



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

“Efecto del Yodo sobre *Fusarium oxysporum* aislado de papa
(*Solanum tuberosum*) “*in vitro*”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

P R E S E N T A:

PABLO MARTÍNEZ GARCÍA

Asesora: DRA. ROSA NAVARRETE MAYA

Coasesora: DRA. LAURA BERTHA REYES SÁNCHEZ

Cuautitlán Izcalli, Estado de México, 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

**M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**

**ATN: L.A. ARACELI HERRERA HERNÁNDEZ
Jefa del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán.**

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos a comunicar a usted que revisamos **La Tesis:**

Efecto del yodo sobre Fusarium oxysporum spp. aislado de papa (Solanum tuberosum) "in vitro".

Que presenta el pasante: **PABLO MARTINEZ GARCIA**
Con número de cuenta: **40703648-2** para obtener el Título de: **Ingeniero Agrícola**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 17 de Febrero de 2014.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. Rosa Navarrete Maya	
VOCAL	M.E. Elva Martínez Holguín	
SECRETARIO	Ing. Hilda Carina Gómez Villar	
1er SUPLENTE	Ing. Minerva Edith Tellez Ordaz	
2do SUPLENTE	Ing. Laura Virginia Nuñez Balderas	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

HHA/Vc

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por acompañarme todos los días.

A todas las personas que hicieron posible este trabajo, Dra. Rosa Navarrete Maya, Dra. Laura Bertha Reyes Sánchez, a la Unidad de Granos y Semillas y al equipo que lo conforma, las Dras. Martha, Gaby, Christi y Josefina, a Lauris y Gustavo, Lulis, Anayeli y Mike.

A mi Madre y Padre, Ana Maria y Pedro, por ser el máximo ejemplo de superación y amor, a mis hermanos Priscila, Ángeles, Alberto y Pedro, a mis sobrinos, Fausto y Nicolás, por ser mis mejores amiguitos, espero que esto les sirva de ejemplo.

A mi máxima casa de estudios, la UNAM, y por supuesto a mis tutores en los años que estuve en ing. Agrícola, gracias Ing. Adolfo Ochoa Ibarra y Minerva E. Téllez Ordaz.

A mi futura esposa, Berenice Hernández, por todo el apoyo y paciencia, te amo.

A mis mejores amigos, Naomi, Zam, Valevzka, y Path.

A la papa (*S. tuberosum*), a los productores de papa y los consumidores, este trabajo fue por ustedes y para ustedes.

INDICE	i.
INDICE DE FIGURAS	ii.
INDICE DE GRÁFICAS	iii.
INDICE DE TABLAS	iv.
RESUMEN	v.

i. INDICE	No. DE PAGINA
1. INTRODUCCIÓN	9
2. MARCO TEORICO	11
2.1. Importancia del cultivo de la papa	11
2.2. Producción mundial	11
2.3. Principales enfermedades	13
2.4. Características de <i>Fusarium</i> spp.	14
2.4.1. <i>Fusarium osysporum</i>	15
2.4.2. Daños causados por <i>Fusarium oxisporum</i> al cultivo de papa	16
2.5. Métodos de control de <i>Fusarium</i> spp. en papa	18
2.6. Impacto del uso de agroquímicos en la agricultura	19
2.7. Fungicidas	19
2.8. Características del Yodo	20
3. OBJETIVOS E HIPOTESIS	22
3.1. Objetivo general	22
3.2. Objetivos particulares	22
3.3. Hipótesis	22
4. METODOLOGIA EXPERIMENTAL	23
4.1. Material biológico	23
4.2. Material químico	23
4.3. Ensayos Preliminares	23

4.4. Diseño experimental	24
4.5. Preparación de tratamientos	25
4.6. Aplicación de Tratamientos	26
4.7. Medición de crecimiento micelial	27
4.8. Conteo de estructuras	27
5. RESULTADOS Y ANÁLISIS	30
5.1. Variable: Crecimiento micelial	30
5.2. Variable: Desarrollo del hongo	33
5.3. Conteo de micro conidios	34
5.4. Conteo de macro conidios	34
5.5. Conteo de camidosporas	34
6. CONCLUSIONES	37
7. FUENTES CONSULTADAS	38
8. ANEXO	43
8.1. Anexo 1. Pruebas realizadas para el análisis de resultados	43

ii. INDICE DE FIGURAS

	No. DE PAGINA
Figura 1. Daño causado por <i>Fusarium oxysporum</i>	17
Figura 2. Preparación de tratamientos	24
Figura 3. Preparación de tratamientos	26
Figura 4. Aplicación de tratamientos	27
Figura 5. Cámara de Neubauer para el conteo de estructuras	28
Figura 6. Crecimiento de <i>Trichoderma</i> spp.y otros géneros de hongos utilizados para el control biológico de <i>Fusarium</i> spp., del tratamiento con Yodal®	30
Figura 7. Crecimiento micelial de <i>F. oxysporum</i> en tres diferentes tratamientos	32
Figura 8. Conteo de estructuras reproductivas de <i>F. oxysporum</i> en cámara de Neubauer. Micro conidios encontrados en el tratamiento 9. KIO ₃ al 15%	34

iii. INDICE DE GRÁFICAS

	No. DE PAGINA
Gráfica 1. Producción de los principales cultivos en México	13
Gráfica 2. Crecimiento micelial de <i>Fusarium oxysporum</i> durante 7 días con diferentes tratamientos	31
Gráfica 3. Millones de macro conidios, micro conidios y clamidosporas obtenidos de <i>F. oxysporum</i> con tres tratamientos. Tratamientos: 10. Testigo; 9. KIO ₃ 15%; 6. KI 15%; Letras indican diferencia estadística	33
Gráfica 4. Velocidad de crecimiento de <i>F. oxysporum</i> con tres tratamientos durante 7 días	35

iv. INDICE DE TABLAS

	No. DE PAGINA
Tabla 1. Principales enfermedades que causan pérdidas en el cultivo de la papa	13
Tabla 2. Tratamientos utilizados en el experimento	25
Tabla 3. Medias de la variable crecimiento micelial (mm). Comparación de medias por el método de Tukey, con $\alpha= 0.05$, letras indican diferencia estadística	31

v. RESUMEN

El cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*) a nivel mundial ocupa el cuarto lugar, detrás del maíz (*Zea mays*), el trigo (*Triticum aestivum*) y el arroz (*Oryza sativa*), como un alimento básico de la seguridad alimentaria. En México es de los pocos cultivos que se pueden cultivar en casi todo el territorio nacional. Una de las principales enfermedades que afectan a la papa, y que se encuentra dentro de los primeros siete patógenos de riesgo e importancia agrícola es la pudrición seca, causada por *F. oxysporum* entre otros. En la presente investigación se evaluó el efecto sobre *F. oxysporum* de sales de Yodo, como yodato de potasio (KIO_3) y yoduro de potasio (KI) y dos fungicidas comerciales a base de yodo. Se aplicaron tres diferentes concentraciones (5%, 10% y 15% de Yodo libre) de cada tratamiento sobre cajas de Petri con medio Papa-Dextrosa-Agar, para después inocularse con el hongo. Se midió el crecimiento micelial durante siete días a $25^{\circ}C \pm 2^{\circ}C$. Se eligieron tres tratamientos representativos y diferentes estadísticamente para evaluar el desarrollo, a través del conteo de estructuras reproductivas como micro y macro conidios, y de resistencia como las clamidosporas, en cámara de Neubauer. Los resultados fueron contundentes para el tratamiento de yodato de potasio al 15 % en ambas variables (Crecimiento y Desarrollo). Con lo anterior se atiende la necesidad de desarrollar métodos sostenibles para el control de patógenos, como es el caso del yodo; elemento que se ha demostrado es poco contaminante y se encuentra en la naturaleza.

Palabras Clave: Sostenible, Yodato de Potasio, Pudrición seca, clamidosporas.

1. INTRODUCCIÓN

El género *Solanum*, de la familia de las Solanáceas, es muy vasto, cuenta con alrededor de 1000 especies, las cuales están ampliamente distribuidas en el mundo; sin embargo, existe una fuerte concentración de especies en América del Sur y América Central. Se conocen alrededor de 200 especies de Solanáceas tuberosas repartidas en 21 series taxonómicas, se les encuentra desde las Montañas Rocosas hasta el sur de Chile, sobre todo en zonas elevadas, aunque algunas especies se encuentran en las llanuras de Argentina, Uruguay y en el sur de Brasil así como en los litorales peruano y chileno del Pacífico (Rousselle et al., 1999).

El cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) a nivel mundial, conjuntamente con el maíz (*Zea mays*), el trigo (*Triticum aestivum*) y el arroz (*Oryza sativa*), son los cuatro rubros alimenticios básicos de la seguridad y soberanía alimentaria por las formas variadas de consumo en los diferentes segmentos del mercado (Panchi et al., 2011).

En México la producción de papa tiene una gran importancia económica, ya que es de los pocos cultivos que se desarrollan en casi todo el territorio nacional. Actualmente se cultiva en 23 estados de la República, pero sólo seis aportan aproximadamente el 66% de la producción total (SIAP, 2012). Este cultivo es afectado por varias enfermedades causadas por hongos las cuales generan pérdidas económicas. Una de las principales enfermedades que aquejan a este cultivo es la pudrición seca de la papa causada por *Fusarium* spp., es la enfermedad más importante causada por un complejo de especies de este hongo, entre las que destaca *Fusarium oxysporum*, afectando al tubérculo, desde el almacenamiento hasta la cosecha, con reducciones en calidad y rendimiento, que pueden ser significativas si no se trata el problema (Trinidad, 2012). Los principales síntomas de la pudrición seca causada generalmente por *F. oxysporum*, son lesiones oscuras, ligeramente hundidas, que luego se extienden superficialmente, dejando cavidades internas que pueden contener micelio. Se

distinguen claramente anillos concéntricos sobre la superficie del tubérculo provocando el secado y endurecimiento del mismo (Centro Internacional de la Papa, 1996).

