativas; de apariencia globosa a elipsoide, incoloras o de color amarillento a

verdoso, lisas y a veces de paredes gruesas (4 µm). Las hifas vegetativas generalmente son hialinas de paredes lisas de 1 -10 µm de ancho, con menos frecuencia (o en el micelio sumergido) de color amarillo pálido, con un engrosamiento de pared irregular de hasta 16 µm de anchura (Gams y Bissett, 1998).

Sistemática de *Trichoderma*

La taxonomía del género *Trichoderma* ha sido debatida fuertemente y no ha sido sino hasta épocas recientes que se ha podido realizar una identificación taxonómica confiable (Druzhinina y Kubicek, 2005). Los análisis filogenéticos muestran que *Trichoderma* e *Hypocrea* son congéneres (Samuels, 2006). Otros análisis revelan que especies de *Hypocrea* con ascosporas verdes y anamorfos de *Trichoderma* son derivados desde dentro de *Hypocrea*, pero no forman un grupo monofilético. Los caracteres fenotípicos por sí solos no son generalmente útiles en la comprensión de relaciones filogenéticas en este grupo de organismos, ya que los caracteres teleomorfos son generalmente muy conservados y caracteres anamorfos tienden a ser morfológicamente divergentes dentro de los linajes monofiléticos o clados (Cheverri y Samuels, 2003).

Mohiddin *et al.*, (2010) ubican al género *Trichoderma* como sigue

Reino: Fungi

División: Ascomycota

Subdivisión: Pezizomycotina

Clase: Sordariomycetes

Orden: Hypocreales

Familia: Hypocreaceae

Género: *Trichoderma*

Especie: *harzianum*

Hábitat

La temperatura óptima de crecimiento para la mayoría de *Trichoderma* spp., está en el rango de 25-30 °C Según estudios de laboratorio (Klein y Eveleigh, 1998). Daved (1983) demostró que *Trichoderma harzianum* introducido en un suelo de campo fue capaz de sobrevivir saprofiticamente por 3 años.

Trichoderma se considera generalmente como un género de hongos del suelo de vida libre, pero la evidencia sugiere que las especies de *Trichoderma* pueden ser simbiontes oportunistas de plantas, no virulentas, así como parásitos de otros hongos. Los miembros del género *Trichoderma* están universalmente presentes en casi todos los suelos del mundo, aunque algunas especies pueden ser cosmopolitas (por ejemplo, *T. harzianum*) o limitadas (por ejemplo, *T. viride*) en su distribución geográfica (Samuels, 2006).

Las especies de *Hypocrea* se encuentran con mayor frecuencia en la corteza o en la madera descortezada de árboles, pero muchas especies crecen en hongos de repisa (por ejemplo *H. pulvinata*), *exidia* (*H. sulphurea*), nidos de pájaro (*H. latizonata*) o en agáriscos (*H. avellanea*) (Cheverri y Samuels, 2013).

Mecanismos de acción de *Trichoderma*

En la acción biocontroladora de *Trichoderma* se han descrito diferentes mecanismos de acción que regulan el desarrollo de los hongos fitopatógenos. Entre estos, los principales son la competencia por espacio y nutrientes, el micoparasitismo y la antibiosis, los que tienen una acción directa frente al hongo fitopatógeno, (Leal 2000 *et al.*, Lorenzo 2001). Estos mecanismos se ven favorecidos por la habilidad de los aislamientos de *Trichoderma* para colonizar la rizosfera de las plantas. Otros autores han sugerido distintos mecanismos responsables de su actividad biocontroladora, que incluyen, además de los mencionados, la secreción de enzimas y la producción de compuestos inhibidores (Haram 1996 *et al.*, Zimand 1996).

Además, se conoce que *Trichoderma* presenta otros mecanismos, cuya acción biorreguladora es de forma indirecta. Entre estos se pueden mencionar los que elicitán o inducen mecanismos de defensa fisiológicos y bioquímicos como es la activación en la planta de compuestos relacionados con la resistencia (Inducción de Resistencia), (Harman 2004) con la detoxificación de toxinas excretadas por patógenos y la desactivación de enzimas de estos durante el proceso de infección; la solubilización de elementos nutritivos, que en su forma original no son accesibles para las plantas. Tienen la capacidad, además, de crear un ambiente favorable al desarrollo radical lo que aumenta la tolerancia de la planta al estrés (Harman 2003).

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del experimento

El estudio se realizó en el periodo de marzo - agosto del año 2016, bajo condiciones de invernadero del Departamento de Parasitología ubicado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), (Figura 1).

Figura 1. Toma aérea de la UAAAN, donde se ubica el invernadero de Parasitología

- ★ Invernadero Forestal
- ★ Invernadero Parasitología
- ★ Rectoría



Fuente: Google Maps

Obtención de material biológico

La variedad utilizada de papa fue Fiana, los tubérculos infectados se obtuvieron de un productor de papa de los Mochis, Sinaloa, México. También se obtuvieron tubérculos sanos obtenidos de la misma región.

Cabe mencionar que los tubérculos que se utilizaron como semilla tenían un daño muy severo por el hongo *Fusarium sp* (Figura 2) por lo que ya no sería necesaria una inoculación del mismo.



Figura 2. Tubérculos con daño por *Fusarium sp* (semilla utilizada).

Establecimiento del ensayo

El presente experimento se estableció en condiciones de invernadero. Se utilizó el diseño experimental de bloques al azar con cinco tratamientos (Tabla 1). Las plantas se establecieron en una cama de 8 metros de largo por 1 metro de ancho con condiciones de suelo normales, además, se utilizó cintilla de goteo para facilitar el riego.

