



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

**DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA
AGRÍCOLA**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN
PROTECCIÓN VEGETAL**

**ETIOLOGÍA Y MANEJO QUÍMICO DE LA PUDRICIÓN
DEL TUBÉRCULO DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) EN
EL VALLE DEL MAYO, SONORA.**

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL

PRESENTA:

FERNANDO GARAY LIZARRAGA



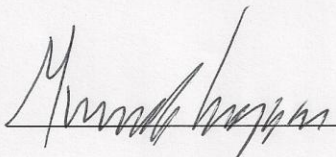
DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DISEÑO DE SERVICIOS ESCOLARES
COORDINACIÓN DE EXÁMENES PROFESIONALES

CHAPINGO, ESTADO DE MEXICO, SEPTIEMBRE DE 2012



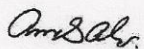
La presente tesis titulada **ETIOLOGIA Y MANEJO QUIMICO DE LA PUDRICION DEL TUBERCULO DE PAPA** (*Solanum tuberosum* L.), **EN EL VALLE DEL MAYO, SONORA, MEXICO** fue realizada por **Fernando Garay Lizárraga**, bajo la dirección y asesoría del consejo particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de **Maestro en Ciencias en Protección Vegetal**.

CONSEJO PARTICULAR



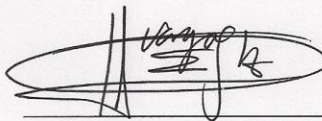
DIRECTOR

Dr. GERARDO LEYVA MIR



ASESOR

Dr. OMAR G. ALVARADO GOMEZ

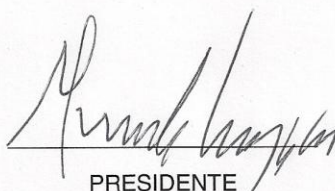


ASESOR

Dr. MATEO VARGAS HERNANDEZ

La tesis será presentada para su defensa en el Departamento de Parasitología Agrícola en el Examen Profesional que el C. Fernando Garay Lizárraga solicitó a la Dirección General Académica, misma que autorizó su ejecución con el siguiente jurado examinador.

JURADO EXAMINADOR

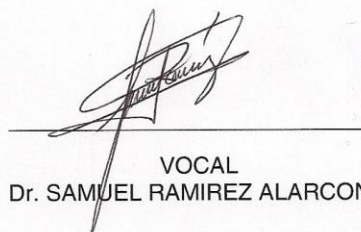


PRESIDENTE

Dr. GERARDO LEYVA MIR



SECRETARIO
Dr. MATEO VARGAS HERNANDEZ



VOCAL
Dr. SAMUEL RAMIREZ ALARCON

Chapingo México, Septiembre 2012

ETIOLOGÍA Y MANEJO QUÍMICO DE LA PUDRICIÓN DEL TUBÉRCULO DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.), EN EL VALLE DEL MAYO, SONORA, MEXICO.

Fernando **Garay-Lizárraga**^{1*}, Gerardo **Leyva-Mir**¹, Omar G. **Alvarado-Gómez**²

¹Protección Vegetal, Universidad Autónoma de Chapingo. Carretera México- Texcoco. Km. 38.5, Texcoco, Estado de México. ²Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León. Avenida Universidad s/n, Cd. Universitaria, San Nicolás de los Garza, Nuevo León.

RESUMEN

En los años 2010 y 2011 se recolectaron tubérculos de papa de la variedad Fiana con síntomas de pudrición, en el Valle del Mayo, Sonora, con la finalidad de identificar el agente causal de dicha pudrición. Se realizaron varios métodos de identificación como PCR, histopatología y caracterización morfológica. En el caso de las secuencias de las muestras amplificadas con los oligos 8F/1292R, se encontró un 99% de similitud con secuencias de *S. scabies*, *S. turgidiscabies*, *S. europaeiscabies* y otras especies, en cambio las secuencias obtenidas con los oligos Nf/Nr tuvieron un 99% de similitud con secuencias de *S. scabies*, *S. turgidiscabies* y *S. acidiscabies*. Por medio de histopatología no se pudo encontrar ninguna estructura y por el método de identificación morfológica se logró aislar el patógeno y las características correspondieron a las de *Streptomyces scabies*. Con la finalidad de encontrar una solución a daño causado por *S. scabies* se realizó un experimento en el Valle del Mayo, Sonora, para evaluar diferentes productos químicos en campo, haciendo una primera aplicación a la hora de la siembra y una segunda aplicación en drench a los 45 días después de la siembra. De los tratamientos utilizados el que menor porcentaje de infección obtuvo fue el fluazinam, aunque no mostró diferencia significativa con oxitetraciclina + streptomycin, clorotalonil y mancozeb ya que obtuvieron porcentaje de infección muy similares.

ABSTRACT

In the years 2010 and 2011 were collected potato tubers with rotting symptoms in the Mayo Valley, Sonora, in order to identify the causative agent of the rot. Were used several identification methods such as PCR, histopathology and morphological characterization. In the case of sequences of samples amplified with oligos 8F/1292R, were found a 99% similarity to sequences of *S. scabiei*, *S. turgidiscabies*, *S. europaeiscabies* and other species, however, the sequences obtained with the oligos Nf / Nr had a 99% similarity to sequences of *S. scabiei*, *S. turgidiscabies* and *S. acidiscabies*. By histopathology could not find any structure, and with the morphological identification method was isolated the pathogen, and its characteristics corresponded to those of *Streptomyces scabies*. In order to find a solution to damage caused by *S. scabies* an experiment in the Mayo Valley, Sonora, was performed to evaluate different chemicals in the field, making a first application when planting and a second drench application at 45 days after sowing. From the treatments used the lower rate of infection was obtained with fluazinam, however, it didn't show significant difference with oxytetracycline + streptomycin, chlorothalonil and mancozeb, as percentage of infection were very similar.

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología** por el apoyo económico durante mis estudios de Maestría.

Al **Dr. Gerardo Leyva Mir** por haberme permitido realizar la presente investigación bajo su valiosa dirección y asesoramiento, por el apoyo e interés que siempre mostró, por sus atinados consejos a lo largo de este trabajo y su amistad.

Al **Dr. Mateo Vargas** por su disponibilidad de atenderme siempre para aclarar mis dudas, por compartir su amplia información y conocimiento a través de estos años y por brindarme su amistad.

Al **Dr. Omar Alvarado Gómez** por brindarme y ofrecerme sus amplios conocimientos y aportaciones para la realización de esta investigación.

A mis compañeros de maestría Xanitzio, Esteban, Mario, Juan, Artemio y Carlos que contribuyeron y me ayudaron en la realización de este trabajo.

A todos los profesores de Maestría en Protección Vegetal que durante estos dos años compartieron sus experiencias y conocimientos para formarme como profesionalista.

A todas las personas que contribuyeron, en algún momento durante el desarrollo de este trabajo.

DEDICATORIAS

A mi padre el Sr. Rafael Garay Álvarez por el todo el gran esfuerzo y apoyo que me brindó a lo largo de estos dos años y a lo largo de mi vida, ya que él ha sido mi motivación para seguir preparándome profesional y personalmente. Muchas gracias.

A mi madre la Sr. María Guadalupe Lizárraga por ser un pilar muy importante en vida ya que con sus consejos y recomendaciones he logrado todo lo que me he propuesto y me ha ayudado a seguir adelante.

A mi novia María José Almada por su paciencia en estos dos años lejos de ella y por sus motivaciones a seguir preparándome mejor profesionalmente para poder brindarle lo mejor que se merece ya que es una gran persona y forma parte muy importante en mi vida.

A mis hermanos Rafael, José Ángel y Liliana por su apoyo y consejos durante la realización de estos estudios

CONTENIDO

RESUMEN GENERAL	<i>Iv</i>
ABSTRACT GENERAL	<i>V</i>
AGRADECIMIENTOS	<i>Vi</i>
DEDICATORIAS	<i>Vii</i>
CONTENIDO	<i>Viii</i>
LISTA DE CUADROS	<i>Ix</i>
LISTA DE FIGURAS	<i>Ix</i>
INTRODUCCION GENERAL	1
CAPITULO 1. ETIOLOGÍA DE LA PUDRICIÓN DEL TUBÉRCULO DE PAPA (<i>Solanum tuberosum</i> L.) EN EL VALLE DEL MAYO, SONORA, MEXICO.	10
RESUMEN	10
ABSTRACT	10
INTRODUCCION	11
MATERIALES Y METODOS	13
RESULTADOS Y DISCUSION	17
CONCLUSIONES	21
LITERATURA CITADA	21
CAPITULO II. MANEJO QUÍMICO DE <i>Streptomyces scabies</i> EN EL VALLE DEL MAYO, SONORA, MEXICO.	24
RESUMEN	24
ABSTRACT	24
INTRODUCCION	25
MATERIALES Y METODOS	26
RESULTADOS Y DISCUSION	28
CONCLUSIONES	30
LITERATURA CITADA	31
CONCLUSIONES GENERALES	33
LITERATURA CITADA EN INTRODUCCION GENERAL	34

LISTA DE CUADROS

CAPITULO II

Cuadro 1.	Escala para evaluar el porcentaje de infección de <i>S. escabies</i> elaborada por James, 1971 (citada por Ramos, 1993).	27
Cuadro 2.	Prueba de Tukey (0.05) para las medias de porcentaje de infección de <i>S. scabies</i> en tubérculos de papa, en el Valle del Mayo, Sonora. 2010-2012.	29

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO I

Figura 1.	Crecimiento de <i>S. scabies</i> en medio de cultivo AA.	17
Figura 2.	Conidióforos de <i>S. scabies</i> . enroscados en espiral y con ramificaciones.	18
Figura 3.	Corte transversal de tejido de papa con síntomas de roña, colectados del Valle del Mayo, Sonora.	18
Figura 4.	Figura 1. Amplificación por PCR a partir de bacterias aisladas de tubérculos de papa. A. Amplificación con los primers 8F/1492R, la flecha señala una talla aproximada de 1484 pb, y B. Amplificación con los primers Nf/Nr, la flecha señala un producto de aproximadamente 700 pb. 1 y 2 son productos obtenidos a partir de colonias bacterianas; y 3 es ADN del control positivo de <i>S. acidiscabies</i> . M es el marcador de peso molecular ladder-100 de Axygen.	19
Figura 5.	Síntomas en tubérculos de papa inoculados con <i>S. scabies</i> a los 15 días después de la inoculación.	20