Esta enfermedad es controlada frecuentemente por fungicidas sintéticos, los cuales presentan un efecto negativo en la biosfera y provocan el desarrollo de cepas fúngicas resistentes. Actualmente, se buscan alternativas ecológicas para el control de plagas y enfermedades (García, 2008).

El control convencional con agroquímicos de los patógenos que afectan a los tubérculos-semillas ha demostrado ser ineficaz (Montaldo, 1984); es por esto que la presente investigación busca evaluar el efecto de sales de yodo (KIO_3 y KI) a tres concentraciones (15%, 10% y 5%) de yodo libre y compararlo con dos fungicidas comerciales a base de yodo (Yodal® e Iodine®) sobre *Fusarium oxysporum* aislado de papa (*S. tuberosum*). Utilizando concentraciones mínimas que impacten escasamente al ambiente a la vez que disminuyan las pérdidas económicas por efecto de *Fusarium oxysporum*, e incrementar el beneficio social que implica salvaguardar la producción de un cultivo básico de la economía nacional.

2. MARCO TEORICO

2.1. Importancia del cultivo de la papa

La papa o patata (*Solanum tuberosum*) es una planta de la familia de las Solanáceas, cultivada en casi todo el mundo por su tubérculo comestible. Es el cuarto cultivo en importancia mundial después del maíz, el trigo y el arroz; con gran contenido de carbohidratos que son una fuente inmejorable de energía, vitaminas, y proteínas esenciales para el humano. Es un tubérculo fácil de cultivar, incluso en entornos difíciles puede producir gran cantidad de alimento en una superficie pequeña de terreno, y los tubérculos, al crecer por debajo de la tierra tienen menos probabilidad de sufrir daños (FAO, 2008).

Es un cultivo que además de desarrollarse en una gran variedad de sistemas agroecológicos, rinde más por unidad de superficie que el maíz, el trigo o el arroz. No obstante ofrece el inconveniente de afectar al medio ambiente por los insumos que se requieren tanto para su producción, como para el control de plagas y enfermedades, lo cuales contaminan el agua, el suelo y el aire (Chauvet et al., 2004).

2.2. Producción mundial

En América, particularmente en la región andina se tiene el nivel más bajo de producción con menos de 16 millones de toneladas en el 2007 (FAO, 2008). En países como Argentina, Brasil, Perú, Colombia y México, su producción comercial ha aumentado en los últimos años debido a las empresas productoras de papas fritas y otras formas industrializadas

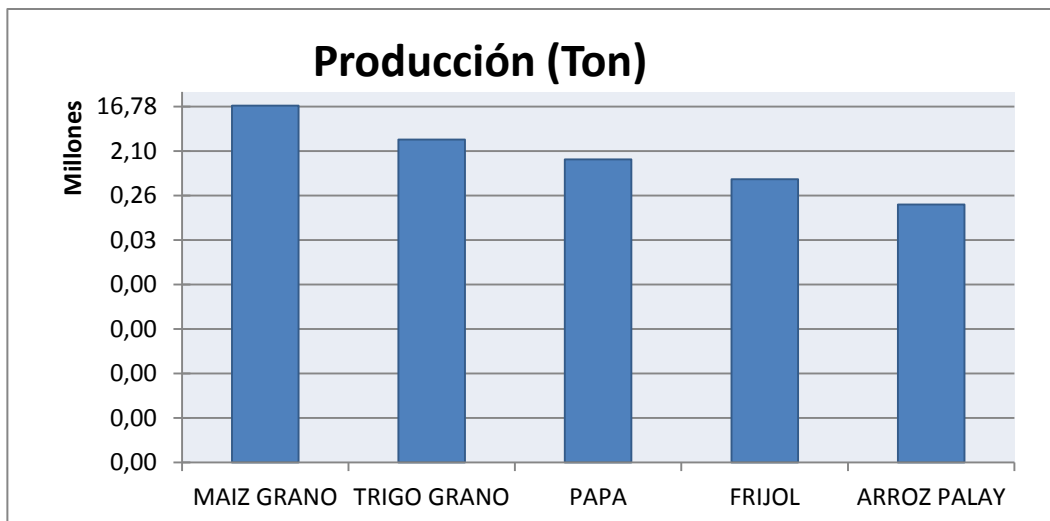
Datos más recientes de la FAO (2013), muestran que la producción de papa en el continente Americano es muy dispar, por ejemplo Estados Unidos de América tiene la mayor producción con 19, 361,500 toneladas, seguido por Canadá con 4, 168,180 toneladas Perú siendo centro de origen de este cultivo cuenta con poco menos de 4, 100,000 toneladas y México con apenas 1, 433,240 toneladas, contra

un claro contraste de la región asiática, al tener China una producción de 88,350,220 toneladas en el 2011 (FAO, 2013).

Europa fue el mayor productor de papa en el mundo, así como el mayor consumidor de papa per cápita (90 Kg por persona por año) durante la mayor parte del siglo XX. En México el consumo per cápita es de 14 – 17 kg, provocando que las importaciones de Canadá y Estados Unidos no dejen de aumentar en los últimos años, un ejemplo claro es la importación de 65,000 toneladas de papa fresca y 122,000 toneladas de productos congelados derivados de papa, según datos de FAO (2008).

Su cultivo en México se lleva a cabo, en la mayoría de los casos, más por tradición que como resultado de un análisis de las condiciones agroclimáticas, lo que ocasiona rendimientos muy diversos. Así, Sinaloa que es el principal productor, ha logrado en los últimos años rendimientos promedio de 22 toneladas por hectárea, gracias a que el cultivo se ubica, en su mayor parte, en zonas de riego y al uso de semilla certificada. En cambio Puebla, que es el tercer productor nacional, alcanza rendimientos apenas superiores a las 10 toneladas por hectárea. La marcada diferencia que existe en las producciones nos lleva a reflexionar sobre la importancia de revisar tanto la vocación del suelo como la aplicación de paquetes tecnológicos sostenibles adecuados que permitan incrementar la producción y por tanto los ingresos de los productores. Considerando el bajo consumo per cápita nacional comparado con Estados Unidos o Europa, la papa adquiere un gran potencial para desarrollarse, frente a un mercado pujante a nivel nacional y mundial (ASERCA, 1998).

Para el año 2011, según estimaciones del Servicio de Información Agrícola y Pecuaria (SIAP, 2012) el rendimiento promedio de la papa fue de 26.27 toneladas por hectárea, siendo Sonora quien tiene la mayor superficie sembrada (13,913 ha) y con un rendimiento promedio de 31.45 Ton/ha. Como se muestra en la gráfica, la producción nacional, reafirma la importancia del cultivo en México, al estar debajo del trigo y por arriba del frijol y el arroz (Ver Gráfica 1).



Gráfica 1. Producción de los principales cultivos en México. Fuente: SIAP, 2012

Debido a las condiciones climatológicas prevaletientes en México y que corresponden con las condiciones requeridas por este tubérculo, se produce papa todo el año, desde el nivel del mar hasta altitudes superiores a los 2,500 msnm, garantizando así una oferta permanente de papa fresca, al sembrar el 42% de la superficie en el ciclo otoño-invierno, y el restante 58% bajo el ciclo primavera verano (Comité Nacional Sistema Producto Papa, 2011). Sin embargo, pese a la gran variedad climatológica que existe en el país para el cultivo del tubérculo, éste no está exento del ataque de fitopatógenos.

2.3. Principales enfermedades

Son múltiples las enfermedades y plagas que se alimentan de la planta de papa provocando un deterioro del rendimiento, calidad y sanidad, además de ser un diseminador de éstas (Castro y Contreras, 2011). Los patógenos que provocan las numerosas enfermedades, por lo general están presentes en el suelo o bien, pueden ser transmitidos por la papa-semilla.

Las principales enfermedades fungosas que causan pérdidas en el cultivo de la papa, se mencionan en la Tabla 1:

Tabla 1. Principales enfermedades que causan pérdidas en el cultivo de la papa.

ENFERMEDAD	AGENTE CAUSAL
Sarna polvorienta	<i>Spongospora subterranea</i>
Pudrición rosada	<i>Phytophthora erythroseptica</i>
Tizón temprano	<i>Alternaria solani</i>
Sarna o costra plateada	<i>Helminthosporium solani</i>
Pudrición seca o Fusariosis	<i>Fusarium oxysporum</i>
Costra negra	<i>Rhizoctonia solani</i>
Tizón tardío	<i>Phytophthora infestans</i>

Los agentes patógenos mencionados en la tabla anterior se multiplicarán a medida que el hospedero sea abundante y permanente, por lo que un suelo utilizado en monocultivo aumentará el inóculo, provocando de esta manera que se obtengan los tubérculos con mala calidad, lo que posteriormente resultará en la pérdida de rendimientos del cultivo (Castro y Contreras, 2011). Son estas pérdidas las que aumentan la presión para encontrar alternativas de agroquímicos sostenibles para su control.

2.4. Características de *Fusarium* spp.

Numerosas especies del género *Fusarium* están consideradas como importantes fitopatógenos, capaces de colonizar plantas y materias primas agrícolas o como saprófitos sobre restos vegetales. *Fusarium* spp. es capaz de colonizar una gran variedad de hospederos vegetales, tan diversos como el tomate, la papa, el pino o el tabaco (Marín, 2010), el patógeno puede ser transmitido por diferentes vías y es capaz de sobrevivir por muchos años en el suelo. En el caso particular de la papa éste puede vivir y ser dispersado internamente o sobre tubérculos semilla. (Ayed et al., 2006).