En el experimento se utilizaron ocho repeticiones por tratamiento, un tubérculo por repetición, por tanto, se utilizaron 40 tubérculos, en el testigo absoluto se utilizaron tubérculos que carecían de daño por *Fusarium* sp.

Al momento de la siembra, al fondo del surco se aplicó una mezcla de fertilizante con la dosis (150-300-150+gallinaza), seguidamente se colocaron los tubérculos con una distancia entre ellos de 12 cm.

Todos los tratamientos se aplicaron al momento de la siembra (Figura 3) con su respectivas dosis y cantidad de agua (400 cc).



Figura 3. Aplicación de tratamientos al momento de la siembra

Tratamientos evaluados y Concentración de tratamientos

Cuadro 1. Se muestran los tratamientos evaluados, concentración y la cantidad utilizada en el experimento.

Tratamiento	Concentración de los productos	Cantidad aplicada
Testigo absoluto	-	-
Testigo + <i>Fusarium</i>	-	-
<i>Fusarium</i> + <i>Trichoderma harzianum</i>	1 x 10 ⁹ ufc/gr	0.248 gr/400cc agua
<i>Fusarium</i> + <i>Bacillus subtilis</i>	1 x 10 ⁹ ufc/ml	3 cc/400cc agua
<i>Fusarium</i> + Vigold	40.3 %	0.8 cc/400cc agua

Modelo estadístico del análisis

El efecto de los tratamientos se analizó a través del programa InfoStat y por la prueba de comparación de medias de LSD Fisher.

Para la realización de graficas se utilizó el programa SigmaPlot 10.0.

Evaluación

El experimento se estableció en un diseño de bloques al azar en 5 tratamientos, la evaluación se dividió en dos etapas. la primera evaluación se realizó a los 80 días después de la siembra (DDS) y la segunda evaluación se hizo en cosecha a los 165 días después de la siembra.

Variable y parámetros evaluados

Los parámetros evaluados para identificar *Fusarium* sp en plantas de papa en el experimento fueron: Incidencia y severidad en base a niveles de daño de tallos en desarrollo. La variable evaluada fue control de la enfermedad en tubérculos cosechados.

Parámetros tomados en cuenta en la primera evaluación

(80 Días después de la siembra)

Se utilizaron 2 repeticiones de cada tratamiento completamente al azar para realizar la primera evaluación.

Longitud de tallo.

Se realizó utilizando cinta métrica y con exactitud se midió en centímetros.

Longitud de raíz.

Se realizó utilizando cinta métrica y con exactitud se midió en centímetros.

Número de tubérculos. Contabilizados por planta en cada tratamiento.

Número de tallos. Contabilizados por planta en cada tratamiento.

Diámetro de tallo a base.

Se realizó utilizando un vernier y se midió en milímetros exactamente en la base del tallo.

Incidencia y Severidad en tallos.

Una vez que se realizaron todos los parámetros antes mencionados, se procedió a la evaluación destructiva que consistía en hacer un corte longitudinal en los tallos de las plantas evaluadas (Figura 4), esto se hizo con el fin de observar los síntomas de la enfermedad. Síntoma común, taponamiento de haces vasculares.



Figura 4. Corte longitudinal en tallo de planta de papa.

La segunda evaluación se realizó en la cosecha a los 165 días después de la siembra, donde se tomaron en cuenta los siguientes parámetros.

Número de tubérculos. Contabilizados por planta en cada tratamiento.

Diámetro de Tubérculos. Se realizó utilizando un vernier y medidos en milímetros.

Peso total de tubérculos. Se utilizó balanza digital.

Incidencia de *Fusarium* en Tubérculos.

Una vez que se realizaron todos los parámetros antes mencionados, se procedió a la evaluación destructiva que consistía en hacer un corte transversal en tubérculos (Figura 5), esto se hizo con el fin de observar la incidencia del patógeno.



Figura 5. Corte transversal en tubérculos de papa cosechada.

RESULTADOS

El resultado del análisis microbiológico indicó la presencia de *Fusarium* sp como se puede observar en la Figura 6.