INTRODUCCIÓN GENERAL

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es uno de los alimentos más importantes tanto en Europa como en América y es uno de los cuatro cultivos básicos a nivel mundial, no solo por la superficie que se destina para su cultivo, en los últimos 100 años ha tomado cada vez mayor importancia y su cultivo se ha intensificado en los últimos 20 años. La producción de papa en los países desarrollados, especialmente en Europa y en la Comunidad de Estados Independientes, ha disminuido en promedio un 1 por ciento al año en los últimos 20 años. Sin embargo, la producción en los países en desarrollo ha aumentado a una tasa promedio del 5 por ciento anual. Los países asiáticos, en particular China y la India, han impulsado este crecimiento. En 2005, la participación de los países en desarrollo en la producción mundial de papas fue del 52 por ciento, con lo que superó la del mundo desarrollado. Se trata de todo un acontecimiento, ya que apenas hace 20 años los países en desarrollo apenas producían poco más del 20 por ciento. Aun así, hoy en día la producción y el consumo mundial de papas crece a tasas inferiores que la población. Los principales usos a que se destina la producción de papa son para consumo en fresco, industria, y en menor proporción follaje para ganado (FAOSTAT, 2010). A nivel mundial ocupa el cuarto lugar en producción, superada solamente por trigo, maíz y arroz (FAOSTAT, 2010). A nivel mundial se siembra una superficie de 18,596,222 ha. Los principales países productores de papa son: China, India, Rusia, Ucrania, Estados Unidos y Alemania (FAOSTAT, 2010). En el año 2010 la superficie sembrada en México de esta solanácea fue de 55,645 ha, de las cuales se obtuvo una producción de 1,536,617 toneladas. Los principales productores en el país son los estados de Sonora, Sinaloa, Veracruz, Puebla, Chihuahua, Estado de México y Nuevo León (SIAP, 2010). El estado de Sonora ocupa el primer lugar en superficie sembrada en México con 12,212 ha, de las cuales 5,192 ha están en el Valle del Mayo (SIAP, 2010). De todos los cultivos de alimentos primarios, la papa es la que más pérdidas presenta debido a enfermedades (Agrios, 1997). Hooker (1981), señala que hay patógenos que afectan la calidad del tubérculo con síntomas muy parecidos como: *Streptomyces scabies*, *Spongospora subterranea*, *Synchytrium*

endobioticum y *Rhizoctonia solani*. *Spongospora subterranea* también conocida como roña polvorienta está distribuida en todas las áreas paperas del mundo (Hooker, 1981). El primer síntoma en el tubérculo son pequeñas ampollas color café, las cuales alcanzan un tamaño de 6 mm en 3 a 4 semanas después que inicia la formación del tubérculo (Mendoza, 1990). La infección en los tubérculos, lenticelas y con menos frecuencia en las yemas laterales se presenta a manera de pústulas de color castaño purpúreo, de 0.5 a 2 mm de diámetro, que se extiende lateralmente bajo el peridermo formando lesiones levantadas en forma de granitos. El aumento de tamaño y división de las células afectadas empuja y rompe el peridermo, formando proyecciones de color blanco con apariencia de verrugas (Hooker, 1981). Smith *et al.* (1992) afirman que la roña polvorienta generalmente es de forma circular en la superficie, pudiendo confundirse con la roña común causada por *S. scabies*. En Australia la presencia de *Spongospora subterranea* se reportó por primera vez en 1941 en algunas áreas productoras de papas (Hughens, 1980). Tuttobena (1986) observó severos brotes de *S. subterranea* en Sicilia, Italia. Ramos (1993) señala que la roña polvorienta se encuentra ampliamente distribuida en los valles altos de México. *Rhizoctonia solani* es una de las enfermedades más antiguas de las plantas (Rich, 1983). Es un organismo habitante natural del suelo que produce graves enfermedades en muchos hospederos ya que afecta las raíces, tallos, tubérculos, cormos y otros órganos de la planta que se desarrollan en el suelo (Hide y Horrocks, 1994). En la superficie de los tubérculos se forman esclerocios de color castaño o castaño oscuro, en forma de terrones, de ahí el nombre de costra negra. Otros síntomas en el tubérculo se manifiestan por agrietamientos, malformaciones, concavidades y necrosis en el extremo de la unión con el estolón (Carling *et al.*, 1989). Bajo condiciones de suelo húmedo, especialmente irrigados, el estado perfecto aparece como un collar blanquizco polvoriento sobre el tallo a la altura del suelo (Ponchaniana, 1976). *R. solani* disminuye el rendimiento total entre 4 y 30% con un promedio de 15%, una reducción de tamaño de los tubérculos que oscila de 14 a 33% con una media de 22%, reduce de manera significativa el contenido de azúcares e incrementa la proporción de tubérculos deformes (Hide y Horrocks,

1994). Se encuentra distribuida a nivel mundial atacando a gran número de plantas. La enfermedad es más común en las regiones donde se cultiva papa (Hooker, 1981). *Synchytrium endobioticum* ha sido registrada en África, Asia, Europa, Norte y Sudamérica. En ciertas áreas, la diseminación de la enfermedad ha sido contenida debido a estrictas cuarentenas (Hooker, 1981). Verrugas o agallas tumorales se desarrollan en la base del tallo. Las agallas que crecen sobre el suelo son de color verde a café, y de color negro en su madurez. Las agallas que crecen por debajo del suelo aparecen en la base de los tallos, estolones y en los ojos de los tubérculos. Los tubérculos pueden desfigurarse o ser remplazados completamente por las agallas. Las agallas subterráneas son de color blanco a café, y de color negro en su madurez (Hooker, 1981). *Streptomyces scabies* está distribuida en todas las áreas paperas del todo el mundo (Hooker, 1981). De las varias enfermedades, la sarna o roña común, es de las más antiguas y reportada por primera vez en 1890 (Thaxter, 1891). En Sudáfrica fue reportada por Pole Evans (1906), y ha sido subsecuentemente descrita como común y ampliamente distribuida por Doidge & Bottomley (1931), Doidge *et al.* (1953) and Gorter (1977). *Streptomyces* spp. son bacterias aeróbicas, filamentosas, Gram positivo, pertenecen al orden de Actinomycetales, sub orden *Streptomycineae*, familia *Streptomycetaceae* y al género *Streptomyces* (Kutzner, 1981). De acuerdo a Hooker (1981), los conidios son forma de barril y su tamaño varia de 0.8 – 1.7 x 0.5-0.8 µm. Los conidióforos son ramificados y septados del tipo itsmo atenuado, en forma de espiral en el final y terminación ramificada. *Streptomyces* es clasificada como bacteria porque son akaryoticos y tiene características bioquímicas en su pared celular más parecidas a bacterias que a hongos. Produce filamentos vegetativos sin color y pálidos, produce micelio aéreo de color blanco-grisaseo (Hooker, 1981). Está presente en todas las áreas donde se cultiva papa en Norteamérica y Europa (Keinath & Loria 1989). Mohanty *et al.* (1980) reportó serios problemas de roña común en los distritos de Cuttack y Puria en la India. Un reporte de Pung & Cross (2000) confirmaron la presencia de esta enfermedad en Victoria, Australia, particularmente en la isla de Tasmania. También fue reportada en otros países como Austria (Wenzl & Reichard, 1974), Dinamarca (Oestergaard

& Nielsen, 1979), Francia (Bouček-Mechiche *et al.*, 2000), Finlandia (Heinamies & Seppanen, 1971), Alemania (Koronowski & Massfeller, 1972), Grecia (Alivizatos & Pantazis, 1992), Israel (Doering-Saad *et al.*, 1992), Hungría (Elesawy & Szabo, 1979), Irlanda (Dowley, 1972), Holanda (Janse, 1988), Suecia (Emilsson & Gustafsson, 1953), Noruega (Bjor & Roer, 1980), Polonia (Sadowski *et al.*, 1996) y Reino Unido (Large & Honey, 1953; Read *et al.*, 1995). La enfermedad está presente en todas las áreas productoras de papa de Sudáfrica (Marais & Visser, 1989). Nortje *et al.*, 2000 menciona que la roña común es el principal factor limitante en la producción de papa en Sudáfrica. En los últimos ciclo agrícolas los productores del sur de Sonora han reportado incrementos importantes en daños causados a la calidad del tubérculo por *S. scabies* (Fuentes *et al.*, 2011). En la zona agrícola del norte de Sinaloa se cree que la sarna común causada por alguna especie de *Streptomyces* patógena, fue la causante de severas pérdidas de producción de papa durante el ciclo agrícola 2008-2009 (Rete *et al.*, 2010). Durante la cosecha del ciclo 2009-10 se muestrearon 10 campos comerciales en el Sur de Sonora. Aunque síntomas de roña se detectaron en el 20% de los campos muestreados, la incidencia de la enfermedad fue muy leve. En la cosecha del 2010-11 se muestrearon 25 campos en el Valle del Yaqui y 5 en el Valle del Mayo. Aunque síntomas de roña se detectaron en el 32% de los lotes muestreados, la incidencia en general fue muy leve, a excepción de un lote donde un muestreo de cuatro repeticiones de 2 metros por dos camas, indicó una incidencia con un rango de 1.5 a 50%, mientras que en otro, se detectó un área afectada con un rango de 1.5 a 30%, los cuales son muy altos (Fuentes y Valenzuela, 2011). Aparte de causar daño en papa, también puede atacar rábano, betabel, zanahoria. Todos estos cultivos desarrollan síntomas típicos de roña. Otros cultivos monocotiledóneas y dicotiledóneas han sido reportados de ser afectados negativamente cuando se les inocula artificialmente con *S. scabies* (Hooker & Kent, 1946; Leiner *et al.*, 1996), probablemente debido a los efectos inducidos por la taxtamina A, una fitotoxina de amplio espectro producida por el patógeno (Leiner *et al.*, 1996). Ha habido mucha especulación acerca de los mecanismos de patogenicidad de la sarna común, particularmente en la

producción de toxinas (Lawrence *et al.*, 1990). A finales de 1980 extensivos estudios, revelaron la presencia de actividad de esterases extraídas de colonias patogénicas de *S. scabies* (Gouws, 2006). Se cree que estas esterases pudieran ayudar al patógeno a degradar las capas protectoras (suberina y cutina) cubriendo la peridermis del patógeno y así generando un punto de entrada (Raymer *et al.*, 1990). Todas las especies de *Streptomyces* patógenas comparten la producción de una o más fitotoxinas conocidas como taxtominas, las cuales simulan o imitan la sintomatología de la enfermedad en plantas hospederas (Gouws, 2006). Evidencia de la producción de toxinas por *Streptomyces* patogénica también fue reportada por Lawrence *et al.* (1990) e identificaron a los componentes como taxtominas A y B. Taxtomina A es la fitotixina predominante por las especies de *S. scabies* y *S. acidiscabies* en los tubérculos de papa (King *et al.*, 1992; Loria *et al.*, 1997). Se ha demostrado que la taxtomina A induce la hipertrofia de las células en la proliferación de tejido de la planta a través de la inhibición de la biosíntesis de la celulosa (Fry & Loria, 2002; Scheible *et al.*, 2003.). Por lo tanto, la presente hipótesis es que *Streptomyces* spp. penetra en las regiones de tejido de papa que están en crecimiento a través de la producción de taxtomina A que inhibe el desarrollo de la pared celular (Loria *et al.*, 2003).

Para comprender los mecanismos por los que el patógeno causa la infección, se debe considerar primero la fisiología de su huésped. El tubérculo de la papa es un tallo adaptado que consiste en nudos y entrenudos (Adams y Lapwood, 1978). Cuando inicia la formación de tubérculos, los nudos están separados por los entrenudos de agrandamiento. Lapwood y Adams (1975) sugirieron que los entrenudos que se forman sucesivamente en la cúspide de un tubérculo de crecimiento pasan por un período de susceptibilidad cuando los estomas están el proceso de convertirse en lenticelas. Durante las primeras semanas de desarrollo del tubérculo se forman nuevos entrenudos, a razón de dos por semana, por lo tanto, cada uno de los entrenudos pasa por una fase susceptible de alrededor de 10 días a partir de 1-2 semanas y media después de que inicia la formación del tubérculo. La sarna común no es un competidor eficiente para los sitios de infección o de alimentos, pero es un oportunista excelente y se ha adaptado a las

defensas del huésped de una manera interesante. Después de la penetración el patógeno avanza intercelularmente, principalmente entre las células dentro de las lenticelas en desarrollo (Adams y Lapwood, 1978), ya que las células mueren se alimenta del tejido muerto (Agrios, 1997). El micelio se produce dentro de las células del huésped en las zonas más antiguas de las lesiones de sarna (Hooker, 1981). Mientras se multiplica, el patógeno segrega una sustancia bioquímica (probablemente taxtomina) que estimula las células circundantes a las lesiones que se dividan rápidamente y a sintetizar suberina en el sitio de la infección (Babcock *et al.*, 1993). La capa corchosa empuja hacia afuera de la zona infectada, ocasionando la ruptura de la peridermis y formando una costra.