La forma y tamaño de las esporas es la característica principal para el reconocimiento de *Fusarium* spp. Los conidios pueden estar dispersos en el micelio aéreo o en esporodoquios. Los macro conidios son curvados, pluriseptados, con una célula apical más o menos puntiaguda y en muchas

especies con una célula basal en forma de pie. Los micro conidios son comúnmente unicelulares, elipsoidales, fusiformes, claviformes, piriformes o subglobosos, similares en ancho a los macro conidios, con una base redondeada o truncada, pero en algunas especies en cadenas basípetas. No siempre son producidos ambos tipos de esporas. Los conidióforos del micelio aéreo en algunos casos sólo constan de una célula conidiógena, en otros están ramificados, a veces en verticilos. La presencia de una célula basal con forma de pie en los macro conidios se considera característica de *Fusarium* spp. y presentan clamidosporas terminales, laterales o intercalares, a veces formando cadenas. Las células conidiales ocasionalmente se transforman en clamidosporas (Carrillo, 2003).

En ausencia de un huésped vivo, *Fusarium* spp., persiste de manera saprófita como clamidosporas que se forman típicamente dentro o sobre la superficie de los tejidos infectados de la planta. Los macro conidios que llegan al suelo pueden también transformarse en clamidosporas. Éstas pueden germinar en un amplio rango de pH, pero a temperaturas de 25-28°C (American Phytopathological Society, 2001) son los micro conidios junto con los macro conidios los que juegan un papel importante en el ciclo de la enfermedad como inóculo secundario, y las clamidosporas como la principal fuente de diseminación (Ohara et al., 2004).

La Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) a través del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) ubica a *Fusarium* spp. entre los siete hongos de mayor importancia y riesgo fitosanitario para el cultivo de papa en México.

2.4.1. *Fusarium osysporum*

Es una de las especies de mayor importancia fitopatológica, que ocasiona un fuerte daño económico en diferentes cultivos. En la literatura se indica que es potencialmente dañino en países con climas cálidos y secos, aunque también puede estar presente en lugares templados, provocando pérdidas en cultivo y almacén, principalmente marchitamientos vasculares, seguidos por la muerte de la

planta (Nelson, 1981). Algunas pueden ocasionar también pudrición de la corona y de las raíces (Arbeláez, 2000).

Según lo mencionan Leslie y Summerell (2006) existe gran diversidad de características morfológicas de la colonia de *Fusarium oxysporum* cuando se cultiva en PDA (Papa-Dextrosa-Agar):

El micelio puede ser abundante o escaso, y tiene un rango de color que va desde el blanco al púrpura. En algunos aislamientos puede haber abundantes macroconidios naranja pálido o violeta pálido rectas o ligeramente curvas y de pared delgada, el número de septos es de tres, producidos en el centro de la colonia; sin embargo, estos pueden ser escasos o incluso inexistentes.

2.4.2. Daños causados por *Fusarium oxysporum* al cultivo de papa

Fusarium oxysporum *F. sp. tuberosi* es la forma más común de éste hongo que afecta a la papa y se ha reportado en Grecia, Italia, Yugoslavia, Sudáfrica, Túnez, Estados Unidos de América, India e Irán. Las vías de movilización documentadas son tubérculo de papa, raíces, suelo asociado al tubérculo y movimiento de material vegetativo infectado (planta de papa) (García et al., 2011), es un patógeno que causa pudrición seca en tubérculos, pudrición de tallo y marchitez de plantas de papa. Infecta a la planta a través de las raíces y coloniza los vasos del xilema en el tallo, ya sea por penetración directa o por heridas (Ayed et al., 2006). La superficie de corte en los tubérculos grandes que se fraccionan, son la vía de ingreso más importante. Después de una semana de almacenaje aproximadamente, las porciones de tubérculo fraccionado muestran abigarrados de color castaño a negro y después de dos semanas presentan depresiones o concavidades como se observa en la Figura 1. A menudo se desarrolla micelio en las superficies hundidas y bajo condiciones de humedad se vuelven mucilaginosas y negras debido a desarrollo bacteriano.

La pudrición por *Fusarium oxysporum* a menudo puede ser acelerada por la presencia de bacterias causantes de la pudrición blanda como *Erwinia* spp. (Ames de Icochea, 1980).

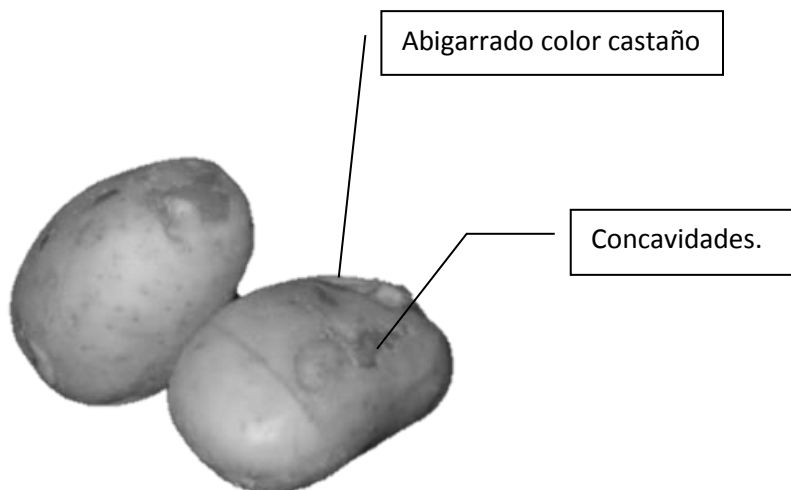


Figura 1. Daño causado por *Fusarium oxysporum*.

En el campo puede pasar desapercibido el arrugamiento de la semilla entera o las concavidades de la semilla fraccionada que son bastante evidentes en el almacén. La superficie que queda por encima de la lesión es de color castaño y el tejido necrótico que se encuentra debajo presenta algunas concavidades. El tejido necrótico puede atraer insectos de suelo y larvas tales como el gusano del maíz (*Delia platura*), el cual es un vector de *Erwinia* spp.

En México, si se estiman pérdidas del 10%, el costo anual sería de \$11'622'047.96 del valor de la producción de papa según datos del SIAP, 2010, sin considerar el impacto económico que tendría en otros hospedantes potenciales, pérdida de empleos e impacto social. Por ejemplo, la North American Plant Protection Organization (NAPPO), el Comité de Sanidad Vegetal del Cono Sur (COSAVE), así como la EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization) tipifican a *F. oxysporum* de alto riesgo, controlando de manera importante la importación de papa proveniente de México. Actualmente Estados Unidos impide la importación de papa mexicana y de la mayoría de los países, excepto Canadá por las estrictas normas fitosanitarias (SENASICA, 2012).

2.5. Métodos de control de *Fusarium* spp. en papa

Existen diferentes métodos para controlar esta enfermedad en la papa, uno de ellos es el control cultural asegurando que la piel de los tubérculos maduros estén bien secos antes de ser cosechados, evitar las heridas o golpes en los tubérculos, y preferentemente cosechar cuando el clima este frío y seco. El uso de semilla certificada, sin antecedentes de presentar pudrición seca es el método más conveniente.

Otro método utilizado es el control químico, a través de la aplicación de fungicidas para evitar pérdidas ocasionadas por el patógeno, la aplicación es generalmente durante el almacenamiento; no obstante se ha encontrado resistencia en algunas cepas de *Fusarium* spp. a los benzimidazoles (Hanson,1996).

Shwartz, 2005, menciona el uso de fungicidas como los Tiabendazoles, generados específicamente para atacar a *Fusarium* spp. y combatir la pudrición seca, la aplicación se puede hacer incluso después de cortar la semilla-tubérculo; al igual que en los Benzimidazoles se ha reportado resistencia a este fungicida.

El tercer método es el biológico, con el uso de hongos antagonistas como *Trichoderma* spp.; no obstante no es específico para la pudrición seca causada por *Fusarium* spp. ya que no existe actualmente un control biológico formulado para esta enfermedad (Shwartz, 2005), otro método ampliamente utilizado es el almacenamiento de tubérculos a -70°C en hielo seco hasta su uso.

Para el caso de la importación o exportación de los tubérculos de papa, la NAPPO, tiene prevista una Norma Regional sobre Medidas Fitosanitarias (NRMF) para el movimiento de papa hacia un país miembro (NAPPO, 2011)¹.

¹Cfr. <http://www.napponet.org/es/data/files/download/Standards/RSPM%203%20%2005-%2003-12-s.pdf>

2.6. Impacto del uso de agroquímicos en la agricultura

El advenimiento del siglo XX marcó un apogeo en el desarrollo de la ciencia y la técnica de la humanidad y sus procesos agrícolas que revolucionó la relación que tenemos con la naturaleza. Dentro de los logros de la ciencia y la técnica de este siglo se conformó un inmenso arsenal de plaguicidas químicos que asegurarían el aumento de las cosechas. La química orgánica de los plaguicidas, nacida hace algo más de 30 años, desarrolló las más mortíferas armas químicas para la lucha contra las plagas, jamás soñadas por el hombre. El término plaguicida se usa para definir a todos aquellos productos químicos ya sean inorgánicos u orgánicos utilizados para la eliminación de organismos que originan daños o compiten con el humano para la obtención de productos agrícolas, ya sea en el campo o almacén (González-Fundora y Bernal-Izquierdo, 2000). El desarrollo de plaguicidas son necesarios para lograr el control de fitopatógenos que pueden habitar en el suelo; aun con el alto costo que implica el desarrollo de éstos (López et al., 2005).

Es por esto, siguiendo la definición de agricultura sustentable² que la elaboración de métodos para el control de enfermedades como la pudrición seca de la papa, resulten en la conservación del suelo, agua y recursos genéticos, económicamente viables y socialmente aceptables y si nuestra preocupación está verdaderamente por la vida en nuestro planeta, tendremos que revisar que es lo que hemos hecho bien y que no, en nuestra relación con el medio ambiente, sobre todo en lo que a la agricultura se refiere (Chauvet et al., 2004), dado que los métodos más comúnmente utilizados para el control de enfermedades son los fungicidas.