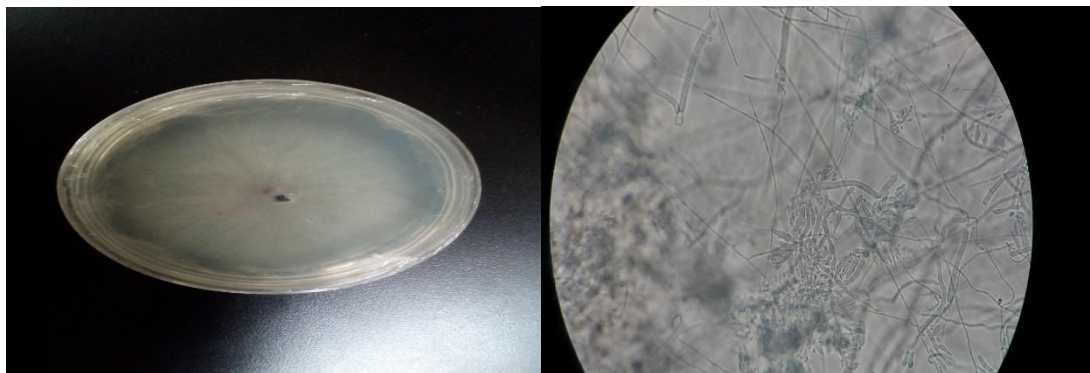


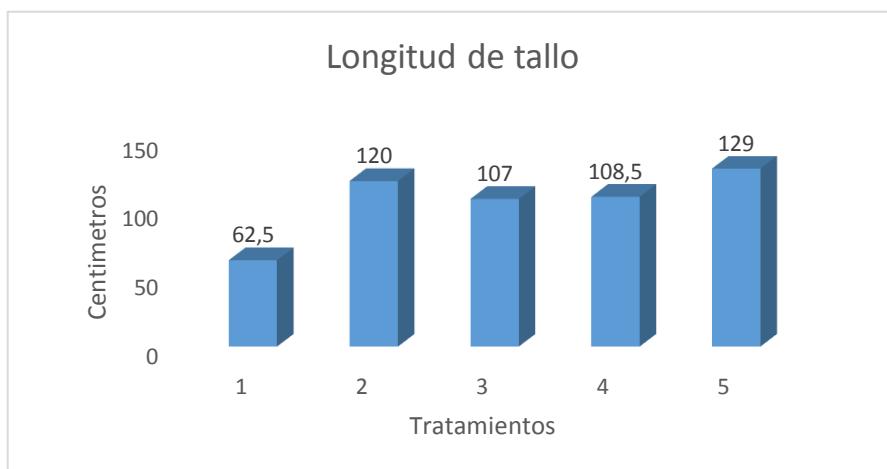
Figura 6. Hongo *Fusarium* sp en medio de cultivo y observado a través de microscopio

Para determinar el porcentaje de control de la enfermedad se tomaron en cuenta varios parámetros ya antes mencionados, divididos en dos evaluaciones.

Evaluación 1 (80 DDS)

Longitud de tallo

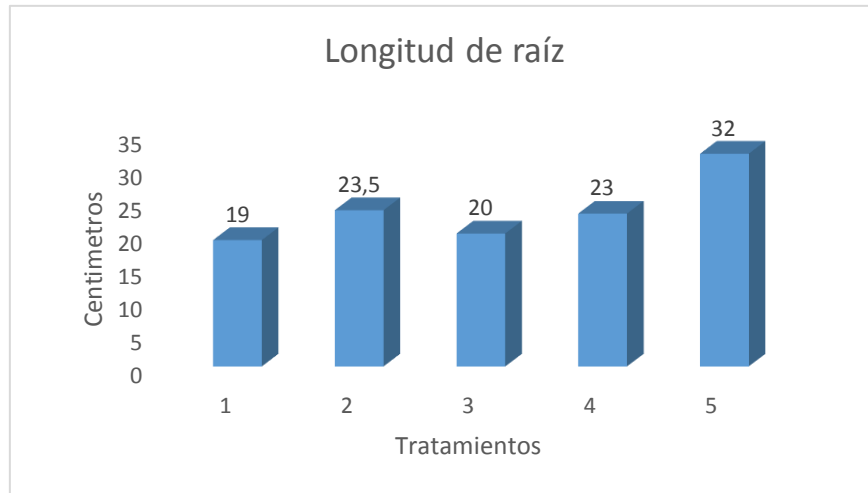
El porcentaje de altura de tallos a los 80 días se demostró que en el tratamiento 2 se obtuvo poco desarrollo en comparación al tratamiento 3 y 4, que presentaron similitud en crecimiento (Grafica1), mientras que el testigo absoluto T1 obtuvo el valor más bajo en éste parámetro comparado con el tratamiento 5 que fue el que demostró una mejor altura en plantas.



Grafica1. Promedios de longitud de tallo de plantas de papa por tratamiento.

Longitud de raíz

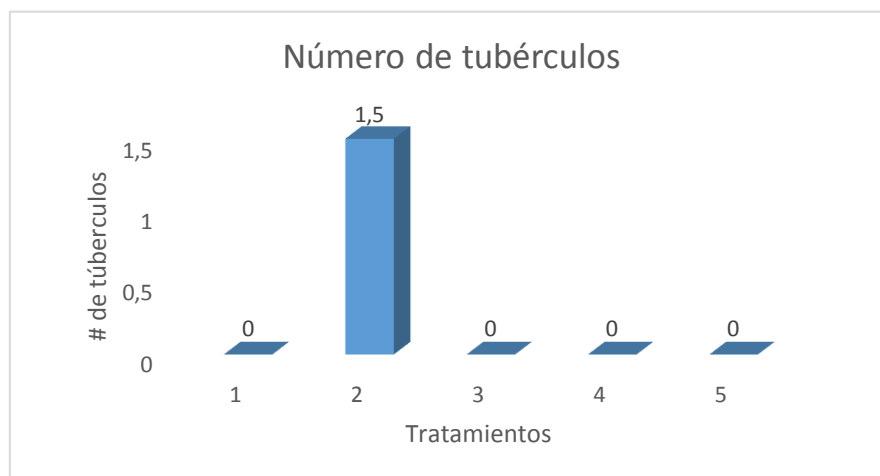
El análisis de varianza detectó diferencias significativas al $P \leq 0.05$, el tratamiento donde se aplicó Vigold (T5) se obtuvo la mayor longitud de raíz (32 cm) en comparación con el testigo absoluto (T1) con 19 cm (Grafica 2), esto demuestra un aumento de 40.62% en relación al testigo.



Grafica 2. Promedios de longitud de raíz de plantas de papa por tratamiento.

Número de tubérculos

En la gráfica 3 se observa que a los 80 días de desarrollo del cultivo no se tiene producción de tubérculos, sin embargo, el tratamiento 2 (Testigo + *Fusarium*) se distingue por ser el tratamiento que mejores resultados muestra en éste parámetro.



