

RESPUESTA DE DIFERENTES POBLACIONES DE *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea* A LA ROTACIÓN ENTRE DOS VARIEDADES DE PAPA (*Solanum tuberosum* ssp. *andigena*)

Sonia Jaramillo Villegas¹ y Juan Manuel Botero Herrera²

RESUMEN

En una zona papera del Oriente de Antioquia - Colombia, se realizaron tres experimentos, para conocer el comportamiento de las variedades ICA Puracé, considerada por los agricultores, como resistente a la sarna polvosa de la papa, y la variedad Diacol Capiro susceptible. Se pretendió evaluar si hay un efecto de la rotación, entre las dos variedades con diferentes poblaciones de Spongospora subterranea f sp. subterranea sobre la sarna polvosa. Se utilizaron quistosoros de 23 poblaciones de S. subterranea, extraídos de pústulas presentes en tubérculos o agallas en raíces de diferentes variedades, y procedentes de las regiones más productoras de papa en el país. Se determinó la incidencia y el grado de severidad de dichas poblaciones bajo el proceso de rotación entre ICA Puracé-Diacol Capiro y viceversa, en tres cosechas sucesivas, en condiciones de casa de malla. Se observó que las poblaciones del patógeno, no afectaron el peso, ni causaron síntomas de sarna polvosa en los tubérculos, pero si en las raíces, con diferentes grados de severidad en las dos variedades, con tendencia poco predecible en las distintas cosechas, con niveles bajo (> 0 a 2), medio (>2 a 6) y alto (>6), siendo mas susceptible la Diacol Capiro, que al parecer favoreció el incremento del inóculo. Diacol Capiro, presentó alta incidencia (23/23) y severidad (algunas poblaciones con grado >6) en el primer ciclo, mientras que la ICA Puracé fue levemente afectada por pocas poblaciones (7/23) de S. subterranea y posiblemente presentó efecto supresivo sobre los quistosoros en el suelo en la rotación (segundo ciclo), puesto que se redujo el grado de severidad (<2) para Diacol Capiro, pero en el tercer ciclo (segunda rotación), se aumentó la severidad para ambas variedades. La rotación por un ciclo entre ambas variedades parece reducir la severidad de los síntomas de la sarna polvosa, pero para la tercera cosecha ambas variedades aumentaron su incidencia y severidad. La variedad ICA Puracé aumentó el grado de severidad y la incidencia, a medida que pasaron las generaciones con Diacol Capiro, pero en ésta se redujo el grado de severidad, por posible efecto de la rotación.

Palabras claves: Enfermedad, sarna polvosa, severidad, Diacol Capiro, ICA Puracé, patogenicidad, rotación.

¹ Profesora Asociada. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 1779. Medellín, Colombia. <sjaramal@unalmed.edu.co>

² Ingeniero Agrónomo, Asistente de Investigación. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 1779. Medellín, Colombia. <sjaramal@unalmed.edu.co>

Recibido: Junio 1 de 2006; aceptado: septiembre 10 de 2007.

ABSTRACT**RESPONSE OF DIFFERENT POPULATIONS OF *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea* TO ROTATION OF TWO POTATO CULTIVARS (*Solanum tuberosum* ssp. *andigena*)**

In Antioquia Colombia were realized three experiments with potatoes, to know the behavior of the ICA Puracé cultivar, considered by agricultures as powder scab resistant, and the Diacol Capiro cultivar, which is highly susceptible. It is pretended to evaluate if there is a rotation effect, of the two varieties and different populations of *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea* on the powder scab. Cistosori (spore balls) was extracted from 23 populations of *S. subterranea* extracted from pustules in tubers surface or galls in roots from different varieties, from potato regions of Colombia. The incidence and severity degree of these populations was evaluated under the process of the ICA Puracé-Diacol Capiro rotation and viceversa, in three successive harvests, under the mesh house conditions. It was observed that the different pathogen populations did not affect the weight, neither caused powder scab symptoms in the tubers, although presented different severity levels on the roots of two varieties) with unpredictable tendency during the different harvests, with low level (> 0 to 2), medium (>2 to 6) and high (>6) symptoms, being more susceptible the Diacol Capiro, which apparently incremented the infection in the soil. The ICA Puracé was low level affected by few population (7/23) with the powder scab, during the first cycle and possibly presented a suppressive effect over the powdery scab for the Diacol Capiro rotation in the second harvest, and then, a rising in the galls of both varieties during the third harvest, in the pots where originally planted, because of a possible increasing of cistosori in the soil. The initial rotation reduces the powder scab symptoms (second harvest) in Diacol Capiro, but the ICA Puracé cultivar is more affected trough the generations where Diacol Capiro was growing.