El patógeno puede infectar todas las partes subterráneas de la planta de papa (Labruyère, 1971). Partes aéreas de las plantas también pueden presentar síntomas después de la infección artificial (Hooker, 1981). Inicialmente, las lesiones aparecen como pequeños (5-8 mm), círculos rojizos a café en la peridermis del tubérculo. A medida que el patógeno coloniza el tubérculo, va dando lugar a lesiones ligeramente elevadas compuestas de tejido áspero y corchoso. Estas manchas pueden unirse para formar parches de forma irregular que son generalmente de color bronceado a marrón y textura áspera (Rich, 1983). Las manchas pueden agrietarse a medida que progresa la infección y adquieren una apariencia semejante a una estrella. La enfermedad también puede extenderse hacia el tubérculo que resulta en la costra superficial (Archuleta & Easton, 1981). Cuando las lesiones se extirpan la pulpa subyacente aparece de color pajizo y un poco transparente (Rich, 1983). La peridermis del tubérculo se mantiene intacta a través de lesiones superficiales (Jellis, 1977). En lesiones más profundas, la peridermis del tubérculo se rompe y hasta tres barreras de la herida se forman.

Es bien sabido que la sarna común puede estar presente en suelos vírgenes (Jones & Edson, 1901). El patógeno sobrevive en forma de esporas o micelio en restos de cultivos, puede seguir siendo viable en el suelo por una década (Kritzman *et al.*, 1996) a un máximo de veinte años sin ningún tipo de cultivo de papa (Dippenaar, 1933). El inóculo puede ser introducido en el suelo por medio de

tubérculos infectados y prácticas agrícolas. El organismo también sobrevive al paso por el tracto digestivo de los animales y pueden diseminarse por el estiércol (Rowe, 1993). Ya que *S. scabies* es un patógeno monocíclico, es decir, sólo se completa un ciclo de la enfermedad por temporada de crecimiento, la densidad de inóculo inicial puede desempeñar un papel importante en el desarrollo de la enfermedad (Keinath y Loria, 1991). Las esporas pueden sobrevivir en terreno seco durante períodos largos, pero las hifas vegetativas son intolerantes a las tensiones de alta humedad (Mayfield *et al.*, 1972). Las esporas se diferencian de las hifas en tener a) una vaina exterior, b) una pared más gruesa, c), mayor resistencia al calor y d) resistencia a la sequía. Las esporas de *Streptomyces* no se distribuyen uniformemente en el suelo y se producen en pequeñas zonas y localizados (Mayfield *et al.*, 1972). Estos grupos suelen estar asociados con los desechos derivados de cultivos anteriores o existentes. La germinación de las esporas se ve reforzada por la estrecha proximidad de las partículas orgánicas. *S. scabies* tiende a predominar en suelos secos, neutros a alcalinos (Hooker, 1986). El control de la sarna común se ha intentado en varias formas, por ejemplo por: a) productos químicos (Terman *et al.*, 1948; Singh & Soni, 1987), b) manejo del agua (Lapwood *et al.*, 1973), c) resistencia varietal (Bjor & Roer, 1980; Marais y Vorster, 1988; Pemberton, 1994), d) pH y fertilización (McCreary, 1967; Williams *et al.*, 1971), e) la rotación de cultivos y abonos verdes (Pemberton, 1994) y f) control biológico (Hayashido *et al.*, 1988; Gouws y Wehner, 2004). Sin embargo, para lograr el control de la sarna en el suelo bajo todas las condiciones en que se cultiva la papa no es sencillo debido a la complejidad de los factores que afectan al desarrollo de la enfermedad, a) La presencia y la densidad del inóculo en el suelo, b) el número de años consecutivos sembrando papa, c) variedades de papa cultivadas, y d) los factores ambientales tales como la reacción del suelo, humedad del suelo (Dippenaar, 1933). Relativamente poca investigación se ha llevado a cabo sobre el efecto de los tratamientos a tubérculos. Kulikova (1982), Singh y Soni (1987), Somani (1988) y Fulton (1994) reportaron el uso de sulfato de cobre, el formaldehído, el cloruro de mercurio, bórax, ácido bórico, la tetraciclina y el quintoceno. Fluazinam, flusulfamide, fludioxonil y mancozeb ha proporcionado

control en Australia (Wilson *et al.*, 1999; Pung y Cross, 2000). Los resultados inconsistentes obtenidos con el tratamiento de semillas han puesto un signo de interrogación sobre la eficacia de este enfoque. El método químico más utilizado para controlar la sarna común es el tratamiento del suelo con quintoceno (PCNB) antes de la siembra (Vashisth *et al.*, 1990). Sin embargo, quintoceno es persistente, puede ser cancerígeno, y puede disminuir el rendimiento (Labruyère, 1971). McIntosh (1977) encontró captafol tan eficaz como quintoceno con ninguna reducción en el rendimiento de la papa, mientras que Davis *et al.*, (1974) investigaron los efectos de yeso y azufre para el control de la sarna común, y la conclusión de que ambos compuestos reducen la sarna con sólo un ligero cambio en el pH del suelo.

Hasta 1993, quintoceno y diclorofeno fueron los tratamientos del suelo sólo registrados para el control del inóculo en el suelo en el sur de África. Ambos proporcionaron un control inconsistente, especialmente bajo condiciones de alta presión de enfermedades (De Klerk & Engelbrecht, 1996). Desde 1993, la fumigación con cloropicrina y bromuro de etileno se ha aplicado con éxito en Sudáfrica, pero no es rentable debido a las cantidades requeridas. El fumigante también exhibe una movilidad muy ligera en el suelo y por tanto es importante que el suelo se prepare adecuadamente antes de la fumigación (Erickson, 1960). La fumigación no es recomendable para suelos con un contenido de arcilla superior al 20%.

La incidencia de la sarna común se determina por el nivel de inóculo presente en el suelo y en la superficie de tubérculos, así como factores tales como la humedad del suelo y el pH (Booth, 1970). Lapwood y Lewis (1967) observaron una estrecha asociación entre la incidencia de la sarna común y la baja humedad del suelo durante las primeras etapas de formación de los tubérculos. La razón de esto reside en el hecho de que los actinomicetos crecen mejor en espacios porosos del suelo que son húmedo y llenos de aire (Williams *et al.*, 1971). El crecimiento se retarda cuando los poros se inundan. La inundación también aumenta el manganeso disponible, que puede suprimir el desarrollo de la sarna común (McGregor y Wilson, 1966). Alta humedad en el suelo y temperatura baja en el

suelo después de que inicia la formación del tubérculo ayuda a reducir la enfermedad.

Por lo expuesto anteriormente, los objetivos planteados para el presente trabajo fueron:

1. Identificar los patógenos que están involucrados en la pudrición del tubérculo de la papa.
2. Evaluar el efecto de algunos productos químicos sobre los patógenos involucrados en la pudrición del tubérculo de la papa.

HIPOTESIS

1. Los hongos *Spongospora subterranea*, *Streptomyces scabies*, *Rhizoctonia solani* y *Synchytrium endobioticum*, están involucrados en la pudrición del tubérculo de la papa, en el Valle del Mayo, Sonora.
2. Los tratamientos aplicados tienen efecto positivo sobre el control de la pudrición del tubérculo de la papa

CAPITULO I. ETIOLOGÍA DE LA PUDRICIÓN DEL TUBÉRCULO DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) EN EL VALLE DEL MAYO, SONORA, MEXICO.

Fernando **Garay-Lizárraga**^{1*}, Gerardo **Leyva-Mir**¹, Omar G. **Alvarado-Gómez**²

¹Protección Vegetal, Universidad Autónoma de Chapingo. Carretera México- Texcoco. Km. 38.5, Texcoco, Estado de México. ²Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León. Avenida Universidad s/n, Cd. Universitaria, San Nicolás de los Garza, Nuevo León.

Palabras clave: Identificación, papa, pudrición.

RESUMEN

En los años 2010 y 2011 se recolectaron tubérculos de papa de la variedad Fiana con síntomas de pudrición en el Valle del Mayo, Sonora, con la finalidad de identificar el agente causal de dicha pudrición, el cual se identificó por varios métodos como: PCR, histopatología y caracterización morfológica. En el caso de las secuencias de las muestras amplificadas con los oligos 8F/1292R, se encontró un 99% de similitud con secuencias de *S. scabies*, *S. turgidiscabies*, *S. europaeiscabies* y otras especies, mientras que las secuencias obtenidas con los oligos Nf/Nr tuvieron un 99% de similitud con secuencias de *S. scabies*, *S. turgidiscabies* y *S. acidiscabies*. Por medio de histopatología no se pudo encontrar ninguna estructura. Por el método de identificación morfológica se logró aislar el patógeno y las características correspondieron a las de *Streptomyces scabies*.

ABSTRACT

In the years 2010 and 2011 were collected potato tubers with rotting symptoms in the Mayo Valley, Sonora, in order to identify the causative agent of the rot. Were used several identification methods such as PCR, histopathology and morphological characterization. In the case of sequences of samples amplified with oligos 8F/1292R, we found a 99% similarity to sequences of *S. scabies*, *S. turgidiscabies*, *S. europaeiscabies* and other species, however, the sequences

obtained with the oligos Nf / Nr had a 99% similarity to sequences of *S. scabies*, *S. turgidiscabies* and *S. acidiscabies*. By histopathology was not found any structure, while by morphological identification method was isolated the pathogen and its characteristics corresponded to those of *Streptomyces scabies*.

INTRODUCCIÓN

La papa [*Solanum tuberosum* L.] ocupa el cuarto lugar entre los principales cultivos alimenticios del mundo y es superada solamente por gramíneas como trigo, arroz y maíz (Hooker, 1981). En el año 2010, la superficie sembrada en México con esta solanácea fue de 55,645 ha, distribuidas principalmente en los estados de Sonora, Sinaloa, Veracruz, Puebla, Chihuahua, Estado de México y Nuevo León (SIAP, 2010). El estado de Sonora ocupa el primer lugar en superficie sembrada en México con 12,212 ha, de las cuales 5,192 se localizan en el Valle del Mayo (SIAP, 2010). Sin embargo, algunos patógenos como *Streptomyces scabies*, *Spongospora subterranea*, *Synchytrium endobioticum* y *Rhizoctonia solani* afectan la calidad del tubérculo con síntomas muy parecidos (Hooker, 1981). *S. scabies*, causante de la roña o sarna común, ataca principalmente los tubérculos de la papa afectando la calidad de la cosecha de manera significativa, aunque no afecta de igual manera la cantidad de tubérculos cosechados (Rubio, 2010). El patógeno induce lesiones normalmente circulares de 5-8 mm de diámetro, aunque pueden ser irregulares y más grandes cuando se unen las infecciones. El color del tejido varía de claro a café con apariencia de costra (Hooker, 1981). En los últimos ciclo agrícolas los productores han reportado incrementos importantes en daños (15-30%) causados por *S. scabies* (Fuentes *et al.*, 2011).. En la zona agrícola del norte de Sinaloa se cree que la sarna común, causada por alguna especie de *Streptomyces*, ocasiono severas pérdidas en la producción de papa durante el ciclo agrícola 2008-2009 (Rete *et al.*, 2010). Nortje *et al.* (2000), mencionan que la roña común es el principal factor limitante en la producción de papa en Sudáfrica. La roña polvorienta, causada por *S. subterranea*, está distribuida en todas las áreas paperas del mundo (Hooker, 1981). El primer síntoma en el tubérculo son pequeñas ampollas de color café, las