Grafica 3. Promedios de número de tubérculos en plantas de papa por tratamiento.

Número de tallos

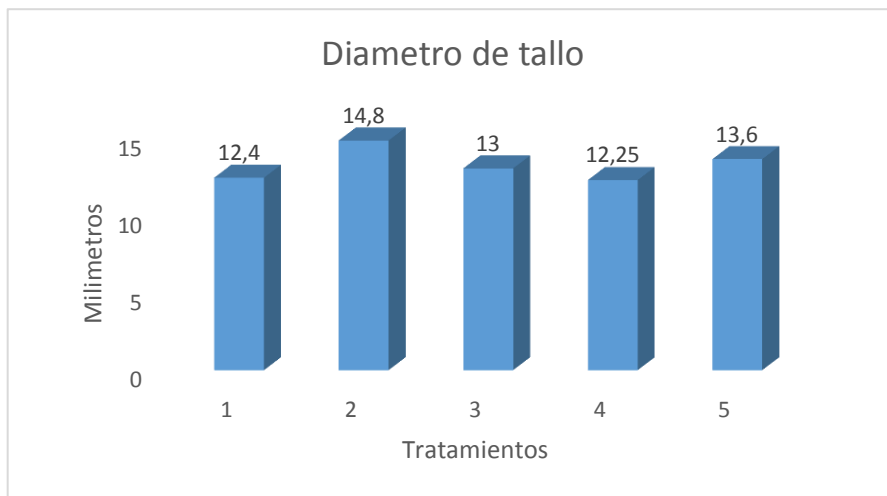
El análisis de varianza no detectó diferencias significativas al $P \leq 0.05$, sin embargo, en los tratamientos 3 y 4 se obtuvo el mayor número de tallos en comparación con el testigo absoluto (T1) esto demuestra un aumento de 50% en relación al testigo (Grafica 4).



Grafica 4. Promedios de número de tallos en plantas de papa por tratamiento.

Diámetro de tallo

En el análisis de varianza no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos en éste parámetro, pero numéricamente el tratamiento 2 demostró las mejores medidas en comparación con el tratamiento 1 y 4 que tuvieron similitud (Grafica 5).



Grafica 5. Promedios de diámetro de tallo a la base en plantas de papa por tratamiento.

Incidencia y Severidad

En las siguientes figuras de la evaluación, se demuestra si existen daños causados por el patógeno *Fusarium* sp.

Testigo Absoluto

A los 80 días de desarrollo del cultivo se observa que no existen daños causados por *Fusarium* sp (Figura 7). La incidencia y severidad en este Tratamiento es de 0%.



Figura 7. Evaluación de incidencia y severidad en el testigo absoluto.

Testigo con *Fusarium* sp.

A los 80 días de desarrollo del cultivo se observa que no existen daños causados por *Fusarium* sp (Figura 8). La incidencia y severidad en este Tratamiento es de 0%.



Figura 8. Evaluación de incidencia y severidad en el testigo con *Fusarium* sp

Fusarium + Trichoderma harzianum

A los 80 días de desarrollo del cultivo se observa que no existen daños causado por *Fusarium* sp (Figura 9). La incidencia y severidad en este Tratamiento es de 0%.



Figura 9. Evaluación de incidencia y severidad en *Fusarium* sp + *Trichoderma harzianum*.

Fusarium + Bacillus subtilis

A los 80 días de desarrollo del cultivo se observa que no existen daños causado por *Fusarium* sp (Figura 10). La incidencia y severidad en este Tratamiento es de 0%.



Figura 10. Evaluación de incidencia y severidad en *Fusarium* sp + *Bacillus subtilis*.

***Fusarium* + Tratamiento convencional (Vigold)**

A los 80 días de desarrollo del cultivo se observa que no existen daños causado por *Fusarium* sp. La incidencia y severidad en este Tratamiento es de 0%.

La imagen compara el daño de *Fusarium* que se observa en la semilla con la raíz y tallo sano de la misma planta (Figura 11).

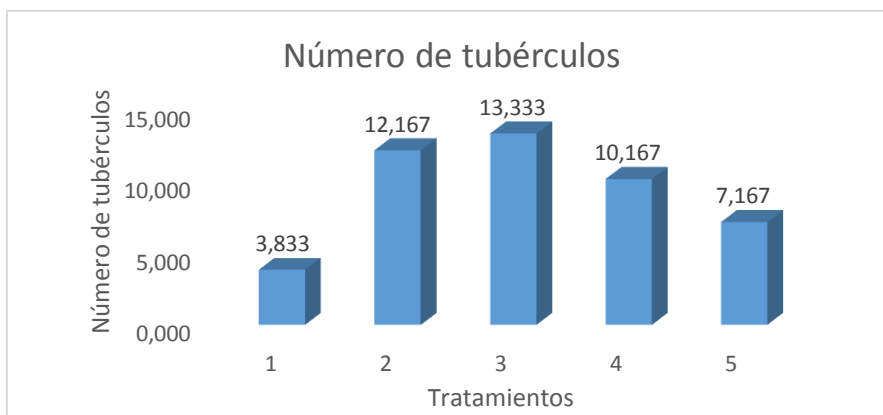


Figura 11. Evaluación de incidencia y severidad en *Fusarium* sp + Vigold.