Keywords: Disease, powdery scab, susceptibility, Diacol Capiro, ICA Puracé, pathogenicity, rotation.

La sarna polvosa de la papa es una enfermedad causada por el plasmodio denominado *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea*, la cual se ha incrementado en los últimos años en Europa, Australia y Colombia. El Centro Internacional de la Papa (CIP) (1996), la menciona para las zonas templadas y tropicales altas de Centro y Sur América en todas las áreas donde se siembra la papa. Por esta razón los investigadores europeos han venido conformando equipos de trabajo multidisciplinarios y convocando a reuniones periódicas para planear programas de investigación, tendientes a conocer el comportamiento del patógeno y la evolución de la enfermedad en el campo, con miras a establecer programas que permitan su manejo adecuado

en el campo (Proceedings of the First European Powdery Scab Workshop, Aberdeen, July 20-22, 2000).

Dicha enfermedad afecta no solo la apariencia externa de los tubérculos sino que también daña las raíces llegando al punto que se descomponen totalmente en masas de quistosoros del patógeno, lo que reduce significativamente la producción (Guerrero *et al.*, 1999). Además, Salazar (1995) señala que las zoosporas de *S. subterranea* f. sp. *subterranea* transmiten el virus "Potato Mop Top" (PMTV), el cual sobrevive en las esporas del patógeno por varios años, y causa la reducción del crecimiento de los tallos y el acortamiento de entrenudos. Los tubérculos

pueden presentar deformaciones, rajaduras superficiales o arcos necróticos alrededor de la inserción de los estolones.

Este plasmodio se dispersa por sus quistosoros del suelo adherido a los tubérculos-semilla, a los empaques usados para el transporte de esas semillas, sobre las herramientas y equipo agrícola utilizados para preparar el suelo en diferentes áreas de la finca o en las fincas vecinas; y también, en el agua de lavado de los tubérculos y las herramientas contaminadas y estiércol de ganado vacuno.

En los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Nariño y Antioquia (Colombia), afecta severamente las variedades Parda Pastusa, Diacol Capiro (*Solanum tuberosum*) y papa criolla (*S. phureja*). Los síntomas se observan en raíces y tubérculos, pero hay variación en las zonas paperas en cuanto a la distribución de los síntomas entre los diferentes órganos de la planta. Así: en Cundinamarca, Boyacá y Norte de Antioquia es más frecuente observar pústulas sobre los tubérculos de las variedades Parda Pastusa y Diacol Capiro, mientras que en el departamento de Nariño y Oriente de Antioquia es común observar agallas en raíces. Hasta ahora no se sabe si estas diferencias se deben a variaciones en las condiciones ambientales de una región a otra, o quizás se deban a la distribución regional de diferentes razas del patógeno, y/o a su interacción: hospedero-patógeno-ambiente.

El manejo de la sarna polvosa, en la actualidad, solo se puede realizar mediante el uso de semilla certificada por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA)

como libre del patógeno. Sin embargo, los agricultores de La Unión Antioquia, han venido utilizando un método de rotación entre una variedad de papa susceptible y una que consideran resistente. Ellos afirman que si un lote de Diacol Capiro aparece con alta infección por la "espora" (sarna polvosa) en una cosecha, la mejor solución es sembrar ese mismo lote con ICA Puracé, la cual se comporta como una variedad más tolerante. Esta investigación tiene como objetivo evaluar poblaciones de *S. subterranea* f. sp. *subterranea* de diversa procedencia, sometidas a las mismas condiciones de suelo (en macetas) y clima (casa de mallas), en tres ciclos rotando entre sí, las dos variedades arriba señaladas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el Centro Agropecuario "Paysandú", de La Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, localizado en el corregimiento de Santa Elena, municipio de Medellín (Antioquia, Colombia), a 2.550 msnm, con una temperatura media de 14°C y una precipitación promedio anual de 2.000 mm, correspondiente a la formación de bosque húmedo montano bajo (Bh-Mb). Los experimentos se realizaron en condiciones de casa de malla.