2.7. Fungicidas

Un 90% del mundo depende de 15 tipos de cultivos vegetales para su abastecimiento, entre los que destaca la papa.

²*Una agricultura sustentable es aquella que equilibra equitativamente intereses relacionados con la calidad ambiental, la viabilidad económica, y la justicia social entre todos los sectores de la sociedad (Allen et al, 1991)*

El control de plagas es cualquier intervención ambiental cuyo objetivo sea una reducción en la incidencia de las plagas de insectos, de los organismos patógenos para las plantas y las enfermedades que causan (Badii y Landeros, 2007). Los más utilizados son los fungicidas para el control de hongos fitopatógenos, éstos son productos químicos utilizados para eliminar o evitar el desarrollo de hongos. Existen diferentes tipos de estos, como son los de contacto o preventivos y los sistémicos, que son absorbidos a través del follaje (Pérez y Forbes, 2008)

La mayoría de los fungicidas comerciales que se usan en la actualidad pertenecen a la clase conocida como fungicidas protectores o de contacto. Por lo general se aplican al follaje de la planta en forma de fumigación. Existe el inconveniente con este tipo de fungicidas de no poder penetrar eficazmente la cutícula de la planta y la incapacidad para ser transportados dentro de la misma, mientras que los fungicidas sistémicos más recientes, los absorbe la planta a través de la raíz, las hojas o las semillas, y son transportados en el interior de la planta.

Si un producto se considera como posible fungicida protector eficaz, deberá satisfacer las siguientes condiciones (Cremllyn, 1982):

- a) Tener una fitotoxicidad muy baja, de lo contrario se causará un gran daño a la planta hospedera durante su aplicación.
- b) Ser fungitóxico o tener la capacidad de convertirse en un fungitóxico dentro de la espora fungosa, y deberá actuar rápidamente antes de que la infección fungosa penetre la cutícula de la planta.

2.8. Características del Yodo

El Yodo fue descubierto en Francia por el Francés Bernard Courtois en 1811 y desde entonces ha tenido una gran variedad de usos: en la industria farmacéutica, como elemento que elimina organismos nocivos y desinfectante; por mencionar algunos, Pero no fue hasta la década de 1960 cuando se descubrieron sus usos en la agricultura, como activador fisiológico en forma de sales como Yoduros y

Yodatos. Esto es de gran importancia cuando se busca que los procesos que más influyen en la actividad de un país, como es la agricultura, sean más sostenibles (Neri, 2009).

El Yodo es un elemento no metálico con número atómico 53, masa atómica relativa 126.904, es el más pesado de los halógenos que se encuentran en la naturaleza. En condiciones normales, el yodo es un sólido negro, lustroso y volátil, elemento además que se encuentra de forma natural en el aire, suelo y océanos.³

El yodo usado en la agricultura es un fungicida perteneciente al grupo de los halogenados que actúa por contacto, de acción protectora y curativa, para controlar y eliminar enfermedades o complejos bacterianos en plantas, también es usado para desinfectar medios vegetales de propagación, enraizamiento, o siembra, así como herramientas, ambientes de almacenamiento, postcosecha y aguas de uso agrícola. Actúa eficazmente sobre los organismos patógenos causando óxido-reducción a la pared celular, controlando así formas perfectas e imperfectas de hongos así como bacterias, además de la destrucción total de las estructuras reproductivas, por lo que en muchos casos su modo de acción no crea resistencia (ISAGRO, 2013).

El yodo parece ser un elemento que, en cantidades muy pequeñas es esencial para la vida animal y vegetal. El yoduro y el yodato que se encuentran en las aguas marinas entran en el ciclo metabólico de la mayor parte de la flora y la fauna marina, mientras que en los mamíferos superiores el yodo se concentra en la glándula tiroides, allí se convierte en aminoácidos yodados (principalmente tirosinas y yodotirosinas, (Lenntech, 2013).

³ <http://quimicageneralpapimeunam.org.mx/>

3. OBJETIVO E HIPÓTESIS

3.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de sales de Yodo en sus formas de Yoduro de Potasio (KI) e Yodato de Potasio (KIO_3) y dos fungicidas comerciales, a base de yodo (Yodal® e Iodine®.) como inhibidor de *Fusarium oxysporum*.

3.2. Objetivos particulares

1. Evaluar el efecto in vitro de 3 concentraciones: 5%, 10% y 15% de yodo libre de Yoduro de potasio (KI) y Yodato de potasio (KIO_3), comparado con Yodal® e Iodine® sobre *Fusarium oxysporum* aislado de papa.
2. Determinar qué concentración de Yoduro de potasio (KI) y/o Yodato de potasio (KIO_3), impide el crecimiento y desarrollo de *Fusarium oxysporum*.

3.3. Hipótesis

El Yodo tiene funciones antisépticas, por lo tanto se espera que sus sales Yoduro de Potasio (KI) y Yodato de Potasio (KIO_3), actúen como inhibidores de crecimiento y desarrollo de *Fusarium oxysporum*.

4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

4.1. Material biológico

El patógeno utilizado (*Fusarium oxysporum*) fue obtenido de aislamientos realizados en trabajos anteriores a partir de papas comerciales con los síntomas característicos de *Fusarium oxysporum*. Se sembró sobre cajas de Petri con medio de cultivo Papa-Dextrosa-Agar (PDA), a las cuales se les añadió seis gotas de ácido láctico para evitar la proliferación de bacterias.

De las primeras siembras se realizaron aislamientos monospóricos con la finalidad de incrementar el hongo. Estos fueron utilizados para sembrar las cajas con los diferentes tratamientos.

4.2. Material químico

Los tratamientos de Yodal® (yodo libre 10g/L, surfactante no menos del 28%) e Iodine® (complejo de iodo-nonilfenoxil-polietoxi-etanol, con 2.5% de yodo disponible) fueron donados directamente por un productor de papa de Los Mochis, Sinaloa, Méx., quien los utiliza para el control de enfermedades, entre ellas la pudrición seca de la papa en su parcela.

4.3. Ensayos preliminares

Se calcularon las concentraciones obtenidas en el método potenciométrico creado en la tesis de la Ing. Química Elsa Neri Oliva (2009), estas fueron 10⁻⁴, 10⁻³, 10⁻² Molar de Yoduros y Yodatos, el ensayo se inició con la concentración más alta (10⁻²M) esperando obtener un resultado favorable, con el antecedente de que estas fueron las concentraciones absorbidas en papa (*S. tuberosum*); no obstante, no se obtuvo ningún resultado en cuanto a inhibición sobre *F. oxysporum* y se procedió a realizar un nuevo cálculo aumentado las concentraciones con base a las recomendaciones de los fungicidas comerciales al 10% de Yodo libre (Figura 2).

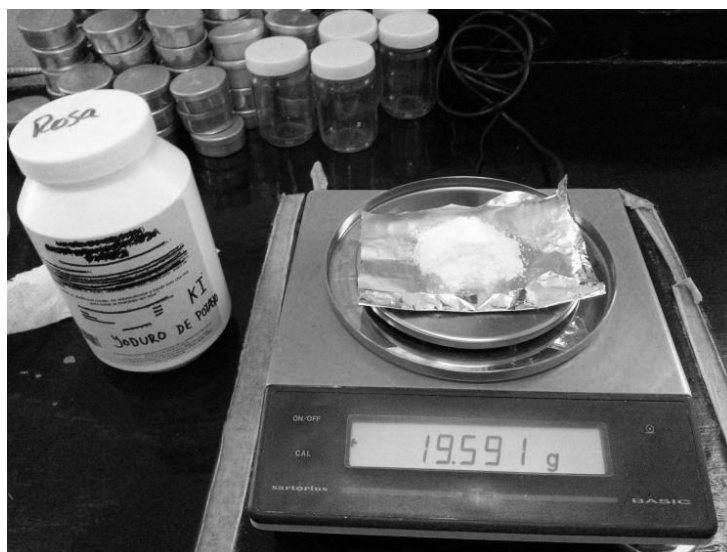


Figura 2. Preparación de tratamientos.

4.4. Diseño experimental

Se propuso realizar los siguientes experimentos planteando la forma de evaluar a través de:

Crecimiento: Se midió el porcentaje de inhibición que tuvo el tratamiento sobre el hongo durante siete días a una temperatura constante de $25^{\circ}\text{C} \pm 2$, y

Desarrollo: Mediante el conteo de estructuras reproductivas y de resistencia como micro conidios, macro conidios y clamidosporas, indicando si tuvo influencia en la producción de estas, como futuro inóculo y medio de dispersión.

Experimento 1 para la variable Crecimiento.

Se realizó un diseño completamente al azar con 12 tratamientos y un testigo, cada uno con 6 repeticiones (ver Tabla 2). Las unidades experimentales constaron de una caja de Petri con medio de cultivo PDA (Papa-Dextrosa-Agar + tratamiento), con un total de 72 unidades experimentales (u.e.).

Al testigo únicamente se le aplicó agua destilada estéril a la misma cantidad que los tratamientos propuestos.

Tabla 2. Tratamientos utilizados en el experimento.

Tratamientos (% de yodo libre)				
KIO ₃ al 5%	KI al 5%	Yodal al 5%	Iodine al 5%	Testigo
KIO ₃ al 10%	KI al 10%	Yodal al 10%	Iodine al 10%	Testigo
KIO ₃ al 15%	KI al 15%	Yodal al 15%	Iodine al 15%	Testigo

Con el fin de observar el comportamiento del hongo se realizó un análisis de varianza con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$

Experimento 2 para la variable de desarrollo

Se eligieron tres tratamientos representativos y diferentes estadísticamente para la variable "Crecimiento Micelial" con el objetivo de evaluar el desarrollo de estructuras reproductivas y de resistencia (micro conidios, macro conidios y clamidosporas) el diseño resultó con 3 tratamientos y tres repeticiones cada uno, las unidades experimentales se conformaron de una alícuota de 5 ml de agua destilada estéril con una suspensión del hongo tratado.