Evaluación 2 (165 DDS)

Número de tubérculos

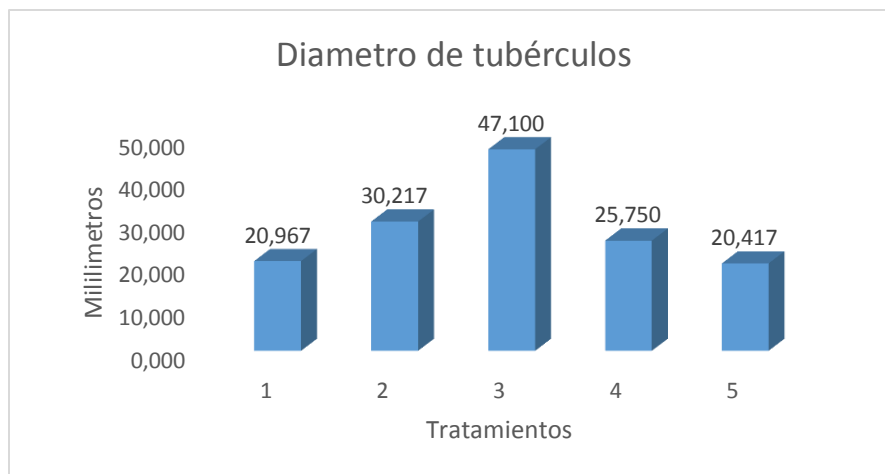
La gráfica muestra que a los 165 días de desarrollo del cultivo ya se observa un aumento en la producción de tubérculos, en el análisis de varianza se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos en éste parámetro, obteniendo que el tratamiento 3 demostró un aumento de 71% sobre el testigo absoluto (Grafica 6).



Grafica 6. Promedios de número de tubérculos en plantas de papa por tratamiento.

Diámetro de tubérculos

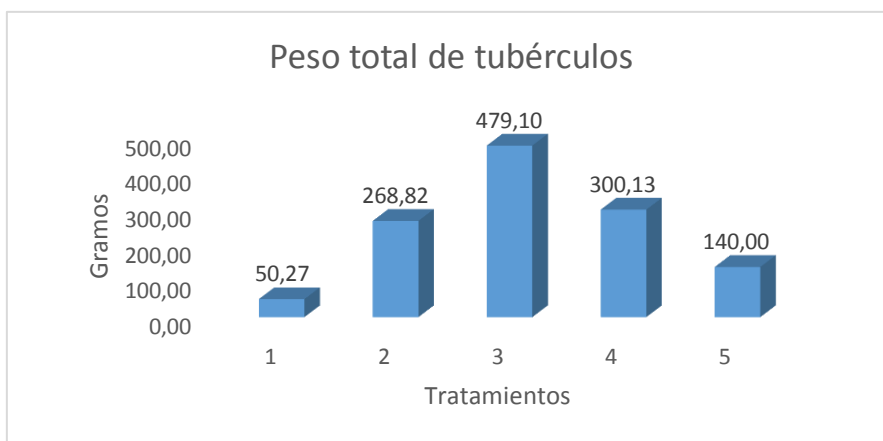
En el análisis de varianza se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos de éste parámetro, obteniendo el mejor resultado el tratamiento 3 que sobre sale con un 32.60%, sobre los demás tratamientos. En éste parámetro el tratamiento 5 demostró resultados menores a los del testigo absoluto (Grafica 7).



Grafica 7. Promedios de diámetro de tubérculos en plantas de papa por tratamiento.

Peso total de tubérculos

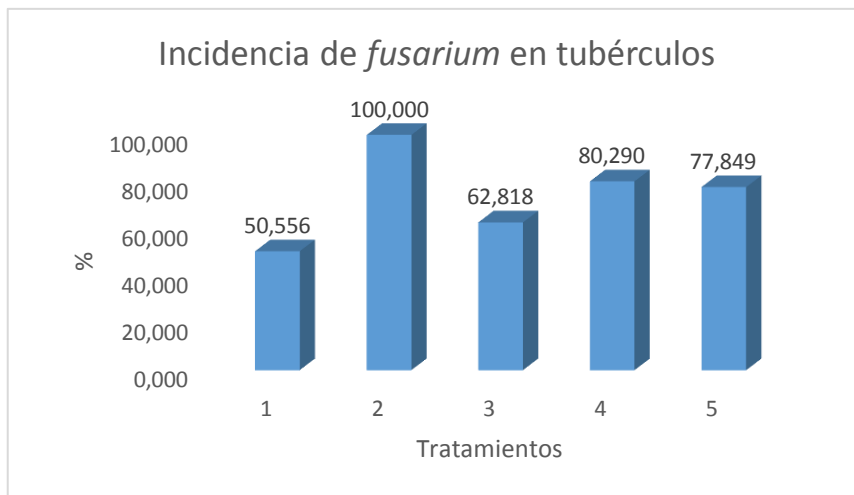
El análisis de varianza detectó diferencias significativas al $P \leq 0.05$, el tratamiento donde se aplicó *Trichoderma harzianum* T3, se obtuvo el mayor peso de tubérculos esto se debe a que también fue el tratamiento con mayor número de tubérculos (Grafica 6). En comparación con el testigo absoluto (T1), todos los tratamientos mostraron mayores resultados (Grafica 8).



Grafica 8. Promedios de peso total de tubérculos en plantas de papa por tratamiento.

Incidencia de *Fusarium* en tubérculos.

Con respecto al número de tubérculos (Grafica 6) se identificó cuántos de éstos contaban con la incidencia de *Fusarium* sp y el análisis de varianza detectó diferencias significativas en éste parámetro, obteniendo como resultado que en el tratamiento 2 de todos los tubérculos obtenidos, el 100% tenía incidencia de *Fusarium*, mientras que el Tratamiento 1 fue el que mostro menos porcentaje de tubérculos con incidencia (Grafica 9).