El suelo (Andisol) procedente de un lote del mismo Centro Agropecuario, el cual no había sido sembrado con papa por más de 10 años, fue humedecido y luego desinfectado con formol al 5% y se cubrió por tres días con una carpa plástica lo más herméticamente posible. Luego se removió el suelo, se llenaron las

macetas y se sembraron los tubérculos, categoría Registrada en estado de brotación múltiple. Para los demás ciclo se utilizó semilla Certificada, según las exigencias del ICA, para la semilla de papa en Colombia.

En esta investigación se evaluaron dos variedades de papa Diacol Capiro e ICA Puracé y 23 poblaciones de *S. subterranea* f. sp. *subterranea*, con un testigo sin inocular, en un diseño completamente al azar con 4 repeticiones (Unidad experimental: una maceta con una planta inoculada con quistosoros de una población). Los quistosoros del patógeno utilizados para la inoculación procedieron de diferentes zonas paperas del país (Tabla 1). Se hicieron 3 ciclos de rotación de las variedades en las macetas. Al momento de la siembra cada maceta (con un kg de suelo) recibió 40 g de un fertilizante grado 10-30-10. Treinta días después se hizo aplicación de 20 g de fertilizante grado 15-15-15. Cada 8-10 días se aplicó un fungicida de contacto tipo Mancozeb® contra la gota (*Phytophthora infestans*) y al final del periodo de crecimiento se aplicó un fungicida a base de azufre para controlar la "cenicilla", causada por *Erysiphe chichoacearum*.

Cuando las plantas emergieron del suelo, dos semanas después de sembradas, se realizó la inoculación con un promedio de 7.500 quistosoros por unidad experimental, suspendidos en agua destilada y contados mediante el método de alícuotas. Esta inoculación solo se hizo en el primer ciclo, con el fin de observar el efecto de la rotación entre las variedades Diacol Capiro (considerada como muy susceptible), con la variedad ICA Puracé, calificada

por los agricultores como resistente a la sarna polvosa. En el segundo ciclo se rotaron las macetas, operación que se repitió otra vez, para completar los tres ciclos en rotación.

Dado que la variedad ICA Puracé tiene un periodo vegetativo más corto y las plantas emergieron más rápido, la cosecha se realizó entre 10 y 12 semanas después de la siembra y para la variedad Diacol Capiro entre 12 y 14 semanas luego de la siembra. Ambas variedades se sembraron de manera simultánea, durante toda la investigación.

La incidencia y el grado de severidad de los síntomas en raíces y tubérculos en cada ciclo, se determinó por la observación de agallas o pústulas, aplicando la escala (0-9) propuesta por Falloon *et al.* (1995) para tubérculos y modificada por Álvarez *et al.* 2001 para raíces. Se definió un bajo grado de infección cuando la lectura en la escala era inferior a 2 (menos del 10% de los tubérculos y raíces afectadas), medio entre 2 y 6 (menos del 46% de tubérculos y raíces afectadas) y alto mayor de 6 (más del 46% de los tubérculos y raíces afectadas).

El análisis estadístico de los datos se realizó con el lenguaje "R versión 2.5.0" con el cual se hizo un análisis de varianza para los datos, un análisis cluster de agrupamiento teniendo en cuenta el comportamiento de la escala de infección para cada población de *S. subterranea* f. sp. *subterranea* en las tres cosechas, y se realizaron gráficas tipo "boxplot" para visualizar los resultados del experimento.

Tabla 1. Procedencia geográfica y hospedero de poblaciones de quistosoros de *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea* colectados en diferentes zonas paperas de Colombia, inoculados en dos variedades de papa, bajo condiciones de casa de malla.