4.5. Preparación de tratamientos

Se calculó la concentración en todos los tratamientos, (KIO₃, KI, Yodal® y Iodine®) cada uno se llevó a 5%, 10% y 15% de yodo libre, se escogieron estas concentraciones tomando como base la concentración de yodo libre en los fungicidas comerciales, esta fue de 10% y calculando concentraciones como extremos, (5% y 15%). Una vez obtenido el peso necesario para cada uno, se colocaron por separado en matraces aforados a 100 ml y se agitaron debidamente hasta su completa disolución.

En el caso particular de los tratamientos con KIO_3 al 10 y 15% fue necesario someterlos a baño María y agitación, el tratamiento al 15% después de 4 horas de agitación continua no se logró disolver por completo, ya que llegó a un punto de saturación, y al no existir otra alternativa para su correcta disolución se continuó el experimento tal y como había quedado (Figura 3).

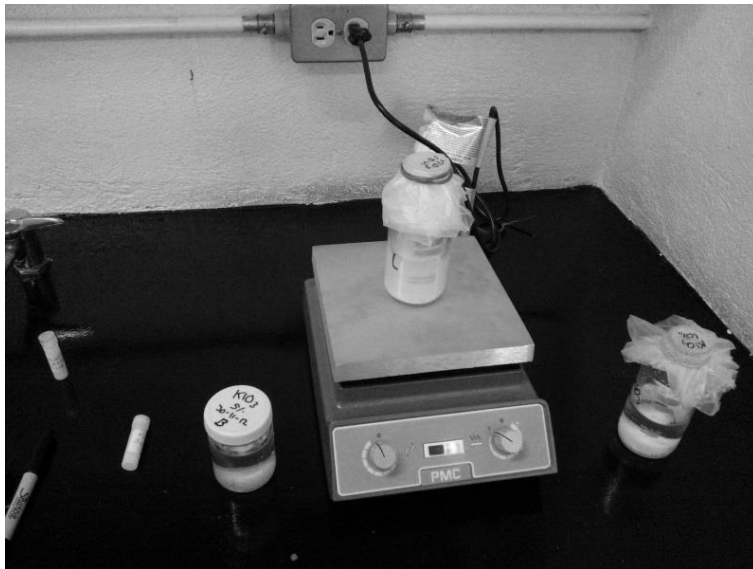


Figura 3. Preparación de tratamientos.

4.6. Aplicación de tratamientos

Sobre cajas de Petri con medio de cultivo PDA se colocaron tres gotas de solución de cada tratamiento con la ayuda de una micropipeta. Se distribuyó el tratamiento con un triángulo de vidrio previamente esterilizado.

Una vez colocado el tratamiento sobre las cajas de Petri, con la ayuda de un saca bocados de 7 mm se hicieron cortes al azar del hongo cultivado previamente. Apoyados de una aguja de disección se cogieron los “tamborcitos” con el hongo y se colocaron en el centro de las cajas con los diferentes tratamientos como se muestra en la Figura 4, para posteriormente sellarse con papel parafilm e incubarse a una temperatura de $25^{\circ}\text{C.} \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante 7 días.

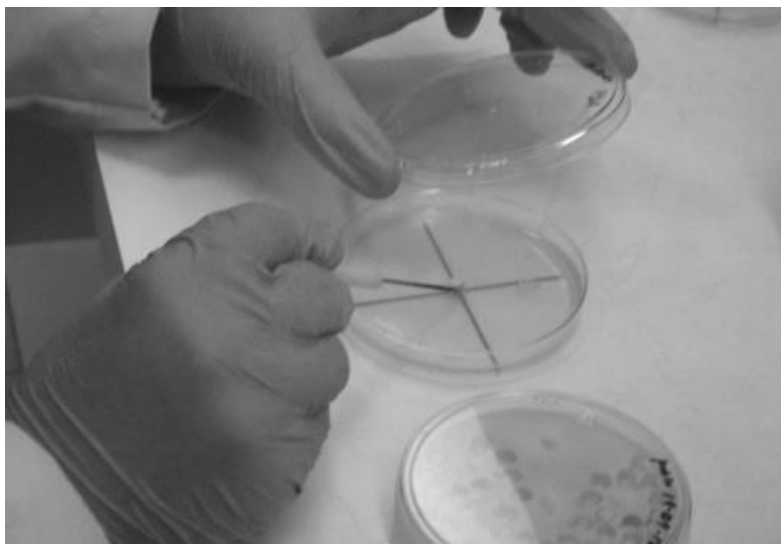


Figura 4. Aplicación de tratamientos.

4.7. Medición de crecimiento micelial

El crecimiento micelial de *F. oxysporum* se da con una velocidad importante, por lo que fue necesario medir cada 24 horas las diferentes cajas de Petri con un vernier electrónico, tomando el diámetro de lado a lado, por la parte posterior de la caja. Los resultados se registraron en tablas para su análisis. Este procedimiento se realizó durante siete días (Mier et al., 2004).

Una vez concluidos los siete días de medición los cultivos se refrigeraron para su próxima evaluación en el conteo de micro conidios, macro conidios y clamidosporas con cámara de Neubauer.

Los resultados se sometieron a un análisis estadístico con el Software SAS 9.0. Se realizó un análisis de varianza y una comparación de medias para un diseño completamente al azar por el método de Tukey, mismas que son expuestas en el apartado de resultados.

4.8. Conteo de estructuras

(Micro conidios, Macro conidios y Clamidosporas).

El conteo de estas estructuras se realizó con la ayuda de una cámara de Neubauer, donde para el caso de las estructuras más pequeñas (micro conidios)

se tomaron cinco cuadrillos del cuadro central. Para los macro conidios y clamidosporas se tomaron los 4 cuadros grandes a los extremos del cuadro central (ver Figura 5).

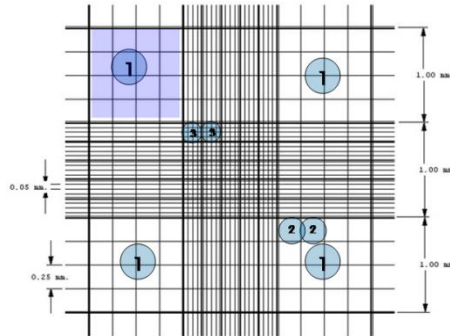


Figura 5. Cámara de Neubauer para el conteo de estructuras. Fuente: Celeromics[®], 2013.

La selección de las muestras para el micro conteo, fue a partir de una observación cualitativa, excluyendo unidades que pudieran presentar contaminación y tomando en cuenta los resultados del análisis de varianza y comparación de medias del experimento anterior para la variable “crecimiento micelial”, de tal manera que se eligieron tres tratamientos con tres repeticiones cada uno. El primero fue el extremo superior, es decir, en donde aparentemente no hubo efecto para la primera variable estudiada, el tratamiento central fue el testigo, como representante de los valores que de acuerdo al análisis no tuvieron diferencias, y el tercero, el extremo inferior, que fue el que tuvo mayor efecto sobre el crecimiento micelial de *Fusarium oxysporum*.

Para poder contar las estructuras se tomaron tres muestras de 7 mm de diámetro del cultivo del hongo y se colocaron sobre tubos de ensaye con 5 ml de agua destilada estéril. Después, con una micropipeta se tomó 1ml vaciando solo la cantidad indicada en la cámara de Neubauer y se procedió a realizar el conteo por observación en microscopio con el objetivo de 20X.

Los resultados fueron ajustados con las siguientes fórmulas de acuerdo con Hansen (2000), para obtener el número total de estructuras reproductivas y de resistencia.

Micro conidios: $t * f * 50,000$

Macro conidios y Clamidosporas: $t * 5 * 25,000$

Donde t: número total de estructuras contadas.

f: Factor de dilución, en este caso se utilizaron 5 ml.

50,000 y 22,000: Constante

Se realizó un análisis de varianza con un prueba estadística para un diseño completamente al azar, por el método de Tukey con un nivel de significancia de $\alpha=0.05$ con el software SAS 9.0®.

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

El tratamiento con Yodal fue eliminado de las pruebas, ya que en todos los ensayos realizados existió contaminación por *Trichoderma* spp. y otros géneros de hongos utilizados como control biológico de *Fusarium* spp. (ver Figura 6); cabe resaltar que la etiqueta del tratamiento con Yodal advierte que no se hace responsable de la eficacia del mismo.