Grafica 9. Incidencia de *Fusarium* sp en tubérculos de papa por tratamiento, con respecto a la gráfica 6

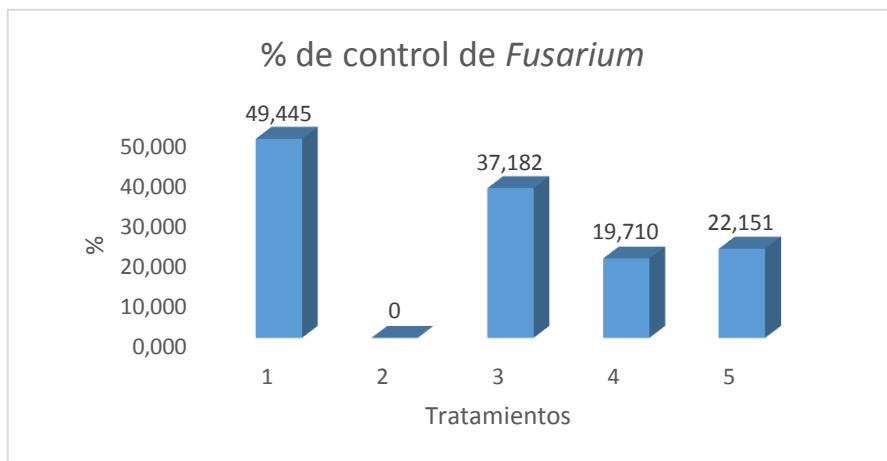
Porcentaje de control de *Fusarium* sp reflejado en los tubérculos de cada uno de los tratamientos.

El control de *Fusarium* sp en tubérculos cosechados a los 165 días, se demostró que en el tratamiento T2 no hubo control del patógeno en comparación a los demás tratamientos (Grafica 10), mientras que el testigo absoluto (T1) obtuvo el valor más alto en éste parámetro.

Para poder obtener los datos de control, se utilizó la fórmula de Abbot:

$$\% \text{ de control} = \frac{\text{Dato del testigo} - \text{Dato del tratamiento}}{\text{Dato del testigo}} \times 100$$

Utilizando como testigo el T2 (Testigo con *Fusarium*), esto debido a que éste tratamiento mostró el 100% de incidencia de la enfermedad incluso sobre el testigo absoluto (T1) (Grafica 9).



Grafica 10. Porcentaje de control de *Fusarium* sp sobre los tubérculos en plantas de papa por tratamiento.

DISCUSIÓN

A continuación, se presentan y discuten los resultados de este trabajo, donde se evaluaron métodos de control de *Fusarium* sp en el cultivo de papa, entre los métodos de control se utilizaron dos productos biológicos (*Trichoderma harzianum*, *Bacillus subtilis*) y un producto químico Vigold (Fluoxastrobin).

Los datos obtenidos en el presente trabajo mostraron resultados positivos, a pesar del daño tan severo de *Fusarium* sp que presentaban los tubérculos utilizados como semilla.

Todos los parámetros que se tomaron en cuenta fueron con la finalidad de identificar si *Fusarium* sp estaba interviniendo en el desarrollo de las plantas, sin embargo, el parámetro con mayor importancia es, incidencia de *Fusarium* sp en tubérculos esto se debe a que los tubérculos son la parte comercial de la planta de papa.

Con respecto a la incidencia de *Fusarium* sp en tubérculos cosechados, el tratamiento T3 (*Trichoderma harzianum*) obtiene los mejores resultados de control, demostrándose así los efectos que puede tener un producto de origen biológico comparado con los efectos de productos químicos como es el caso de Vigold.

No obstante, el tratamiento 5 (Vigold) mostro buenos resultados en los parámetros de longitud de tallos, longitud de raíz y diámetro de tallo, además de no presentar incidencia y severidad de la enfermedad. Demostrando la protección que tiene en material vegetal durante cierto periodo de tiempo. Podría considerarse una segunda aplicación con otro ingrediente activo para más días de protección.

En el caso de *Bacillus subtilis*, no mostró resultados favorables en el control de *Fusarium sp*, ninguno de los parámetros evaluados fue favorable para éste tratamiento.

El tratamiento T2 (testigo + *Fusarium sp*) mostró resultados positivos en cuanto a número de tubérculos y diámetro de éstos mismos; demostrando que *Fusarium sp* sin productos con acción fúngica estimula la producción de tubérculos en la planta de papa, sin embargo, el 100% de los tubérculos tuvieron incidencia de *Fusarium sp*.

Tomando en cuenta el número de tubérculos y el promedio de diámetro, el tamaño de los tubérculos obtenidos en el experimento no fue el más óptimo (\bar{X} 28.89 mm) comparado con el promedio de tubérculos comercializados de 60 mm. El principal factor que pudo haber intervenido en el desarrollo de los tubérculos fue la nutrición de las plantas.

CONCLUSIONES

Los productos biológicos como es el caso de *Trichoderma harzianum* tiene resultados favorables al utilizarlo como medio de control de *Fusarium* sp incluso al compararlos con productos químicos.

Con respecto a la hipótesis planteada, ésta se rechaza debido a que con los datos obtenidos se demuestra que el mejor tratamiento para el control de *Fusarium* sp sin tomar en cuenta el testigo absoluto T1 fue, *Trichoderma harzianum* demostrando menor incidencia de *Fusarium* en tubérculos.