cuales alcanzan un tamaño de 6 mm en 3 a 4 semanas después que inicia la formación del tubérculo (Mendoza, 1990). La infección en los tubérculos, lenticelas y con menos frecuencia en las yemas laterales se presenta a manera de pústulas de color castaño purpúreo, de 0.5 a 2 mm de diámetro, que se extiende lateralmente bajo la peridermis formando lesiones levantadas en forma de protuberancias. El aumento de tamaño y división de las células afectadas empuja y rompe la peridermis, formando proyecciones de color blanco con apariencia de verrugas (Hooker, 1981). Smith *et al.*, (1992) afirman que la roña polvorienta generalmente es de forma circular en la superficie, pudiendo confundirse con la roña común causada por *S. scabies*. En Australia, la presencia de *S. subterranea* se reportó por primera vez en 1941 en algunas áreas productoras de papas (Hughens, 1980). Ramos (1993), señala que la roña polvorienta se encuentra ampliamente distribuida en los valles altos de México. *Rhizoctonia solani* es un organismo natural del suelo que causa graves enfermedades en muchos hospederos, afectando las raíces, tallos, tubérculos, cormos y otros órganos subterráneos de la planta (Hide y Horrocks, 1994). En la superficie de los tubérculos se forman esclerocios de color castaño o castaño oscuro en forma de terrones, de ahí el nombre de costra negra. Otros síntomas en el tubérculo son agrietamientos, malformaciones, concavidades y necrosis en el extremo de la unión con el estolón (Carling *et al.*, 1989). Bajo condiciones de humedad, el estado perfecto del hongo aparece como un collar blancuzco polvoriento sobre el tallo a la altura del suelo (Ponchaniana, 1976). En promedio, *R. solani* causa pérdidas en el rendimiento del 15%, y reduce en un 22% el tamaño de los tubérculos. El contenido de azúcares se reduce significativamente e incrementa la proporción de tubérculos deformes (Hide y Horroks, 1994). Se encuentra distribuida a nivel mundial atacando a gran número de plantas. La enfermedad es mas común en las regiones donde se cultiva papa (Hooker, 1981). *S. endobioticum* se ha registrado en África, Asia, Europa y en Norte y Sudamérica. En ciertas áreas, la diseminación de la enfermedad se ha contenido gracias a estrictas cuarentenas (Hooker, 1981). Verrugas o agallas tumorales se desarrollan en la base del tallo. Las agallas que crecen sobre el suelo son de color verde a café, y de color negro en su madurez.

Las agallas que crecen por debajo del suelo aparecen en la base de los tallos, estolones y en los ojos de los tubérculos. Los tubérculos se deforman o pueden ser remplazados completamente por las agallas. Las agallas subterráneas son de color blanco a café, y de color negro en su madurez (Hooker, 1981). Con base en esta información, los objetivos de esta investigación fueron identificar el o los agentes causales de la pudrición del tubérculo de papa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de muestreo

El valle del Mayo se localiza al sur del estado de Sonora, México y lo integran los municipios de Navojoa, Etchojoa y Huatabampo. La temperatura promedio es de 25.4°C y la precipitación anual de 389.5 mm. En febrero del 2011 y 2012, se recolectaron tubérculos de papa con síntomas de pudrición, en un campo con pH de 7, en Navojoa, Sonora.

Aislamiento

De los tubérculos con síntomas de agrietamiento, ruptura de peridermis y pústulas, se cortaron fragmentos de aproximadamente 2 cm³, se desinfestaron con hipoclorito de sodio al 1.5% durante 3 minutos y se enjuagaron con agua destilada estéril. Bajo condiciones asépticas, las muestras se maceraron con agua estéril en un mortero y el macerado se suspendió en 5 ml de agua estéril. Se colocó una gota de la suspensión en cajas de petri con medio de cultivo agua-agar para el caso de roña común (Schaad *et al.*, 2002), y para el caso de costra negra los cortes de 2 cm se colocaron directamente en cajas de petri con medio de cultivo PDA. Los otros dos patógenos no se intentaron sembrar en medio de cultivo ya que son parásitos obligados.

Caracterización morfológica

In vitro

Se registraron las características de las colonias creciendo en A-A y PDA a una temperatura ambiente de 28° C. El tipo de crecimiento colonial y micelial se estuvo registrando cada 24 horas.

Histopatología

Preparación de muestras para microscopía de luz

A fin de localizar signos del patógeno, se disectaron fragmentos de 2-3 cm³ de las lesiones que presentaron los tubérculos. Las muestras se fijaron en una mezcla de formaldehído, ácido acético glacial y etanol al 96% durante 48 horas a temperatura ambiente, y se lavaron con agua de la llave. Las muestras se deshidrataron gradualmente en etanol al 30, 50, 70, 85, 96 y 100% por un lapso de 4 horas en cada concentración de alcohol, se transfirieron a una mezcla de xilol absoluto:etanol absoluto (1:1) y a xilol absoluto durante 4 horas, y se incluyeron en Paraplast (SIGMA®) durante 24 a 48 horas. El material se cortó a 8 µm de grosor en un micrótopo rotatorio (Spencer American Optical). Los cortes se colocaron en un baño de flotación a 42°C con grenetina y se montaron en portaobjetos de vidrio. Posteriormente, se desparafinaron durante 20-30 minutos a 60°C y en 3 cambios de xilol absoluto y se hidrataron hasta etanol al 96% durante 3 minutos. Los cortes se tiñeron con Safranina O (SIGMA-ALDRICH®) preparada en metilcelosolve durante 24 horas y se lavaron con agua de la llave durante 60 minutos. Los cortes se diferenciaron y aclararon en una mezcla de etanol al 96% más ácido pícrico, se lavaron con etanol al 96% más amoníaco, y se deshidrataron con etanol al 100%. Adicionalmente, se contrastaron con verde rápido (Fast Green FCF SIGMA-ALDRICH®) durante 10 segundos, se lavaron con aceite de clavo para eliminar el exceso de colorante y se aclararon con unas gotas de aceite de clavo, xilol y etanol absoluto (López *et al.*, 2005). Los cortes se montaron en resina sintética y se examinaron con un microscopio compuesto (Velaquin®). Todo esto

se realizó en el laboratorio de histopatología del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo.

Identificación molecular

Material vegetal y cultivo *in vitro*

En septiembre del año 2011, se realizó un muestreo de tubérculos de papa (*Solanum tuberosum* L.) de la variedad Fiana con síntomas de pudrición similares a los producidos por la “sarna común” en una localidad representativa de la zona papera del Valle del Mayo, Navojoa, Sonora. En abril del año 2012 se realizó un segundo muestreo en la misma localidad anteriormente referida. Ambas muestras fueron trasladadas en su momento al laboratorio para su procesamiento y análisis. Después de lavar los tubérculos con agua y detergente, se hizo un raspado en las lesiones y se colocó en agua destilada, y a partir de esta mezcla, se sembró en medio de cultivo con agar nutritivo (AN) y se monitoreó el crecimiento bacteriano durante 2 semanas mediante observaciones al microscopio. Se incluyó un control negativo a partir de tubérculos sin síntomas.

Extracción de ácidos nucleicos y reacciones de PCR

El ADN fue extraído a partir de micelio de 7 días de cultivo, transfiriendo una porción de micelio a un tubo de centrifuga de 1.5 mL con 0.5 mL de agua destilada estéril la cual fue hervida a 96 °C durante 10 minutos y almacenada hasta su uso para PCR (Bukhalid y Loria, 1998). También se realizó extracción de ARN a partir de lesiones del tubérculo por el método comercial Trizol^{MR} (MRC) para el análisis de *S. subterranea*. Como control positivo se utilizó una muestra de papa con *S. acidiscabies* proporcionada por el CIDIR-Sinaloa del IPN. Se realizaron reacciones de PCR universal para bacterias con los oligos 8F 5'-agagtttgatcctggctcag-3' y 1492R 5'-ggttacctgttacgactt-3' (Schaad *et al.*, 2002.) los cuales amplifican un fragmento del gen ribosomal 16S de 1484 pb; y los oligos específicos para especies patogénicas de *Streptomyces*, Nf 5'-atgagcgcgacggaagccccgga-3' y Nr 5'-gcaggtcgtcacgaaggatcg-3' que amplifican el gen *nec I* con un producto esperado de 700 pb aproximadamente. Las reacciones de PCR con los oligos

8F/1492R se realizaron en un termociclador MJ Research con una mezcla de reacción en un volumen final de 25 μ L, cuyos componentes fueron: 1X de amortiguador de reacción, 200 μ M c/u dNTP's, 20 pmoles de cada oligonucleótido (antisentido y sentido), 1 unidad de *Taq* DNA polimerasa (Promega) y se completó el volumen con agua libre de nucleasas. El programa utilizado consistió en una temperatura de 94 °C durante 1 min, seguido de 35 ciclos a 94-50-72 °C durante 30-30-60 seg y una extensión final de 5 min a 72 °C. Las reacciones de PCR con los oligos Nf/Nr se realizaron en las mismas condiciones que los oligos 8F/1492R con la única diferencia de la temperatura de anillamiento la cual fue de 60 °C (Loria *et al.*, 2001). Los productos de las reacciones de PCR fueron separados por electroforesis en geles de agarosa a 1.5 %, y las bandas se observaron en un transiluminador de luz ultravioleta marca UVP y fueron fotografiadas. Para el análisis de *S. subterranea*, se realizaron reacciones de RT-PCR con los oligos Sps1/Sps2 cuyas secuencias son 5'-cctgggtgctgattgtctgtt-3' y 5'-cacgccaatggtagagacg-3' respectivamente. Los fragmentos amplificados por PCR con los primers 8F/1492R y Nf/Nr fueron secuenciados directamente y los resultados fueron comparados con las secuencias disponibles en el banco de genes (GenBank) del Centro Nacional de Información Biotecnológica (NCBI) del Instituto Nacional de Salud (NIH) de E.E.U.U.

Pruebas de patogenicidad

Después de haber purificado el patógeno se transfirió a cajas de petri con medio de cultivo YME y se incubó a 28°C durante 15 días. Se preparó una solución con una concentración de 1×10^6 unidades formadoras de colonias mL^{-1} (Han *et al.*, 2005). En la prueba de inoculación se utilizaron 20 tubérculos de la variedad fiana, se desinfectaron con hipoclorito de sodio al 1.5% durante 3 minutos y después se enjuagaron con agua destilada estéril y posteriormente se sumergieron en la concentración por 15 minutos. El testigo se sumergió en agua destilada estéril. Se sembraron en macetas de plástico, el suelo se desinfectó con vapor de agua por 2 horas en autoclave a 15 lbs. Posteriormente se pusieron en invernadero con una temperatura media de $25^\circ\text{C} \pm 3$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aislamiento

De los aislamientos que se hicieron (5 en A-A y 5 en PDA) y donde hubo crecimiento de colonias y micelio, fue solamente en A-A y se observaron colonias translúcidas y pequeñas al principio (1-7 días), y a partir de los 15 días se empezó a ver crecimiento de micelio. Las características morfológicas de *Streptomyces scabies* coincidieron con las reportadas por Hooker, (1981). En las otras 5 cajas con PDA no se registró crecimiento de otros hongos.

Caracterización morfológica

Características culturales

La colonia de la bacteria mostró crecimiento lento, las primeras colonias aparecieron a los 7 días. Inicialmente eran colonias pequeñas blanquecinas translúcidas y después se tornaban más blancas (Figura 1.) El crecimiento de micelio se observó hasta los 15 días.