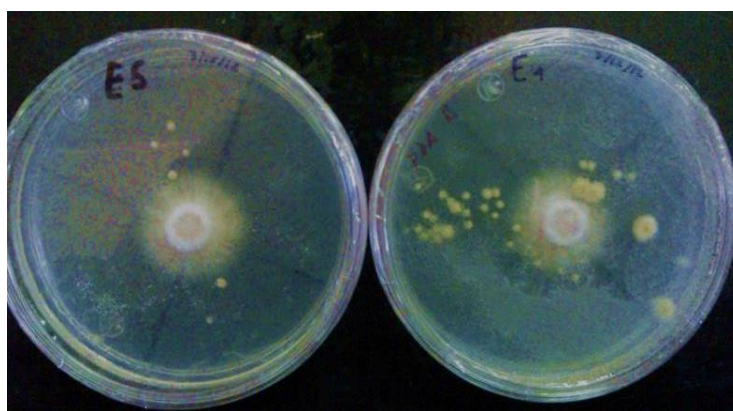
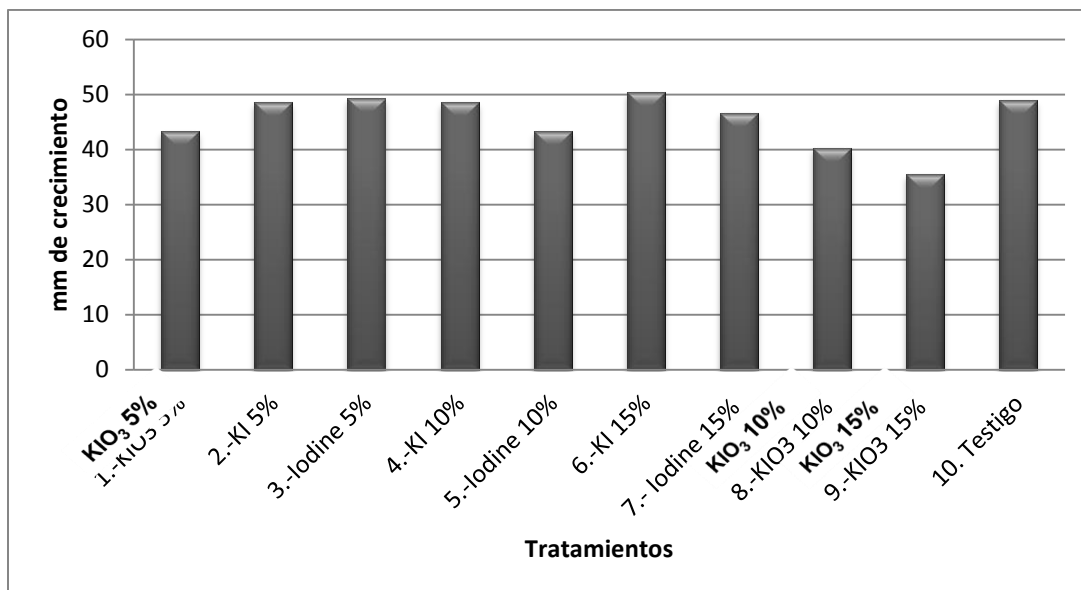


Figura 6. Crecimiento de *Trichoderma* spp. y otros géneros de hongos utilizados para el control biológico de *Fusarium* spp., del tratamiento con Yodal®

5.1. Variable: Crecimiento micelial

Al comparar los tratamientos se observó una diferencia significativa en el crecimiento de micelio como se observa en la Gráfica 2.



Gráfica 2. Crecimiento micelial de *Fusarium oxysporum* durante 7 días con diferentes tratamientos.

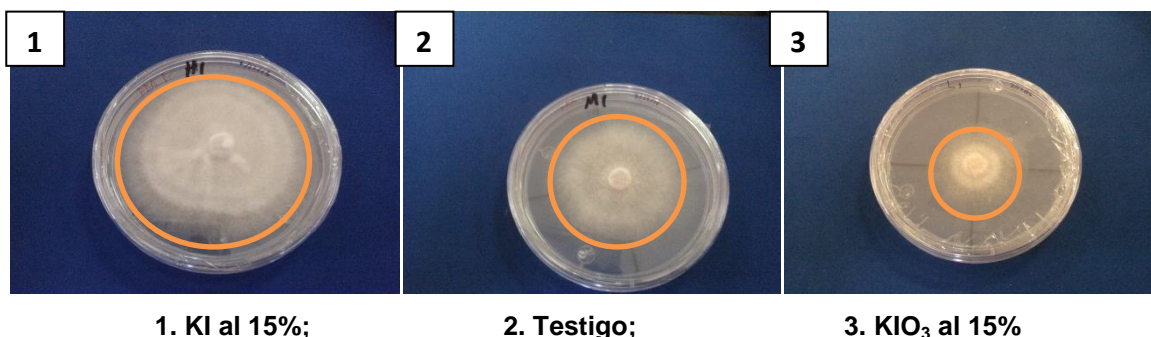
De acuerdo con los resultados obtenidos al realizar una comparación de medias por el método de Tukey con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$. se observó que el tratamiento 9. KIO₃ al 15% resultó con un menor diámetro de crecimiento de micelio, en contraste con el tratamiento 6.- KI al 15% que obtuvo el mayor crecimiento micelial; mientras que los demás tratamientos no mencionados obtuvieron un nivel bajo de significativa para el objetivo de la investigación (ver anexo 1, Figura 7).

Tabla 3. Medias de la variable crecimiento micelial (mm).

Tratamiento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	KIO ₃ 5%	KI 5%	Iodine 5%	KI 10%	Iodine 10%	KI 15%	Iodine 15%	KIO ₃ 10%	KIO ₃ 15%	TESTIGO
Media	43.310 bc	48.597 a	49.284 A	48.555 a	43.310 ab	50.368 a	46.678 ab	40.296 cd	35.525 d	48.941 A

Comparación de medias por el método de Tukey, con $\alpha = 0.05$, letras indican diferencia estadística.

Figura 7. Crecimiento micelial de *F. oxysporum* en tres diferentes tratamientos.



Como se puede observar en la Tabla 3 que el tratamiento 6 (KI al 15%) aún con la mayor concentración de Yoduro de potasio, obtuvo el menor efecto sobre la inhibición de crecimiento micelial, sugiriendo que fue un promotor para el crecimiento de *Fusarium oxysporum*, la interacción entre el medio de cultivo utilizado (PDA) y la solución de yoduro de potasio aumentaron el crecimiento; no así la producción de estructuras reproductivas que se encontraron por abajo del testigo (ver Gráfica 2), mientras que el tratamiento 9 (KIO₃ al 15%) obtuvo el mayor efecto sobre la variable estudiada, posiblemente debido al efecto oxidativo del yodo sobre las paredes celulares, y la capacidad de destruir estructuras reproductivas en hongos (Torgenson,1967) como *F. oxysporum*, mientras que el tratamiento 10 (testigo) mantuvo un ritmo normal de crecimiento durante el experimento.

Por otro lado los tratamientos de Iodine® en sus diferentes concentraciones no dieron resultados para ninguna de las variables estudiadas, a pesar de estar reportado como inhibidor de *Fusarium* spp. en la etiqueta del mismo.

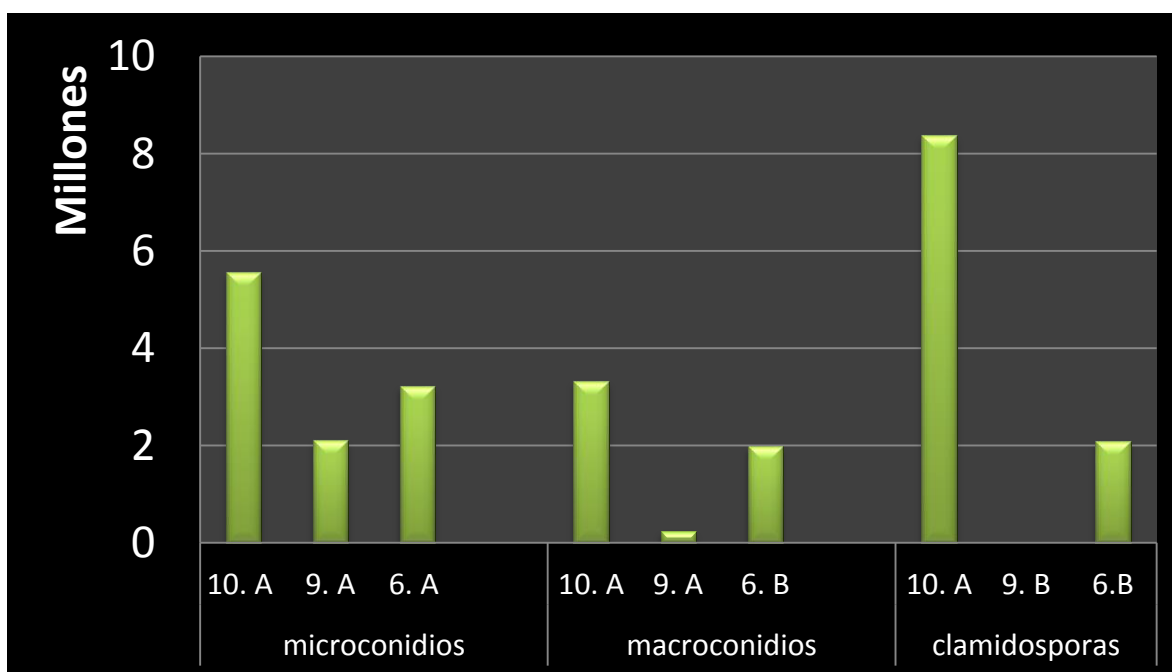
Se ha comprobado que el empleo de medios ricos en carbohidratos, como es el caso del medio PDA, las variaciones en los nutrientes, el uso de antibióticos en los medios de cultivo, la presencia de contaminaciones bacterianas y los cambios genéticos introducidos durante la preservación de las cepas, entre otros; afectan la expresión de caracteres importantes para el diagnóstico de especies de este género y ocasionan la degeneración de la cepa. Como consecuencia, el cultivo del hongo puede manifestar una lenta velocidad de crecimiento, abundante micelio

aéreo, escasez de macro conidios y reducción de la pigmentación, entre otras variaciones (López y López, 2004).

Una vez realizado el experimento se comprobó que la interacción de un medio rico en carbohidratos como PDA y el uso de sales de Yodo cambiaron las condiciones nutritivas y actuó como un inhibidor del hongo *F. oxysporum*.