Es indispensable conocer la especie del patógeno con el que se trabaja, esto para saber cómo es el ataque del mismo a la planta y así tener el conocimiento de lo que puede ocasionar.

Considerar la aplicación de *Trichoderma harzianum* directamente a la semilla, puede proteger el cultivo de papa de infecciones de *Fusarium* sp.

El producto Vigold (Fluoxastrobin) tienen control sobre *Fusarium* sp, pero solo por un lapso de tiempo determinado.

La incidencia y severidad de *Fusarium* sp en el cultivo de papa se presenta con mayor grado en los tubérculos, sin embargo, en la parte foliar de la planta es menos el daño causado.

BIBLIOGRAFÍA

- Agrios, G.N. 1988. Plant Pathology. Third Edition. Academic Press, I. N.C. London 803p
- Angulo, A. (2010). índices de crecimiento de cinco cultivares de papa.
- Agrios, G. N. 2005. Plant pathology. Ed. Elsevier Academic Press. 5a ed. California, EUA, p. 523.
- Agrios, G.N. 2008. Fitopatología. Ed. Limusa. México. 2. Pp 32, 248-278, 428432.
- Arispe Vazquez, J. (2014) Biocontrol de la pudrición de Mazorca Causada por *Fusarium* spp. En Cuatro Genotipos de Maíz con *Trichoderma* spp. Bajo condiciones de campo en la Region de Tepalcingo Mmorelos. Licenciatura. Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro
- Alonso, J. L. (28 de noviembre de 2014). *consumo y mercado de la papa* . Obtenido de <https://consumoymercadodepapa.wordpress.com/2014/11/28/consumo-y-mercadeo-de-la-papa-en-mxico/>
- Berg, G.; Hallmann, J. 2006. Control of Plant Pathogenic Fungi with Bacterial Endophytes. In Microbial Root Endophytes. 2006. Eds. B. Schulz; C. Boyle; T. Sieber. Germany. Springer. 367 p
- Borba, N. (Agosto de 2008). *rapaluruquay.org*.
Obtenido de <http://www.rapaluruquay.org/transgenicos/Papa/Papa.pdf>
- Comité Nacional Sistema Producto Papa (CONPAPA). 2013. Monografía del Sector Papa. 24. Revisado el 20 de noviembre de 2016.
<http://conpapa.org.mx/files/pages/0000000018/ficha-tecnica-2013.pdf>
- Cadenas Vázquez, Alfredo. crecimiento y producción de papa en el complejo punta morada, bajo condiciones de invernadero.
- Cepeda, S, M. 2003. La papa, el fruto de la tierra. Editorial Trillas, Primera Edición. México. Pp. 15
- Cerkauskas, R. 2005. Fusarium wilt. AVRDC – The world vegetable center. Shanhua, Taiwan, P. 1.

- Chaverri, P. and Samuels, G. J. 2003. Hypocrea/Trichoderma (Ascomycota, Hypocreales, Hypocreaceae): Species with green ascospores. *Studies in Mycology* 48. Centraalbureau Boor Schimmelcultures (CBS): Utrecht, P.116
- Cuervo, J. (2010). Aislamiento y caracterización de *Bacillus* spp. Como fijadores biológicos de nitrógeno y solubilizadores de fosfatos en dos muestras de biofertilizantes comerciales. Pontificia Universidad Javeriana Colombia.
- Davet, P. 1983. Introducción et conservation des Trichoderma dans le sol. In les antagonismes microbiens, 24 eme colloque SFP, Bordeaux, Pp. 26-28, Ed. INR.
- Druzhinina, I. and Kubicek, C. P. 2005. Species concepts and biodiversity in Trichoderma and Hypocrea: from aggregate species to species clusters? *Journal of Zhejiang University Science*, 6:100-102.
- Fries, A. M., & Tapia, M. E. (2007). *Guía de campo de los cultivos andinos*. FAO, ANPE-PERÚ.
- FAO, 200." La papa; tesoro enterrado, ¿por qué la papa?", *Revistamensual, claridades agropecuarias*, No. 174
- Fernández-Larrea, O. 2001. Microorganismos antagonistas para el control fitosanitario. *Manejo Integrado de Plagas* no. 62:96-100
- Ferreira, J.H.S., Matthee, F.N. and Thomas, A.C. 1991 Biological control of *Eutypalata* on grapevine by on antagonistic strain of *Bacillus subtilis* *Phytopathology* 81:283-287 93
- Gams W. and Bissett J. 1998. Morphology and identification of Trichoderma, in: *Trichoderma and Gliocladium*. Vol. 1. C. P. Kubicek and G. E. Harman, eds. Taylor & Francis, London, Pp 6-7
- Graves, C. (Ed.). (2000). *La papa: tesoro de los andes: de la agricultura a la cultura*. International Potato Center.
- Garcés, de G. E., Orozco, de A. M., Rocío, B. G. y Valencia., H. 2001. Fusarium oxysporum el hongo que nos falta conocer. *Acta Biológica Colombiana*, 6:7-25.