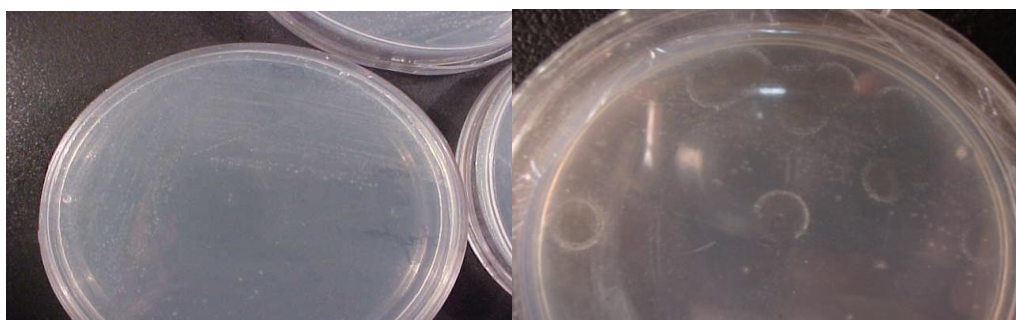


Figura 1. Crecimiento de *S. scabies* en medio de cultivo AA aislado de tubérculos de papas colectados en Navojoa, Sonora.

In vitro

Las características morfológicas de *Streptomyces scabies* coincidieron con las reportadas por Hooker, (1981). Los conidióforos eran del tipo istmo atenuado, enroscados en espiral y con ramificaciones (Figura 2).



Figura 2. Conidióforos de *Streptomyces scabies*, enroscados en espiral y con ramificaciones, aislados de tubérculos de papas colectados en Navojoa, Sonora.

Histopatología

No se observaron signos del patógeno en las muestras evaluadas, coincidiendo con Hooker, 1981, quien indica que los filamentos miceliales son pequeños y muy difíciles de detectar en el tejido, debido a que su crecimiento inicial es intercelular e introduce los filamentos pequeños intracelularmente hasta ocasionar la hipertrofia y el vaciado de células en materiales susceptibles. Es posible que se hayan analizado tubérculos en donde las lesiones causadas por el patógeno hayan estado en una etapa muy avanzada de daño (Figura 3).

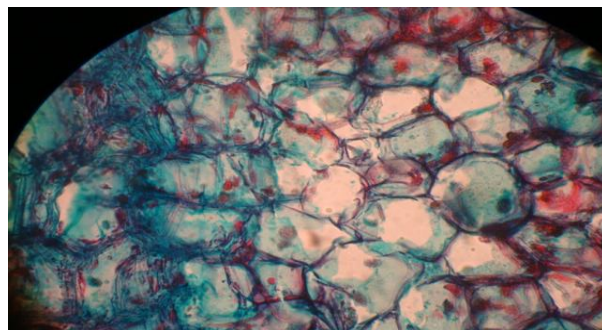


Figura 3. Corte transversal de tejido de papa con síntomas de roña, colectados del Valle del Mayo, Sonora.

Identificación molecular

Se logró la amplificación de ADN del gen 16S en varias colonias bacterianas, aisladas a partir de tubérculos con lesiones de pudrición, y el ADN del control positivo con los primers 8F/1492R (Fig. 4A). Estos primers son universales y son

utilizados para amplificar el gen 16S de todas las bacterias, sin embargo también dieron la misma reacción con ADN del cloroplasto de plantas de papa (datos no mostrados). En este caso podemos asegurar que el fragmento del ADN amplificado no pertenece al cloroplasto, debido a que se utilizó como ADN molde en las reacciones de PCR un lisado de bacterias crecidas *in vitro*. Se obtuvo la talla esperada de 1484 pb aproximadamente (Fig. 4A). En la Fig. 4B se observa también la amplificación en una de las muestras bacterianas y el control positivo con los primers Nf/Nr obteniéndose la talla esperada de 700 pb aproximadamente. De acuerdo con Loria *et al.* (2001) los primers Nf/Nr solamente amplifican especies de *Streptomyces* patogénicas. Puede observarse algo de inespecificidad en el caso del control positivo, ya que presenta al menos 4 fragmentos, sin embargo, uno de ellos, corresponde a la talla esperada. No se tuvo ninguna amplificación con los oligos para *S. subterranea*.

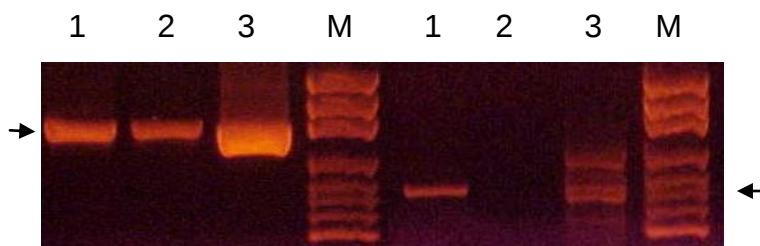


Figura 4. Amplificación por PCR a partir de bacterias aisladas de tubérculos de papa. A. Amplificación con los primers 8F/1492R, la flecha señala una talla aproximada de 1484 pb, y B. Amplificación con los primers Nf/Nr, la flecha señala un producto de aproximadamente 700 pb. 1 y 2 son productos obtenidos a partir de colonias bacterianas 3 es ADN del control positivo de *S. acidiscabies*; y M es el marcador de peso molecular ladder-200 de Axygen.

Los fragmentos amplificados con ambos juegos de oligos de las muestras problema y del control positivo, fueron secuenciados y comparados con las secuencias disponibles en el Banco de Genes del NCBI del NIH de los E.E. U.U. (Altschul *et al.*, 1997). En el caso de las secuencias de las muestras amplificadas con los oligos 8F/1292R, se encontró un 99% de similitud con secuencias de *S. scabies*, *S. turgidiscabies*, *S. europaeiscabies* y otras especies, en cambio las secuencias obtenidas con los oligos Nf/Nr tuvieron un 99% de similitud con

secuencias de *S. scabies*, *S. turgidiscabies* y *S. acidiscabies*. De acuerdo con lo anterior se confirmaron los resultados de las observaciones al microscopio y del PCR que aseguran la presencia de *Streptomyces spp* en muestras de papa con “pudrición”, pero sólo a nivel de género, ya que no pudimos identificar la especie involucrada en la región de estudio. De acuerdo con Loria *et al.* (2001), los oligos Nf/Nr amplifican solamente especies de *Streptomyces* patogénicas, lo cual corresponde a las muestras utilizadas que presentaban daños de “pudrición”.

Pruebas de patogenicidad

De los 20 tubérculos inoculados, el 75% mostraron los síntomas iniciales típicos de la roña común, que son pequeñas manchas rojizas y parduzcas en la epidermis del tubérculo, a los 15 días después de la inoculación (Figura 4). El patógeno se reaisló del tejido infectado en la inoculación y sus colonias y características morfológicas se compararon con las originales y coincidieron con las descritas por Hooker, 1981. Los tubérculos sumergidos en agua destilada estéril no presentaron ningún síntoma de la enfermedad. Lo anterior muestra que el método de inoculación fue exitoso y coincide con la reportado por Han *et al.*, 2005.



Figura 5. Síntomas en tubérculos de papa inoculados con *S. scabies* a los 15 días después de la inoculación.

CONCLUSIONES

Las diferentes maneras de identificación que se realizaron en este trabajo, mostraron que *Streptomyces scabies* es el único agente causal de esta enfermedad en el valle del Mayo, Sonora. Por medio de PCR se identificó a nivel de género pero por medio de identificación morfológica se llegó a nivel de especie, ya que se encontró similitud con *S. acidiscabies*, *S. acidiscabies*, *S. europaeiscabies*, pero Gouws, 2006, reporta que *S. acidiscabies* se desarrolla en suelos con pH menores de 5.6 y *S. europaeiscabies* se encuentra solamente en Europa.

LITERATURA CITADA

- Altschul, S.F., T.L. Madden, A.A. Schäffer, J. Zhang, Z. Zhang, W. Miller, and D.J. Lipman 1997. Gapped BLAST and PSI-BLAST: a new generation of protein database search programs. *Nucleic Acids Res.* 25:3389-3402.
- Bukhalid, R.A., S.Y. Chung, and R. Loria. 1998. *Nec I*, a gene conferring a necrogenic phenotype, is conserved in plant pathogenic *Streptomyces* species and linked to a transposase pseudogene. *Mol. Plant-Microbe Interact.* 11:960-967.
- Carling, D. E., Leiner, R. H, and Wesphale, P.C. 1989. Symptoms, sign and yield reduction associated with *Rhizoctonia solani* AG-3. *American Potato Journal.* 66: 693-701.
- Fernández, L. L., Apodaca, S. M., Santos, C. M., Méndez, L. J., Leyva, L. N. 2010. Identificación y cuantificación de *Spongospora subterranea* mediante análisis de PCR en tubérculos y suelos de cultivo de papa. Congreso Nacional de papa 2010. Tapalpa, Jalisco, Mexico.

- Han, J. S., Cheng, J. H., Yoon, T. M., Son, J., Rajkarnikar, A., Kim, W. G., Yoo, T. D., Yang, Y. Y. and Suh, J. W. 2005. Journal of Applied Microbiology. 99: 213-221.
- G. A., and Horrocks, J. K. 1994. Influence of stem canker (*Rhizoctonia solani* Kühn) on tuber yield, tuber size, reducing sugars and crisps colour in cv. Record. Potato Research. 37: 43-49.
- Hooker, W. J. 1981. Compendium of Potato Diseases. The American Phytopathological Society. APS Press. Minnesota, USA. 33-36 p.
- Hughes, I. K. 1980. Powdery scab (*Spongospora subterranea*) of potatoes Queensland: occurrence, cultivar susceptibility, time of infection, effects of soil pH, chemical control and temperature relations. Aust. J. Husb. 20: 625-632.
- López, C. M., Márquez, G. J., Murguía, S. G. 2005. Técnicas para el estudio del desarrollo en angiospermas. Facultad de Ciencias, UNAM, México. 178 p.
- Loria, R., C.A. Clark, R.A. Bukhalid, and B.A. Fry. 2001. Gram-positive bacteria. Streptomyces. In: Schaad, N.W. et al. Laboratory Guide for Identification of Plant Pathogenic Bacteria. 3rd edition. APS Press. USA. Pp 236-249.
- Mendoza, Z. C. 1990. Diagnostico de las Enfermedades Fungosas. Parasitología Agrícola. UACH. Chapingo, México. 104 p.
- Nortje, P., Kleingeld, C., and Visser, A. 2000. Potato breeding, evaluation and commercialization in South Africa and opportunities for Australia. Adelaide, Australia. 19-25 p.
- Ramos, S. G. 1993. Etiología, distribución, histopatología y control de la roña polvorienta de la papa en los valles altos de México. Tesis Profesional. Parasitología Agrícola. UACH. Chapingo, México. 20-22 p.
- Rete, C. A., Espinoza, M. M., Santos, C. M., Méndez, L. J., Félix, G.R., Leyva, L. N. 2010. Identificación y caracterización de *Streptomyces spp.* en el cultivo

de papa en Sinaloa. Congreso Nacional de papa 2010. Tapalpa, Jalisco, México.

Rich, A. E. 1983. Potato Disease. Academic press. New York, USA. 61-69 p.

Rubio, M. P. 2010. Control químico de roña común *Streptomyces scabies* en el cultivo de papa. Departamento de desarrollo y servicio tecnológico de Química Agronómica de México. Chihuahua, Chihuahua México.

Schaad, N.W., Jones, J.B., and Chun, W. 2002. Laboratory Guide for Identification of Plant Pathogenic Bacteria. American Phytopathological Society. Third Edition. APS Press. 373 p.

SIAP. 2010. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. www.siap.gob.mx. Fecha de consulta 20 mayo 2012.

Smith, I. M., Archer, S. A., Dunes, J., Lelliot, R. A., and Phillips, D. H. 1992. Manual de Enfermedades de las Plantas. Mundi Prensa. Tr. García, F. A. Madrid, España. 287, 296, 570-571 p.

CAPITULO II. MANEJO QUÍMICO DE *Streptomyces scabies* EN PAPA, EN EL VALLE DEL MAYO, SONORA, MÉXICO.