5.2. Variable: Desarrollo del hongo

A partir de los resultados de crecimiento micelial de los tratamientos 9, 6 y el testigo se tomó una muestra para la siguiente variable estudiada que fue “Desarrollo del hongo” a través del conteo de estructuras reproductivas como micro conidios, macro conidios y clamidosporas. Los tratamientos elegidos siguieron criterios de exclusión cualitativa, evitando unidades que presentaran contaminación y tomando los extremos y la media obtenidos de la comparación de medias estadísticas de la variable crecimiento micelial. Los tratamientos para la variable desarrollo del hongo fueron: KI 15%, KIO₃ 15% y Testigo, en la siguiente gráfica se observa la cantidad de estructuras encontradas.



Gráfica 3. Millones de macro conidios, micro conidios y clamidosporas obtenidos de *F. oxysporum* con tres tratamientos. Tratamientos: 10. Testigo; 9. KIO₃ 15%; 6. KI 15%; Letras indican diferencia estadística.

5.3. **Conteo de micro conidios**

El análisis de varianza demostró que existe diferencia significativa entre los tratamientos, siendo el tratamiento 9. KIO_3 al 15% con el menor número de éstas estructuras; sin embargo, en la comparación de medias no hubo diferencia.

5.4. **Conteo de macro conidios**

En la gráfica anterior se observa que si existió diferencia entre los tres tratamientos (ver anexo 1), y tal como se esperaba de acuerdo a los resultados de la variable crecimiento micelial, se comprobó que con la aplicación de yodato de potasio a una concentración de 15% los macro conidios fueron escasos con respecto al número de macro conidios encontrados en el tratamiento con yoduro de potasio a la misma concentración, para el testigo, la cantidad de estructuras encontradas estuvieron por arriba de ambos tratamientos.

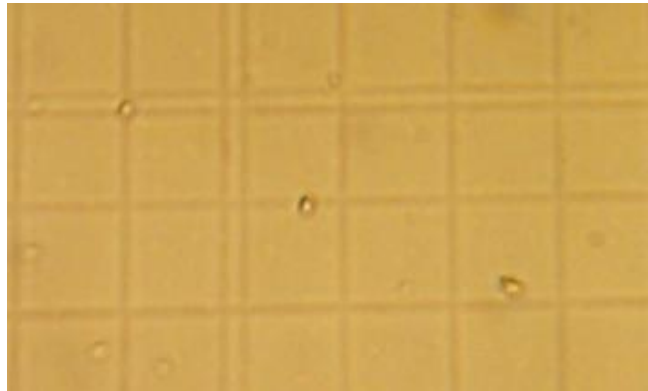


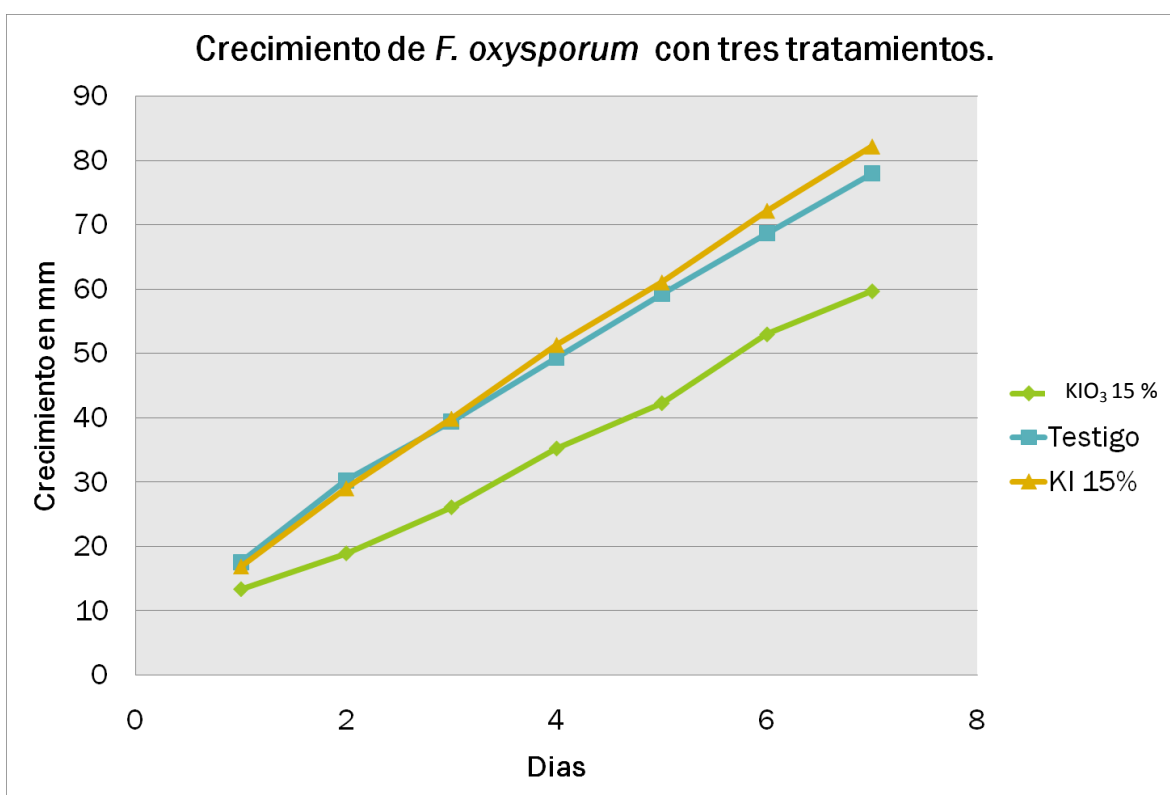
Figura 8. Conteo de estructuras reproductivas de *F. oxysporum* en cámara de Neubauer. Micro conidios encontrados en el tratamiento 9. KIO_3 al 15%

5.5. **Conteo de clamidosporas**

Para el análisis de las clamidosporas, la diferencia fue muy marcada; así, en el testigo se obtuvo una media de 8,375 millones de estructuras, en el yoduro de potasio 2,083.3 millones de estructuras y por último en el yodato de potasio hubo 0, éste último claramente influyó en el desarrollo de esta estructura con alto poder de perdurar como inóculo (ver Gráfica 3). La importancia que tuvo sobre las clamidosporas, radica principalmente en que al ser una estructura de resistencia

con alto grado de permanecer bajo condiciones adversas, se disminuye considerablemente la contaminación por el patógeno en el cultivo y el suelo, evitando así el uso intensivo de productos contaminantes sobre el tubérculo y el suelo (ver anexo 1).

Con los resultados obtenidos del tratamiento de yodato de potasio al 15% puede considerarse como un método de prevención, ya que evita la contaminación de suelos y almacenes por transferencia de inóculo a partir del suelo infectado, tubérculos o restos de cosecha (Ames de Icochea, 1980).



Gráfica 4. Velocidad de crecimiento de *F. oxysporum* con tres tratamientos durante 7 días.

Como se muestra en la Gráfica 4 se puede observar la velocidad de crecimiento y el tamaño alcanzado en un periodo de tiempo de 7 días, el tratamiento con yoduro de potasio (KI) al 15%, fue quien más crecimiento obtuvo, por arriba de los 80 mm de diámetro, en el Testigo fue similar.

En el tratamiento de Yodato de potasio (KIO_3) al 15%, como se ha mostrado en la Figura 8, el crecimiento fue notablemente inferior, en comparación con los demás tratamientos.

6. CONCLUSIONES

El Yodato de potasio (KIO_3) al 15%, tiene un efecto fungistático que se manifiesta con una disminución del crecimiento del patógeno.

Se detectó un efecto fungicida que inhibió el desarrollo de estructuras de resistencia (Clamidosporas), y una disminución considerable de macro y micro conidios.

El Yodato de potasio (KIO_3) al 15 % probó ser una alternativa sostenible para el manejo de enfermedades como la pudrición seca de la papa (*F. oxysporum*); además, deja un importante potencial para continuar una línea de investigación con este producto o la combinación con otros.

7. FUENTES CONSULTADAS

Allen, P., D. Van Dusen, J. Lundy. and Gliessman, S. R. 1991. "Integrating social, environmental, and economic issues in sustainable agriculture". American Journal of Alternative Agriculture. p. 37

1. American Phytopathological Society. 2001. "Plagas y enfermedades de las plantas en maceta con flores". Mundi- Prensa, pp. 23-26
2. Ames de Icochea, T. 1980. "Compendium of potato diseases, by W. J. Hooker . Editor st. Paul. Minnesota. USA. pp. 36, 42-50
3. Arbeláez, T. G. 2000. "Algunos aspectos de los hongos del genero *Fusarium* y de la especie *F. oxysporum*". Agronomía Colombiana. Colombia. Pp. 11-22.
4. ASERCA. 1998.
<http://www.infoaserca.gob.mx/claridades/marcos.asp?numero=57>
5. Ayed, F., M. Daami-Remadi, H. Jabnoun-Khiareddine and M. El Mahjoub. 2006. "Effect of potatoes cultivars on Incidence of *Fusarium oxysporum* F. sp. tuberosi and its Transmission to Progeny tubers". Journal of Agronomy pp. 430-434
6. Badii, H. M. y Landeros, J. 2007, "Toxicología de plaguicidas". CULCyT. México. pp. 22-25.
7. FALTA CALDERÓN 2011
8. Carrillo, L. 2003. "Los hongos de los alimentos y forrajes". Universidad Nacional de Salta. Argentina. pp. 71-73
9. Castro, I. y Contreras, A. 2011. "Manejo de plagas y enfermedades en el cultivo de la papa". Imprenta Austral. Valdivia-Chile 72 p.