- Harman G. *Trichoderma harzianum*, *T. viridis*, *T. koningii*, *T. hamatum* (Deuteromycetes: Moniliales). 2003. Disponible en: <http://www.ibun.unal.edu.co/r2r7e.html>.
- Harman GE. Mythos and dogmas of biocontrol. Changes in perceptions derive from research on *Trichoderma harzianum* T22. Plant Dis. 2004;84:377-393.
- Haram S, Schickler H, Oppenheim A, Chet I. Differential expression of *Trichoderma harzianum* chitinases during mycoparasitism. Phytopathol. 1996;86:980-985.
- Hinojosa, M. A. C., Plazola, R. G., Valasis, M. D., Quintana, T. E. Z., Torres, O. S. M., León, I. H. A., ... & Covarrubias, O. R. (2003). Distribución, Incidencia y Severidad del Pardeamiento y la Brotación Anormal en los Tubérculos de Papa (*Solanum tuberosum* L.) en Valles Altos y Sierras de los Estados de México... *Revista Mexicana de Fitopatología*, 21(3), 248-259.
- Hiltunen, A. Weckman, A. Ylhainen, H. Rita, E. Richter and J. P. T. Valkonen., 2005. Responses of Potato Cultivars to the Common Scab Pathogens, *Streptomyces scabies* and *S. turgidiscabies*. *Annals of Applied Biology*. Vol. 146.pp. 395-403.
- Khokhar, M. K., Gupta, R. and Sharma, R. 2012. Biological control of plant pathogens using biotechnological aspects: A Review, 1:27
- Klein, D. and Eveleigh, D.E.1998. Ecology of *Trichoderma*. in: *Trichoderma and Gliocladium*. Vol. 1. C. P. Kubicek and G. E. Harman, eds. Taylor & Francis, London. P.57
- Leslie, J. F., Summerell, B. A. and Bullock, S. 2006. *The Fusarium laboratory manual*. Ed. Blackwell Publishing. 1a Ed. Iowa. EUA, P. 212
- Lorenzo N. Prospección de hongos antagonistas en la provincia de Cienfuegos. Efectividad y posibilidades de reproducción de las cepas nativas de *Trichoderma* spp. Tesis en opción al título de Master en Protección Vegetal Universidad Agraria de La Habana. 2001.
- Montaldo, A. (1984). Cultivo y mejoramiento de la papa (No. 54). *lica.Revista Mexicana de Fitopatología*, 21(3), 248-259.
- Mohiddin, F.A., Khan, M.R., Khan, S.M., Bhat, B.H. 2010. Why *Trichoderma* is considered super hero (super fungus) against the evil parasites? *Journal Plant Pathology*, 9: 92-102.

- Méndez, P. (10 de marzo de 2015). *inia*. Obtenido de <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR36506.pdf>
- Michielse, C. B. and Rep, M. 2009. Pathogen profile update: *Fusarium oxysporum*. *Journal Molecular Plant Pathology*, 10:311-24
- Neira, M. G. (3 de octubre de 2012). El cultivo de papa en México. *EL ECONOMISTA*.
- Pocasangre, L. 2000. Biological enhancement of banana tissue culture plantlets with endophytic fungi for the control of the burrowing nematode *Radopholus similis* and the Panamá disease (*Fusarium oxysporum* f. sp. cubense). Ph. D. thesis. University of Bonn. 95 p.
- Pal, K. K. and B. McSpadden Gardener. 2006. Biological control of plant pathogens. *The Plant Health Instructor*, 10:1094.
- Rodríguez, L. E. (2009). Teorías sobre la clasificación taxonómica de las papas cultivadas (*Solanum* L. sect. *Petota* Dumort.). Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 27(3), 305-312.
- ReynosoM, M. RamírezM.L. Torres, A. M. Chulze, S.N (2011) Trichothecene genotypes and chemotypes in *Fusariumgraminearum* strain isolated from wheat in Argentina. *int J FoedMicrobiol* 145:444-448
- Roberts, D.A. y Boothroyd, C.W. 1978. *Fundamentos de Fitopatología vegetal*. Editorial Acriba. Zaragoza, España. 392 p
- Schaper Sifuentes, e. b. proceso de arribo de *Bactericera cockerelli* (Sulc) y su relación con la aparición de síntomas de punta morada en el cultivo de la papa *Solanum tuberosum* L. En Coahuila y Nuevo León.
- SHCP, S. d. (abril de 2014). *financierarural*. Obtenido de <http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Panoramas/Ficha%20Papa.pdf>

SIAP-SAGARPA.,2014. La papa. Consultado el 11 de diciembre de 2016 en su sitio internet:

http://www.siap.gop.mx/index.php?option=com_content&view=articled&id=230&Itemid=427.

Smith, I.M., Dunes, J., Lelliott, R.A., Phillips, D.H. y Archer, S.A. 1992. Manual de Enfermedades de las Plantas. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. 671 p.

Sallé, A. 1968. Asociaciones de bacterias En Bacteriología. / AJ Salle. Editorial Revolucionaria. La Habana. 1968: 492-509

Samuels, G. J. 2006. Trichoderma: Systematics, the sexual state, and ecology. Journal Phytopathology, 96:195-206.

Samuels, G.J., Chaverri, P., Farr, D.F. and McCray, E.B. 2013. Trichoderma Online, Systematic Mycology and Microbiology Laboratory, ARS, USDA. (Revisado en febrero del 2013).

Terralia. (16 de enero de 2017). *terralia*. Obtenido de http://www.terralia.com/agroquimicos_de_mexico/view_composition?composition_id=13385

Utkhede, R.S., Smith, E.M. 1991. Biological and chemical treatments for control of *Phytophthora* crown and root rot caused by *Phytophthora cactorum* in a high density Apple orchard. Horticultureabstracts1992:062-07983

Zimand G, Elad Y, Chet I. Effect of *Trichoderma harzianum* on *Botrytis cinérea* pathogenicity. Phytopathol. 1996;86:125-126.

Zulia, L. U. (octubre de 2009). *oocities*. Obtenido de <http://www.oocities.org/ecologialuz/trichoderma12.htm>