Fernando **Garay-Lizárraga**^{1*}, Gerardo **Leyva-Mir**¹, Omar G. **Alvarado-Gómez**²

¹Protección Vegetal, Universidad Autónoma de Chapingo. Carretera México- Texcoco. Km. 38.5, Texcoco, Estado de México. ²Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León. Avenida Universidad s/n, Cd. Universitaria, San Nicolás de los Garza, Nuevo León.

Palabras clave: Muestreo, *Streptomyces scabies*, papa, control

RESUMEN

Con la finalidad de encontrar una solución a daño causado por *S. scabies* se realizó un experimento en el Valle del Mayo, Sonora, para evaluar diferentes productos químicos en campo, haciendo una primera aplicación a la hora de la siembra y una segunda aplicación en drench a los 45 días después de la siembra. De los tratamientos utilizados el que menor porcentaje de infección obtuvo fue el fluazinam, aunque no mostró diferencia significativa con oxitetraciclina + streptomycin, clorotalonil y mancozeb ya que obtuvieron porcentaje de infección muy similares.

ABSTRACT

In order to find a solution to damage caused by *S. scabies*, an experiment in the Mayo Valley, Sonora, was performed to evaluate different chemicals in the field, making a first application when planting and a second drench application at 45 days after sowing. Of the treatments used the lower rate of infection was obtained with fluazinam, however it didn't show significant difference with oxytetracycline + streptomycin, chlorothalonil and mancozeb, as percentage of infection were very similar.

INTRODUCCIÓN

La papa [*Solanum tuberosum* L.] ocupa el cuarto lugar entre los primeros cultivos alimenticios del mundo y es superada solamente por gramíneas como trigo, arroz y maíz (Hooker, 1981). La producción de papa en los países desarrollados, especialmente en Europa y en la Comunidad de Estados Independientes, ha disminuido en promedio un 1 por ciento al año en los últimos 20 años. Sin embargo, la producción en los países en desarrollo ha aumentado a una tasa promedio del 5 por ciento anual. Los países asiáticos, en particular China y la India, han impulsado este crecimiento. En 2005, la participación de los países en desarrollo en la producción mundial de papas fue del 52 por ciento, con lo que superó la del mundo desarrollado. Se trata de todo un acontecimiento, ya que apenas hace 20 años los países en desarrollo apenas producían poco más del 20 por ciento. Aun así, hoy en día la producción y el consumo mundial de papas crece a tasas inferiores que la población. Los principales usos a que se destina la producción de papa son para consumo en fresco, industria y en menor proporción follaje para ganado (FAOSTAT, 2010). En 2010 la superficie sembrada en México de esta solanácea fue de 55,645 ha, distribuidas principalmente en los estados de Sonora, Sinaloa, Veracruz, Puebla, Chihuahua, Estado de México y Nuevo León (SIAP, 2010). El estado de Sonora ocupa el primer lugar en superficie sembrada en México con 12,212 ha, de las cuales 5,192 ha están en el Valle del Mayo (SIAP, 2010). La papa es altamente susceptible a una gran amplitud de agentes patógenos, que abarca a todos los grupos taxonómicos (viroides, virus, fitoplasmas, bacterias, hongos, nematodos), que de una u otra manera atacan a todas sus partes, y que directa o indirectamente afectan o repercuten en el rendimiento y la calidad del producto. Además, es apetecida por insectos de todo tipo a nivel de poblaciones (el escarabajo de colorado en Norteamérica, y pulgones, mosca blanca, chicharritas, minadores, palomillas, etc.). Por eso se considera a la papa como la especie comestible cultivada que más plaguicidas requiere (Lozoya, 2010). Hooker (1981), señala que hay patógenos que afectan la calidad del tubérculo con síntomas muy parecidos como: *Streptomyces scabies*, *Spongospora subterranea*, *Synchytrium endobioticum* y *Rhizoctonia solani*.

Streptomyces scabies también conocida como roña o sarna común, ataca principalmente a los tubérculos de la papa afectando la calidad de la cosecha de manera significativa, aunque no afecta de igual manera la cantidad de tubérculos cosechados (Rubio, 2010). Produce síntomas que son lesiones normalmente circulares, de 5-8 mm de diámetro, pero pueden ser irregulares y más grandes cuando se unen las infecciones. El tejido afectado varía de claro a café con apariencia de costra (Hooker, 1981). Nortje *et al.*, 2000, menciona que la roña común es el principal factor limitante en la producción de papa en Sudáfrica. En los últimos ciclo agrícolas los productores del sur de Sonora han reportado incrementos importantes en daños causados a la calidad del tubérculo por *S. scabies* (Fuentes *et al.*, 2011). En la zona agrícola del norte de Sinaloa se cree que la sarna común causada por alguna especie de *Streptomyces* patógena, fue la causante de severas pérdidas (cifras no especificadas) de producción de papa durante el ciclo agrícola 2008-2009 (Rete *et al.*, 2010). En base con esta información el objetivo de este trabajo fue evaluar diferentes productos químicos para el control de este patógeno.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento fue realizado en un campo de un productor cooperante, localizado en el Valle del Mayo, al oeste de Navojoa, Sonora, sus coordenadas son 27 04 51 N, 109 26 43 W, a una altura de 33 msnm. La parcela tiene antecedentes del problema. Se utilizó semilla de la variedad Fiana con un porcentaje de severidad del 20-30%. El diseño experimental empleado fue de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones (Castillo, 2007). La unidad experimental consistió de 4 surcos de 10 metros de largo. La densidad de siembra fue de 4 tubérculos por metro lineal. La superficie de cada unidad experimental fue de 21.6 m², y la del total del experimento fue de 604.8 m². Las condiciones bajo las que se desarrolló el cultivo fueron de una temperatura máxima de 33°C y mínima de 22°C, con ausencia de lluvia. La fertilización se realizó al momento de la siembra, correspondiendo la dosis a la utilizada por el productor, N-180, P-140, K-200, Mg-32, Az- 172, Zn-6, Mn-7, Fe-6, B-2. El riego fue por aspersión. Los productos

evaluados fueron: i) mancozeb (Wilson *et al.*,1999), ii) clorotalonil, iii) romel (a base de algunas bacterias), iv) fluazinam (Wilson *et al.*,1999), v) hidróxido de cobre (Gutiérrez *et al.*, 2010), vi) oxitetraciclina + streptomycin (Valenzuela *et al.*, 2010), vii) un testigo sin aplicación, y viii) tratamiento semilla libre del patógeno con tratamiento convencional del productor (streptomycin + oxitetraciclina, fluaxistrobin, procloraz y furadan (para plagas del suelo). Las dosis utilizadas fueron las recomendadas por el fabricante. La aplicación de los tratamientos se hizo al momento de la siembra con una mochila de aspersión manual de la marca Swiss Mex®. y una segunda aplicación se realizó en drench a los 45 días después de la siembra, se realizó a las 8 de la mañana para evitar que el viento interfiriera con la aplicación. El muestreo se realizó a la cosecha (115 días). Se tomaron 20 tubérculos al azar por cada repetición por tratamiento. Para determinar el porcentaje de infección se utilizó la escala elaborada por James, 1971 (citado por Ramos, 1993). (Cuadro 1).

Cuadro 1. Escala para evaluar el porcentaje de infección de *S. escabies* elaborada por James, 1971 (citada por Ramos, 1993).

CATEGORIA	DESCRIPCION
0	Tubérculos sin daño.
1	1% de la superficie del tubérculo con daño.
2	5% de la superficie del tubérculo con daño.
3	10% de la superficie del tubérculo con daño.
4	25% de la superficie del tubérculo con daño.
5	Más 50% de la superficie del tubérculo con daño.

Los índices de cada tubérculo en cada repetición se transformaron mediante la fórmula de Towsand y Heuberger (T y H) para obtener el porcentaje de infección para cada tratamiento (citada por Ramos, 1993).

Fórmula de Towsand y Heuberger (T y H) para obtener el porcentaje de infección (citada por Ramos, 1993).

$$P = \frac{\text{SUMAT } (n \times v)}{\text{Cat. Mayor} \times N} \times 100$$

Donde: **P**= porcentaje de infección; **n**= número de tubérculos por categoría; **v**= valor numérico de cada categoría; **N**= número de tubérculos por muestra.

Análisis Estadístico

A los porcentajes de infección se les realizaron los análisis estadísticos incluyendo análisis de varianza usando el modelo lineal correspondiente al diseño experimental de bloques completos al azar, y comparaciones múltiples de medias mediante el método de Tukey con nivel de significancia al 5% ($\alpha=0.05$), para determinar si existieron diferencias entre cada uno de los tratamientos.

RESULTADOS Y DISCUSION

Se observó que no hubo diferencia significativa entre año ($P=0.7954$), ni tampoco para la interacción tratamiento por año ($P=0.9967$), pero si se observó significancia entre tratamientos ($P=<0.001$). El tratamiento que mostró menor porcentaje de infección fue el fluazinam con una media de infección a través de los dos años de 49.62%, mostrando diferencia significativa ($P=<0.001$) con respecto al testigo, que obtuvo una media de infección de 73.68%. La oxitetraciclina + streptomicina, clorotalonil y mancozeb, le siguieron con una media de infección de 52.12%, 51.37% y 52.75%, respectivamente, aunque no hubo diferencia significativa entre estos tratamientos. También se puede observar que el tratamiento donde se usó semilla sin síntomas de la enfermedad y se le dio el tratamiento tradicional del productor cooperante, hubo diferencia significativa ($P=<0.001$) con respecto al resto de los tratamientos, con una media de 21.5% a

través de los 2 años. Lo anterior coincide con Wilson *et al.*, 1999 donde reportan que encontraron significancia ($P < 0.001$) entre los niveles de la enfermedad en semilla sembrada y los niveles de semilla cosechada con síntomas. El mismo autor también reporta que obtuvo los mejores resultados con fluazinam (0.12%) y mancozeb (0.18%). Por otra parte, Rubio *et al.*, 2010 reporta que sus mejores controles los obtuvo con Gentamicina+Oxitetraciclina, del grupo de los antibióticos, superando a Fluazinam y Pentacloronitrobenzeno, del grupo de los fungicidas. Somani (1988) y Fulton (1994) reportaron el uso de sulfato de cobre, formaldehído, cloruro de mercurio, bórax, ácido bórico, tetraciclina y quintoceno. Fluazinam, flusulfamide, fludioxonil y mancozeb, han proporcionado un control en Australia (Wilson *et al.*, 1999; Pung & Cross, 2000). Sin embargo De Klerk y Engelbrecht (1996), reportan que el único tratamiento a la semilla que ha mostrado promesa para el control de la sarna común en Sudáfrica, es flusulfamide en inmersión antes de la siembra. En el cuadro 2 se observan las medias del porcentaje de infección de *S. scabies* en tubérculos de papa, en el Valle del Mayo, Sonora. 2010-2012.

Cuadro 2. Comparaciones múltiples de medias por el método de Tukey para el porcentaje de infección de *S. scabies* en tubérculos de papa, en el Valle del Mayo, Sonora. 2010-2012.

TRATAMIENTO	DOSIS P.C./ha	MEDIAS DE % INFECCIÓN		
		2010	2011	COMBINADO
Semilla sin síntomas	Trat. Prod.	20.5 e	22.5 c	21.5 d
Fluazinam	2 lts	49.5 d	49.75 b	49.62 c
Streptomicina + oxitetraciclina	800 grs	51.25 cd	51 b	51.12 c
Clorotalonil	6 lts	51.5 bcd	51.25 b	51.37 c
Mancozeb	3 lts	52.5 bcd	53 b	52.75 bc
Hidróxido cúprico	4 lts	54.25bcd	54.25 b	54.25 bc
Romel	1 ml/lit de agua	57 bc	56.75 b	56.87 b
Testigo	Agua	73.5 a	73.87 a	73.68 a
Media		51.9	52.09	52
CV		4.7	6.4	5.6
DMS		5.9	8.04	4.7

Medias dentro de columnas con letras iguales no son diferentes estadísticamente, con nivel de significancia al 5% ($\alpha=0.05$).