10. Centro Internacional de la Papa. 1996. "Principales Enfermedades, Nemátodos e Insectos de la Papa". Lima, Perú / Quito, Ecuador: Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. II pp. 18,19
11. Chauvet, M., Gonzales, A. R., Barajas, O. R. E., Massieu, T.Y. 2004. "Impactos Sociales de la Biotecnología: El cultivo de la papa." Ed. Praxis., México. Pp. 26,35,48
12. Comité Nacional Sistema Producto Papa. 2011. "Plan Anual de Fortalecimiento (PAF, 2011)" México. pp.27-30
13. Cremlyn, R. 1982. "Plaguicidas Modernos y su acción bioquímica". Ed. Limusa. México. pp. 149-155
14. FAO, 2013, <http://www.fao.org/statistics/es>
15. FAO. 2008, <http://www.potato2008.org/es/index.html>, Año internacional de la papa
16. Garcia, L. B., Grajales, A., Cárdenas, M. E., Sierra, R., Lozano G., Garavito, M., F., Cepero de García, M. C., Bernal, A., Jiménez, P. and Restrepo, 2011. S. "Isolation and characterization of two strains of *Fusarium oxysporum* causing potato dry rot in *Solanum tuberosum* in Colombia".. Revista Iberoamericana de Micología. 28 (4). Colombia. pp.166-172.
17. García, R. J. 2008. "Efecto del quitosano sobre la membrana celular de *Rhizopus stolonifer*". Tesis Maestría en Ciencias, Instituto Politécnico Nacional. México. pp. 23-34.
18. González-Fundora, B. y Bernal-Izquierdo, A. 2000. "Impacto Social del Uso de los Plaguicidas Químicos en el Mundo". Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos". Facultad de Agronomía. Cuba. pp. 2-5
19. Hansen, P.J. 2000. "Uso del Hematocitómetro". Departamento de Ciencia Animal. Universidad de Florida. EUA. pp.1-3

20. Hanson, L.E., Shwager, S.J. and Loria, R. 1996. "Sensitivity to thiabendazole in *Fusarium* species associated with dry rot of potato." Cornell university, Ithaca, NY. USA. Pp. 378-380.
21. <http://quimicageneralpapimeunam.org.mx/>
22. ISAGRO. Comercializadora, consultado en <http://www.disagrobiologicos.com/fungicidas.html>.
23. Lenntech. 2013. consultado en <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/i.htm>
24. Leslie, J. F. and Summerell, B. A. 2006. "The *Fusarium* laboratory manual" Blackwell Publishing Iowa. USA. pp. 213-218
25. López B., A., López B. S. R.; Vázquez B., M. E.; Herrera R, S. A.; Mendoza E., M. y Padrón C., E. 2005. "Inhibición del crecimiento micelial de *Fusarium oxysporum* Shlechtend f. sp. lycopersici (SAAC.) Synder y Hansen, *Rhizoctonia solani* Kühn y *Verticillium dahliae* kleb. Mediante extractos". Revista Mexicana de Fitopatología. 06/23-002. México. pp. 183-190.
26. López, D. y López, O. 2004. "Influencia de diferentes tipos de agar y sellado de las placas, sobre pigmentación y el crecimiento micelial de *Fusarium*". Revista Fitosanidad. Vol. 8 num. 3 Sep. Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal. Cuba. Pp. 3-6
27. Marín G., P. 2010. "Análisis de factores ecofisiológicos que influyen en la expresión de genes relacionados con la biosíntesis de toxinas en especies de *Fusarium*". Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid. España. pp. 22-25
28. Mier, T.; Toriello, C.; Ulloa, M. 2004. "Hongos Microscópicos Saprobios y Parásitos: Métodos de Laboratorio". UAM-UNAM. México. pp 34-37
29. Montaldo, A. 1984. Cultivo y mejoramiento de papa. San José, Costa Rica. pp. 43,42.

30. Nelson, P. E. 1981. "Life cycle and epidemiology of *Fusarium oxysporum*", Academic Press. New York. USA. pp. 51-52
31. Neri, O. E. 2009. "Diseño de un método potenciométrico de bajo impacto ambiental, para la determinación de yoduros y yodatos absorbidos en papa (*Solanum tuberosum*)". Tesis de Ingeniería Química. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Universidad Nacional Autónoma de México. México. pp.63
32. Ohara, T., Inoue I., Namiki F., Kuhno, H. and Tsuge, T. 2004. "REN1 Is Required for development of microconidia and macroconidia, but not of chlamydospores; in the plant pathogenic fungus *Fusarium oxysporum*". Genetics Society of America. Japan. 166: 113-114
33. Panchi, N., Taipe, A., Yumisaca, F., Pallo, E., Montesdeoca, F., Espinoza, S., Andrade-Piedra, J. M. 2011. "Enfermedades y plagas que afectan la calidad de la semilla de papa y efecto de la selección positiva". Memorias del IV Congreso de la papa. Granada. Ecuador. Pp. 107,111
34. Pérez, W. y Forbes, G. 2008. "Manual Técnico El Tizón tardío de la papa Centro Internacional de la Papa (CIP). Lima, Perú. 150 p
35. FALTA RODRÍGUEZ 2012
36. Rousselle, P., Robert Y. y Crosnier, J.C., 1999. La patata. Paris, INRA. Pp. 30-33, 305-310
37. SENASICA, 2012, "Análisis de riesgo de plagas para la importación de tubérculos de papa (*Solanum tuberosum* L.) a México" Dirección General de Sanidad Vegetal, Pp.380.
38. Shwartz, H. F. y Gent, D. H. 2005. "*Fusarium dry rot*". Tomado de <http://wiki.bugwood.org/uploads/FusariumDryRot-Potato.pdf>
39. SIAP. (Sistema de Información Agrícola y Pecuaria). 2012. SAGARPA. México. tomado de <http://w4.siap.gob.mx/sispro/portales/agricolas/papa/Descripci%C3%B3n.pdf>

40. SIAP. (Sistema de Información Agrícola y Pecuaria), 2010. SAGARPA, tomado de: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/papa2010>
41. Torgenson, D. C. 1967. "Fungicides an advanced treatise". Vol I Agricultural and Industrial Applications Environmental Interactions. Academic Press, New York-London. Pp. 350-353
42. Trinidad, C. 2012. "Fusariosis de la papa su dinámica temporal y manejo". Memorias del XIV Congreso Nacional de papa. Cd. Obregón. Sonora. pp.1

8. ANEXOS

8.1. Anexo 1. Pruebas realizadas para el análisis de resultados

Análisis de varianza y comparación de medias por el método de Tukey, $\alpha = 0.05$.
Programa estadístico SAS 9.0[®]

A) Crecimiento Micelial

Procedimiento ANOVA

Variable dependiente: CM (Crecimiento Micelial)

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	9	1211.252573	134.583619	20.50	<.0001
Error	50	328.199741	6.563995		
Total correcto	59	1539.452313			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	CM Media
0.786807	5.591242	2.562029	45.82219

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para CM (Crecimiento Micelial)

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	50
Error de cuadrado medio	6.563995
Valor crítico del rango estudentizado	4.68144
Diferencia significativa mínima	4.8965

Tratamientos:

1. KIO ₃ 5%	2. KI 5%	3. Iodine 5%	4. KI 10%	5. Iodine 10%	6 -KI 15%	7. Iodie 15%	8. KIO ₃ 10%	9. KIO ₃ 15%	10. Testigo
---------------------------	-------------	-----------------	--------------	------------------	--------------	-----------------	----------------------------	----------------------------	----------------

Procedimiento ANOVA

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para CM(Crecimiento Micelial)

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un índice de

error de tipo II más elevado que REGWQ.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	50
Error de cuadrado medio	6.563995
Valor crítico del rango estudentizado	4.68144
Diferencia significativa mínima	4.8965

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey Agrupamiento	Media	N	trat
A	50.368	6	6
A	49.284	6	3
A	48.941	6	10
A	48.597	6	2
A	48.555	6	4
B A	46.678	6	7
B A	46.669	6	5
B C	43.310	6	1
D C	40.296	6	8
D	35.525	6	9

Análisis de varianza y comparación de medias por el método de Tukey, $\alpha = 0.05$. Programa estadístico SAS 9.0[®] de micro conidios, macro conidios y clamidosporas de los tratamientos:

1. Testigo	2. KIO ₃ 15 %	3. KI 15%
------------	--------------------------	-----------

B) Micro conidios*

Procedimiento ANOVA					
Variable dependiente: mic (Micro conidios)					
Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	302.5972222	151.2986111	4.75	0.0581
Error	6	191.2083333	31.8680556		
Total correcto	8	493.8055556			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	mic Media	
	0.612786	39.00700	5.645180	14.47222	

C) Macro conidios*

Procedimiento ANOVA

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para mic (Micro conidios)

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	6
Error de cuadrado medio	31.86806
Valor crítico del rango estudentizado	4.33902
Diferencia significativa mínima	14.142

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey Agrupamiento	Media	N	trat
A	22.250	3	1
A	12.833	3	3
A	8.333	3	2

Procedimiento ANOVA

Variable dependiente: MAC (Macro conidios)

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	911.791667	455.895833	22.85	0.0016
Error	6	119.708333	19.951389		
Total correcto	8	1031.500000			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	MAC Media
0.883947	30.28270	4.466698	14.75000

Procedimiento ANOVA

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para MAC (Macro conidios)

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	6
Error de cuadrado medio	19.95139
Valor crítico del rango estudentizado	4.33902
Diferencia significativa mínima	11.19

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

D) Clamidosporas *

Procedimiento ANOVA

Variable dependiente: CLA (Clamidosporas)

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr
> F					
Modelo	2	7300.222222	3650.111111	16.48	0.0037
Error	6	1328.791667	221.465278		
Total correcto	8	8629.013889			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	CLA Media
0.846009	53.36071	14.88171	27.88889

Procedimiento ANOVA

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para CLA

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	6
Error de cuadrado medio	221.4653
Valor crítico del rango estudentizado	4.33902
Diferencia significativa mínima	37.281

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey Agrupamiento	Media	N	trat
A	67.00	3	1
B	16.67	3	3
B	0.00	3	2