Código	Departamento	Municipio	Vereda/Longitud	Finca/Latitud	Altitud	Variedad
M10	Boyacá	Soracá	5°27' 33,6"	73°17'36,8"	2950	Parda Pastusa
M12	Boyacá	Tierra Negra	5°25'38"	73°35'15,7"	2920	Parda Pastusa
M14	Cundinamarca	Subachoque	5°00'16,2"	73°12'26,5"	2950	–
M15	Cundinamarca	Zipacquirá	5°7'32,8"	73°36'16,7"	3020	Parda Pastusa
M16	Cundinamarca	Zipacquirá	5°05'56,2"	73°36'16,7"	3020	Diacol Capiro
M17	Cundinamarca	Villa Pinzón	5°13'1.6"	73°37'38,2"	2870	Parda Pastusa
M18	Cundinamarca	Subachoque	5°00'16,2"	73°12'26,5"	2950	Parda Pastusa
M19	Cundinamarca	Usme	–	–	–	Diacol Capiro
M2	Cundinamarca	Chocontá	5°05'56,2"	73°42'28,7"	2812	–
P1	Nariño	Tangua	La Marqueza	–	2750	Parda Pastusa
P10	Nariño	Guachucal	Chilanguer	–	3328	Parda Pastusa
P2	Nariño	Tangua	Ajos Altos	–	2700	Parda Pastusa
P3	Nariño	Tangua	Los Ajos	–	2720	Parda Pastusa
P4	Nariño	Pupiales	Santa Maria	Santa Maria	3150	Parda Pastusa
P5	Nariño	Guachucal	Arvela	–	3250	Parda Pastusa
P8	Nariño	Pupiales	Quirraquez	–	3100	Parda Pastusa
Pay	Antioquia	Medellín	Paysandú	C I Paysandú	2600	Diacol Capiro
U1	Antioquia	La Unión	Quebrada Negra	El Silencio	2530	Diacol Capiro
U2	Antioquia	La Unión	Pantalio	La Esmeralda	2500	Diacol Capiro
U3	Antioquia	La Unión	Pantalio	Cerro Gordo	2480	Diacol Capiro
U4	Antioquia	La Unión	Pantalio	Villa Luz	2550	Diacol Capiro
U5	Antioquia	La Unión	Pantalio	Villa Luz	2550	Criolla
U6	Antioquia	La Unión	La Concha	–	2400	Diacol Capiro

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinación de concentración de quistosoros en suspensión. Se utilizó el sistema de conteo de las suspensiones de quistosoros en gotas de 10 µl, observadas bajo estereoscopio.

Grado de incidencia y severidad en la primera cosecha Se observaron síntomas leves en raíces, de la variedad ICA Puracé (Figura 1) según el grado de infección determinado por la escala indicada. Sólo las poblaciones P5 y P8 (2/23) presentaron síntomas leves de

quistes en las lenticelas de los tubérculos y agallas muy pequeñas en las raíces.

La variedad Diacol Capiro presentó alto grado de severidad en las raíces, especialmente con las poblaciones M19, P5, U5 y U6. En esta variedad las 23 poblaciones evaluadas presentaron diferentes grados de infección, en la cual la población M10 presentó el menor grado de infección (Figura 1). El testigo, sin inocular, no presentó síntomas de sarna polvosa para ninguna de las dos variedades. La variedad Diacol Capiro

presentó alto grado de severidad en las raíces, especialmente con las poblaciones M19, P5, U5 y U6. En esta variedad las 23 poblaciones evaluadas presentaron diferentes grados de infección, en la cual

la población M10 presentó el menor grado de infección (Figura 1). El testigo, sin inocular, no presentó síntomas de sarna polvosa para ninguna de las dos variedades.

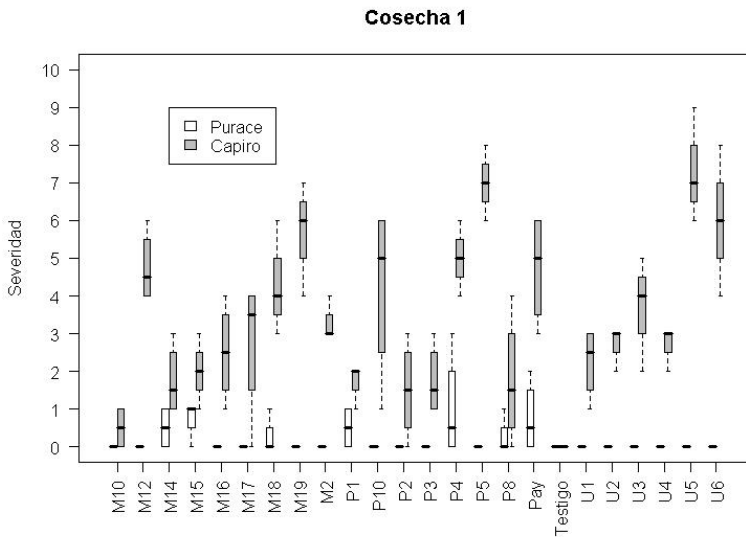


Figura 1. Grado de incidencia y severidad de sarna polvosa (escala de 0-9) en las raíces de dos variedades de papa inoculadas al momento de la germinación con quistosoros de poblaciones de *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea*.