CONCLUSIONES

En general todos los tratamientos se comportaron de la misma manera ya que no hubo diferencia significativa entre tratamientos y entre años, aunque los que menor porcentaje de infección obtuvieron fueron: fluazinam, oxitetrociclina + streptomina y clorotalonil, con una media de porcentaje de infección de: 49.75%, 51% y 51.25%, respectivamente. Por otra parte es importante resaltar que el tratamiento de semilla sin síntomas de la enfermedad mostró 22.5% de infección, lo que nos indica que una buena manera de minimizar daños en cosecha, es utilizar semilla certificada libre de la enfermedad. Para llevar un buen manejo de esta enfermedad se tienen que tomar en consideración muchos factores como: densidad de inóculo en el suelo, años consecutivos sembrando papa, humedad del suelo, pH del suelo, temperatura, variedad, y tratar de utilizar todas las medidas de control disponibles como: a) productos químicos (Terman *et al.*, 1948; Singh & Soni, 1987), b) manejo del agua (Lapwood *et al.*, 1973), c) resistencia varietal (Bjor & Roer, 1980; Marais y Vorster, 1988; Pemberton, 1994), d) pH y fertilización (McCreary, 1967; Williams *et al.*, 1971), e) la rotación de cultivos y abonos verdes (Pemberton, 1994) y f) control biológico (Hayashido *et al.*, 1988; Gouws y Wehner, 2004). Se pudo observar en este trabajo que la utilización de una sola medida de control no proporciona controles aceptables de esta enfermedad, ya que integrando todos estos métodos se pueden obtener resultados más favorables.

LITERATURA CITADA

- Castillo, M. E. 2007. Introducción al SAS para Windows. Tercera edición. Universidad Autónoma de Chapingo. Departamento de Parasitología Agrícola. 88-92 p.
- Fuentes, D. G., Valenzuela, V. J.M. 2011. Monitoreo de la roña de la papa en campos comerciales del Sur de Sonora. Campo experimental Norman E. Borlaug-CIRNO-INIFAP. Cd. Obregón, Sonora, México. 10 p.
- Fulton, D. 1994. Control of common scab *via* irrigation. Pages 48-58 *In: Integrated control of common scab: A compilation of working documents* by C. Wilson, D. Fulton & B. Pemberton.
- Gutiérrez, I. A. T., Sánchez, P. J. R., Ramírez, D. J. F., Flores, N. A., González, C. E. 2010. Sensibilidad In Vitro de *Streptomyces scabies* (Lambert & Loria, 1989) a los Ácidos Orgánicos y al Oxiclورو de Cobre+Mancozeb. Universidad Autónoma de México. 2 p.
- Hooker, W. J. 1981. Compendium of Potato Diseases. The America Phytopathological Society. APS Press. Minnesota, USA. 33-36 p.
- Nortje, P., Kleingeld, C., and Visser, A. 2000. Potato breeding, evaluation and commercialization in South Africa and opportunities for Australia. Adelaide, Australia. 19-25 p.
- Pung, H. & Cross, S. 2000. Common scab – Incidence on seed potatoes and seedborne disease control. Pages 81-84 *In: C. M. Williams & L. J. Walters* (eds). *Potatoes 2000 “ Linking research to practice”*. Australian Potato Research, Development and Technology Transfer Conference, 31 July – 3 August 2000, Adelaide, South Australia.

- Ramos, S. G. 1993. Etiología, distribución, histopatología y control de la roña polvorienta de la papa en los Valles Altos de México. Tesis profesional. Depto. de Parasitología Agrícola. Chapingo, México. 28 p.
- Rete, C. A., Espinoza, M. M., Santos, C. M., Méndez, L. J., Félix, G.R., Leyva, L. N. 2010. Identificación y caracterización de *Streptomyces spp.* en el cultivo de papa en Sinaloa. Congreso Nacional de papa 2010. Tapalpa, Jalisco, México. 1-2 p.
- Rubio, M. P. 2010. Control químico de roña común *Streptomyces scabies* en el cultivo de papa. Departamento de desarrollo y servicio tecnológico de Química Agronómica de México. Chihuahua, Chihuahua, México. 1-2 p.
- SIAP. 2010. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. www.siap.gob.mx. Fecha de consulta 20 mayo 2012.
- Somani, A. K. 1988. Control of black scurf (*Rhizoctonia solani*) and common scab (*Streptomyces scabies*) on potato (*Solanum tuberosum*) with boric acid. *Indian Journal of Agricultural Science* **58**: 693-698
- Wilson C. R., Ransom L. M. and Pemberton B. M. 1999. The relative importance of seed- born inoculums to common scab disease of potato and the efficacy of seed tuber and soil treatments for disease control. Tasmanian Institute for Agricultural Research. *J. Phytopathology* **147**: 13-18.

CONCLUSIONES GENERALES

Las diferentes maneras de identificación que se realizaron en este trabajo, mostraron que *Streptomyces scabies* es el agente causal de la pudrición del tubérculo de la papa, en el Valle del Mayo, Sonora. Por medio de PCR se identifico a nivel de genero pero por medio de identificación morfológica se llegó a nivel de especie, ya que se encontró similitud con *S. acidiscabies*, *S. acidiscabies*, *S. europaeiscabies*, pero Gouws, 2006, reporta que *S. acidiscabies* se desarrolla en suelos con pH menores de 5.6 y *S. europaeiscabies* se encuentra solamente en Europa.

En general todos los tratamientos basados en compuestos químicos, se comportaron de manera similar, ya que no hubo diferencia significativa entre tratamientos y entre años, aunque los que menor porcentaje de infección obtuvieron fueron: fluazinam, oxitetrociclina + streptomicina, y clorotalonil, con una media de porcentaje de infección de: 49.75%, 51% y 51.25%, respectivamente.

Por otra parte es importante resaltar que el tratamiento de semilla sin síntomas de la enfermedad, mostró 22.5% de infección, lo que nos indica que una buena manera de minimizar daños en cosecha, es utilizar semilla certificada libre de la enfermedad.

Para llevar un buen manejo de esta enfermedad se tienen que tomar en consideración muchos factores como: densidad de inóculo en el suelo, años consecutivos sembrando papa, humedad del suelo, pH del suelo, temperatura, variedad, y tratar de utilizar todas las medidas de control disponibles como a) productos químicos (Terman *et al.*, 1948; Singh & Soni., 1987), b) manejo del agua (Lapwood *et al.*, 1973), c) resistencia varietal (Bjor & Roer, 1980; Marais y Vorster, 1988; Pemberton, 1994), d) pH y fertilización (McCreary, 1967; Williams *et al.*, 1971), e) rotación de cultivos y abonos verdes (Pemberton, 1994) y f) control biológico (Hayashido *et al.*, 1988; Gouws y Wehner, 2004), ya que se pudo observar en este trabajo que la utilización de una sola medida de control no

proporciona controles aceptables de esta enfermedad, e integrando todos estos métodos se pueden obtener resultados más favorables.

LITERATURA CITADA EN INTRODUCCION GENERAL

Adams, M. J. & Lapwood, D. H. 1978. Studies on the lenticel development, surface microflora and infection by common scab (*Streptomyces scabies*) of potato tubers growing in wet and dry soils. *Annals of Applied Biology* **90**: 335-343.

Alivizatos, A. S. & Pantazis, S. 1992. Preliminary studies on biological control of potato common scab caused by *Streptomyces* sp. Pages 85-92 *In*: E. S. Tjamos (ed.) *Biological control of plant diseases*. Plenum Press, New York.

Archuleta, J. G. & Easton, G. D. 1981. The cause of deep-pitted scab of potatoes. *American Potato Journal* **58**: 385-392.

Babcock, M. J., Eckwall, E. C. & SchotteL, J. L. 1993. Production and regulation of potato-scab-inducing phytotoxins by *Streptomyces scabies*. *Journal of General Microbiology* **139**: 1579-1586.

Bjor, T. & Roer, L. 1980. Testing the resistance of potato varieties to common scab. *Potato Research* **23**: 33-47.

Booth, R. H. 1970. Testing varietal reaction of potatoes to common scab (*Streptomyces scabies*) under controlled conditions. *Journal of the National Institute of Agriculture and Botany* **12**: 119-123

Bouchek-Mechiche, K., Pasco, C., Andrivon, D. & Jouan, B. 2000. Differences in host range, pathogenicity to potato cultivars and response to soil temperature among

Streptomyces species causing common and netted scab in France. *Plant Pathology* **49**: 3-10.

Carling, D. E., Leiner, R. H, and Wesphale, P.C. 1989. Symtoms, sing and yield reduction associated with *Rhizoctonia solani* AG-3. *American Potato Journal*. 66: 693-701.

Davis, J. R., Garner, J. G. & Callihan, R. H. 1974. Effects of gypsum, sulfur, terraclor and terraclor super-X for potato scab control. *American Potato Journal* **51**: 35-43.

Davis, J. R., McMaster, G. M., Callihan, R. H., Garner, J. G. & McDole, R. E. 1974. The relationship of irrigation timing and soil treatments to control potato scab. *Phytopathology* **64**: 1404-1410.

De klerk, A. & Engelbrecht, S. 1996. Chloropicrin soil fumigation for the control of common scab of potatoes in South Africa. Pages 12-14 *In: Proceedings of the South African Society for Crop Production Congress*, Bloemfontein, 23-25 January 1996.

Dippenaar, B. J. 1933. Environmental and control studies of the common scab disease of potatoes caused by *Actinomyces scabies* (Thaxt.) Guss. *Union of South Africa, Department of Agriculture Science Bulletin* **136**: 1-78.

doering-saad, C., Kämpfer, P., Manulis, S., Kritzman, G., Schneider, J., Zakrzewska-Czerwinska, J., Schrempf, H. & Barash, I. 1992. Diversity among *Streptomyces* strains causing potato scab. *Applied and Environmental Microbiology* **58**: 3932-3940.

Doidge, E. M. & BottomleY, A. M. 1931. A revised list of diseases occurring in South Africa. *Botanical Survey of South Africa, Memoir No.* **11**: 1-78.

- Doidge, E. M., Bottomley, A. M., van der plank, J. E. & PAUER, G. D. 1953. A revised list of plant diseases in South Africa. Union of South Africa, Department of Agriculture Science Bulletin **346**: 1-122.
- Dowley, L. J. 1972. Reliability of methods of assessing the degree of tuber attack by common scab of potatoes. *Potato Research* **15**: 263-265.
- Elesaway, A. A. & Szabo, I. M. 1979. Isolation and characterization of *Streptomyces scabies* strains from scab lesions on potato tubers. Designation of the neotype strain of *Streptomyces scabies*. *Acta Microbiologica Academiae Scientiarum Hungaricae* **26**: 311-320.
- Emilsson, B. & Gustafsson, N. 1953. Scab resistance in potato cultivars. *Acta Agricultura Scandinavica* **3**: 33-52.
- Erickson, H. T. 1960. Potato scab control in organic soils. I. Initial response to PCNB. *American Potato Journal* **37**: 18-22.
- Faostat. 2010. Food and Agriculture Organization of the United Nations. www.faostat.fao.org/. Fecha de consulta 5 de Agosto 2012.
- Fuentes, D. G., Valenzuela, V. J.M. 2011. Monitoreo de la roña de la papa en campos comerciales del Sur de Sonora. Campo experimental Norman E. Borlaug-CIRNO-INIFAP. Cd. Obregón, Sonora, México
- Fry, B. A. & Loria, R. 2002. Thaxtomin A: evidence for a plant cell wall target. *Physiological and Molecular Plant Pathology* **60**: 1-8.
- Gouws, R. & Wehner, F. C. 2004. Biofumigation as alternative control measure for common scab on seed potatoes in South Africa. *Agroindustria* **3**: 5-8.

- Gouws. R. 2006. Etiology and integrated control of common scab on seed potatoes in South Africa. University of Pretoria, Pretoria, South Africa. 118 p.
- Gorter, G. J. M. A. 1977. Index of plant pathogens and the diseases they cause in cultivated plants in South Africa. Department of Agricultural Technical Services, Plant Protection Research Institute Science Bulletin **392**: 1-177.
- Hayashido, S., Chol, M., Nanri, N. & Miyaguchi, M. 1988. Production of potato common scab-antagonistic biofertilizer from swine feces with *Streptomyces albidoflavus*. *Agricultural and Biological Chemistry* **52**: 397-402.
- Heinamies, H. & Seppanen, E. 1971. Morphological, physiological and pathogenic properties of potato scab organism in Finland. *Annales Agriculturae Fenniae* **10**: 174-180.
- Hide, G. A., and Horrocks, J. K. 1994. Influence of stem canker (*Rhizoctonia solani* Kühn) on tuber yield, tuber size, reducing sugars and crisps colour in cv. Record. *Potato Research*. 37: 43-49.
- Hooker, W. J. 1981. Compendium of Potato Diseases. The American Phytopathological Society. APS Press. Minnesota, USA. 33-36 p.
- Hooker, W. J. & Kent, G. C. 1946. Infection studies with *Actinomyces scabies*. *Phytopathology* **36**: 388–389.
- Hughes, I. K. 1980. Powdery scab (*Spongospora subterranea*) of potatoes Queensland: occurrence, cultivar susceptibility, time of infection, effects of soil pH, chemical control and temperature relations. *Aust. J. Husb.* 20: 625-632.
- Janse, J. D. 1988. A *Streptomyces* species identified as the cause of carrot scab. *Netherlands Journal of Plant Pathology* **94**: 303-306.

- Jellis, G. J. 1977. The relative importance of host and environment in determining the incidence and severity of lesions of common scab (*Streptomyces scabies*) on potato. *Potato Research* **20**: 295-301.
- Jones, L. R. & Edson, A. W. 1901. Potato scab experiments of 1901. *Vermont Agricultural Experiment Station, 14th Annual Report*: 231-235.
- Keinath, A. P. & Loria, R. 1989b. Management of common scab of potato with plant nutrients. Pages 152-166 In: W. A. Engelhard (ed.). *Soilborne plant pathogens: Management of diseases with macroelements*. Scientific Publishers, New York.
- Keinath, A. P. & Loria, R. 1991. Effects of inoculum density and cultivar resistance on common scab of potato and population dynamics of *Streptomyces scabies*. *American Potato Journal* **68**: 515-524.
- King, R. R., Lawrence, C. H. & Calhoun, L. A. 1992. Chemistry of phytotoxins associated with *Streptomyces scabies*, the causal organism of potato common scab. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **40**: 834-837
- Kritzman, G., Shani-Kahanl, A., Kirshner, B., Riven, Y., Bar, Z., Katan, J. & Grinstein, A. 1996. Potato wart disease of peanut. *Phytoparasitica* **24**: 293-304.
- Koronowski, P. & Massfeller, D. 1972. An actinomycosis of radish. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* **24**: 152-154.
- Kutzner, H. J. 1981. The Family *Streptomycetaceae*. Pages 2028-2090 In: M. P. Starr, H. Stolp, H. G. Trüper, A. Balows & H. G. Schlegel (eds). *The prokaryotes*, volume 3. Springer-Verlag, Berlin
- Labruyère, R. E. 1971. Common scab and its control in seed-potato crops. *Center for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen. Agricultural Research Report* **767**:1-72.

- Lapwood, D. H. & Adams, M. J. 1975. Mechanisms of control of common scab by irrigation. Pages 123-129 In: G. W. Bruehl (ed.). *Biology and control of soil-borne plant pathogens*. American Phytopathological Society, St. Paul, MN.
- Large, E. C. & Honey, J. K. 1953. Survey of common scab of potatoes in Great Britain, 1952 and 1953. *Plant Pathology* **4**: 1-8.
- Lawrence, C. H., Clark, M. C. & King, R. R. 1990. Introduction of common scab symptoms in aseptically cultured potato tubers by the vivotoxin, thaxtomin. *Phytopathology* **80**: 606-608.
- Lapwood D. H. & Hering, T. F. 1970. Soil moisture and the infection of young potato tubers by *Streptomyces scabies* (common scab). *Potato Research* **13**: 296-304.
- Lapwood, D. H. & Lewis, B. G. 1967. Observations on the timing of irrigation and the incidence of potato common scab (*Streptomyces scabies*) on young potato tubers. *Annals of Applied Biology* **63**: 277-283.
- Lapwood, D. H., Wellings, L. W. & Hawkins, J. H. 1973. Irrigation as a practical means to control potato common scab (*Streptomyces scabies*): Final experiment and conclusions. *Plant Pathology* **22**: 35-41.
- Leiner, R. H., Fry, B. A., Carling, D. E. & Loria, R. 1996. Probable involvement of thaxtomin A in pathogenicity of *Streptomyces scabies* on seedlings. *Phytopathology* **86**: 709-713.
- Loria, R., Bukhalid, R. A., Fry, B. A. & King, R. R. 1997. Plant pathogenicity in the genus *Streptomyces*. *Plant Disease* **81**: 836-846.

- Loria, R., Coombs, J. T., Yoshida, M., Kers, J. & Bukhalid, R. 2003. A paucity of bacterial root diseases: *Streptomyces* succeeds where others fail. *Physiological and Molecular Plant Pathology* **62**: 65-72.
- Marais, L. & Visser, A. F. 1989. Progress with breeding for resistance of potatoes to common scab and future strategy. Pages 32-40 *In: Proceedings of the Potato Research Symposium*, Warmbaths, South Africa, 1-2 August '89.
- Mayfield, C. I., Williams, S. T., Ruddick, S. M. & Hatfield, H. L. 1972. Studies on the ecology of actinomycetes in soil. IV. Observations on the form and growth of *Streptomyces* in soil. *Soil Biology and Biochemistry* **4**: 79-91.
- Mendoza, Z. C. 1990. Diagnostico de las Enfermedades Fungosas. Parasitología Agrícola. UACH. Chapingo, México. 104 p.
- McCreary, C. W. R. 1967. The effect of sulphur application to the soil in the control of some tuber diseases. *Proceedings of the 4th British Insecticide and Fungicide Conference, Brighton* **1**: 303-308.
- McGregor, A. J. & WILSON, G. C. S. 1966. The influence of manganese on the development of potato scab. *Plant and Soil* **25**: 3 – 16.
- Mcintosh, A. H. 1977. Field trials for control of common scab by soil treatment. *Potato Research* **20**: 225-229.
- Mohanty, N. N., Pattanayak, B. K., Mohapatra, K. C., Lenka, M. K., Dash S. C. & ChotraY, P. K. 1980. Notes on varietal reaction of some potato cultivars to common scab disease. *Indian Journal of Agricultural Science* **50**: 189-190.
- Nortje, P., Kleingeld, C., and Visser, A. 2000. Potato breeding, evaluation and commercialization in South Africa and opportunities for Australia. Adelaide, Australia. 19-25 p.

- Oestergaard, S. P. & Nielsen, S. 1979. Control of potato scab (*Streptomyces scabies*) by irrigation. *Tidsskrift for Planteavl* **83**: 201-204.
- Pole, E. B. 1908. Potato scab (*Oospora scabies* Thaxter). *Transvaal Agricultural Journal* **6**: 576.
- Pung, H. & Cross, S. 2000. Common scab – Incidence on seed potatoes and seedborne disease control. Pages 81-84 *In*: C. M. Williams & L. J. Walters (eds). *Potatoes 2000 “Linking research to practice”*. Australian Potato Research, Development and Technology Transfer Conference, 31 July – 3 August 2000, Adelaide, South Australia.
- Ramos, S. G. 1993. Etiología, distribución, histopatología y control de la roña polvorienta de la papa en los valles altos de México. Tesis Profesional. Parasitología Agrícola. UACH. Chapingo, México.
- Raymer, G., Willard, J. M. A. & Schottel, J. L. 1990. Cloning, sequencing and regulation of an extracellular esterase gene from the plant pathogen *Streptomyces scabies*. *Journal of Bacteriology* **172**: 1020-1026.
- Read, P. J., Storey, R. M. J. & Hudson, D. R. 1995. A survey of black dot and other fungal tuber blemishing diseases in British potato crops at harvest. *Annals of Applied Biology* **126**: 249-258.
- Rete, C. A., Espinoza, M. M., SantoS, C. M., Méndez, L. J., Félix, G.R., Leyva, L. N. 2010. Identificación y caracterización de *Streptomyces spp.* en el cultivo de papa en Sinaloa. Congreso Nacional de papa 2010. Tapalpa, Jalisco, México.
- Rich, A. F. 1983. *Potato diseases*. Academic Press, New York.

- Rowe, R. C. 1993. Potato health management: a holistic approach. Pages 154-156 *In*: R. C. Rowe (ed.). *Potato health management*. American Phytopathological Society, St. Paul, MN.
- Sadowski, C., Peszek, J., Rzekanowski, C. & Sobkowiak, S. 1996. Effect of irrigation and different nitrogen fertilization rates on the occurrence of *Streptomyces scabies* (Thaxter) on potato cultivated on very light soil. *Plant Breeding and Seed Science* **40**: 45-49.
- Scheible, W. R., Fry, B., Kochevenko, A., Schindelasch, D., Zimmerli, L., Somerville, S., Loria, R. & Somerville, C. R. 2003. An arabidopsis mutant resistant to thaxtomin A, a cellulose synthesis inhibitor from *Streptomyces* species. *The Plant Cell* **15**: 1781-1794.
- SIAP. 2010. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. www.siap.gob.mx. Fecha de consulta 20 mayo 2012.
- Singh, H. & Soni, P. S. 1987. Chemical control of common scab of potato. *Plant Disease Research* **2**: 77-79.
- Smith, I. M., Archer, S. A., Dunes, J., Lelliot, R. A., and Phillips, D. H. 1992. Manual de Enfermedades de las Plantas. Mundi Prensa. Tr. García, F. A. Madrid, España. 287, 296, 570-571 p.
- Somanl, A. K. 1988. Control of black scurf (*Rhizoctonia solani*) and common scab (*Streptomyces scabies*) on potato (*Solanum tuberosum*) with boric acid. *Indian Journal of Agricultural Science* **58**: 693-698.
- Terman, G. L., Steinmetz, F. H. & Hawkins, A. 1948. Effect of certain soil conditions and treatments upon potato yields and the development and control of potato scab. *Maine Agriculture Experimental Station Bulletin* **463**: 1-31.

- Thaxter, R. 1891. The potato scab. Annual Report of the Connecticut Agricultural Experiment Station: 81-95.
- Vashisth, K. S., Sharma, V. C. & SekhawaT, G. S. 1990. Chemical soil treatment for the control of common scab of potato. *Journal of the Indian Potato Association* **17**: 212-213.
- Williams, S. T., Davies, F. L., Mayfield, C. I. & Khan, M. R. 1971. Studies on the ecology of actinomycetes in soil II. The pH requirements of *Streptomyces* from two acid soils. *Soil Biology and Biochemistry* **3**: 187-195.