Grado de incidencia y severidad en la segunda cosecha. Para el segundo ciclo (Figura 2) el grado de severidad en las raíces en términos generales fue bajo (0-3) para ambas variedades. Para la variedad Diacol Capiro con las poblaciones M18, P4 y U4, las raíces presentaron un grado medio hacia abajo y la población P2 no presentó síntomas, mientras que el testigo (sin inocular) resultó afectado en una de las macetas. En la variedad ICA Puracé se observó un grado de severidad medio con el aislamiento P4 y 13/23 poblaciones evaluadas presentaron inci-

dencia con bajo grado de severidad en las raíces.

Grado de incidencia y severidad en la tercera cosecha. En la tercera cosecha (Figura 3) sólo la población U5 presentó un alto grado de severidad en la variedad Diacol Capiro (7 en la escala de 0-9); las poblaciones M18, M19, M2, P1, P2, Pay, U1, U3 y U4 mostraron un grado medio, con ausencia de síntomas en las poblaciones M15, M16 y M17, P3 y P8 y con muy bajo grado de severidad para las demás poblaciones de *S. subterranea* f. sp. *subterranea*.

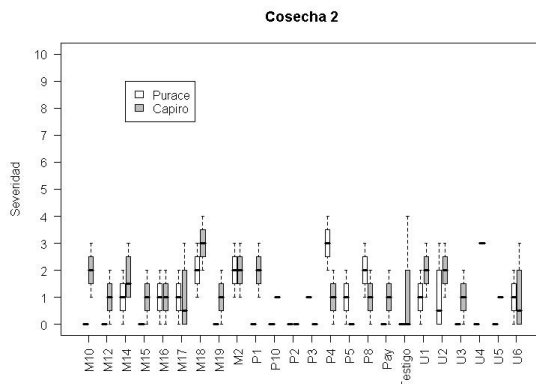


Figura 2. Grado de incidencia y severidad de sarna polvosa en raíces de dos variedades de papa (escala de 0-9) en rotación, crecidas en macetas con poblaciones de *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea*. (segundo ciclo).

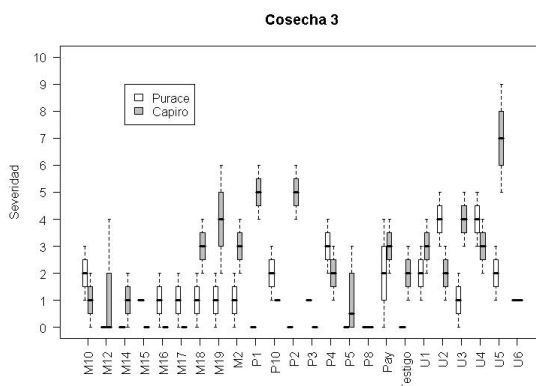


Figura 3. Grado de incidencia y severidad de sarna polvosa en raíces de dos variedades de papa (escala de 0-9) en rotación, crecidas en macetas con poblaciones de *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea*. (tercer ciclo).

La variedad ICA Puracé manifestó un grado medio de severidad, para las poblaciones P4, U2 y U4 y ausencia de síntomas en M12, M14, P1, P2, P5 y P8 (Figura 3). En las demás poblaciones se observó un bajo nivel de severidad, pero se destaca la mayor incidencia de la sarna polvosa en las raíces de esta variedad con

las demás poblaciones evaluadas (17/23). Se resalta la ausencia de síntomas de sarna con la población P8, para ambas variedades. Esta población presentó bajos niveles de severidad en ambas variedades en los ciclos previos a éste. Es posible que sea una población no virulenta a estas dos variedades en las condiciones evaluadas,

la cual procedía de agallas de raíces de la variedad Parda Pastusa. Al realizar un análisis de varianza (para la incidencia de *S. subterranea* f. sp. *subterranea*, en raíces de papa de las variedades Diacol Capiro e ICA Puracé, con los resultados promedio de los tres ciclos, se encontró que tanto la variedad como la población y el ciclo o cosecha y todas las interacciones posibles, presentaron un efecto significativo en la expresión de síntomas de la enfermedad en las raíces de papa. Pero se observó también que es mayor el efecto de la variedad y el ciclo de rotación sobre la expresión del patógeno que el de las poblaciones del patógeno.

Análisis de agrupamiento de poblaciones.

Al realizar un análisis cluster de las 23 poblaciones, en las dos variedades (Figura 4), teniendo en cuenta la expresión de la enfermedad o síntomas en las raíces de las plantas cosechadas en los tres ciclos, se obtuvieron siete grupos claramente diferenciados, donde se puede apreciar el primer grupo conformado por las poblaciones U1, U2 y U4, el segundo por P1 y P2, el tercero por P3, P8, M14, M15, M16, M17, M10 y el testigo, el cuarto conformado solo por U5, el quinto formado por P5 y U6, el sexto con las poblaciones P4, M18 y M2 y el último conformado por U3, M19, Pay, M12, y P10.

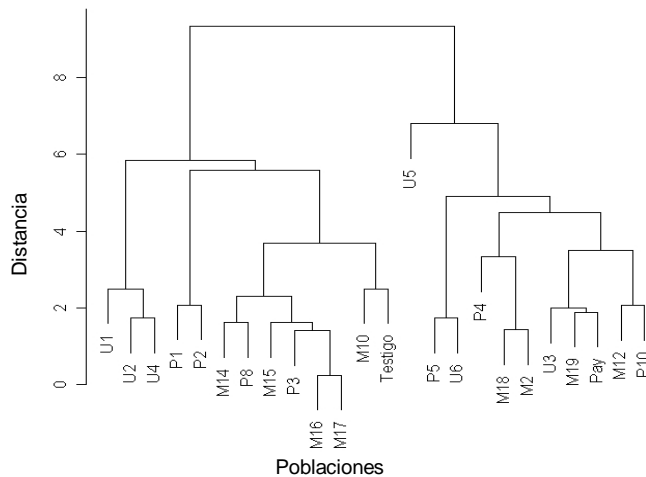


Figura 4. Dendrograma de poblaciones de *Spongospora* f. sp. *subterranea* según el comportamiento de la incidencia durante tres ciclos de cosechas con rotación entre las variedades de papa ICA Puracé y Diacol Capiro.

Por ser Diacol Capiro la variedad más afectada por el patógeno se realizó un análisis igual al anterior (Figura 5), y se obtuvieron cinco grupos, un primer grupo conformado por las poblaciones P3, M15, P8, M16, M17, M10, M14 y el

Testigo, el segundo grupo con las poblaciones P1 y P2, el tercer grupo con M19, U3, M18, U4, U2, M2 y U1, el cuarto grupo con U5 y el quinto y último grupo conformado por P5, U6, M12, P10, P4 y Pay.

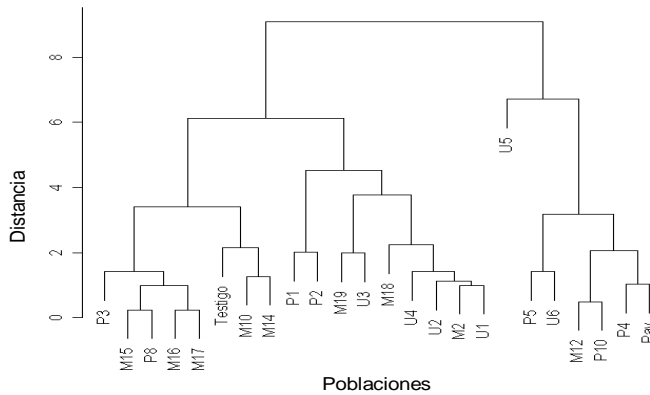


Figura 5. Dendrograma de agrupamiento por incidencia de *Spongospora* f. sp. *subterranea* en papa variedad Diacol Capiro para tres ciclos en rotación con la variedad ICA Puracé.

Al realizar un análisis semejante con los resultados para la variedad ICA Puracé (Figura 6) se encuentran grupos del patógeno mas estrechamente relacionados y en la mayoría de los casos muy diferentes a los grupos formados en los dos análisis anteriores, el primero conformado por las

poblaciones Pay, U5, M10, P10, M15, M19, U3, el segundo grupo con M18, M2, U1, U6, P3, M16 y M17, el tercer grupo constituido por P1, P2, M12 y el testigo, el cuarto grupo con P8, M14 y P5, el quinto grupo conformado por P4, y el sexto y último grupo con las poblaciones U2 y U4.

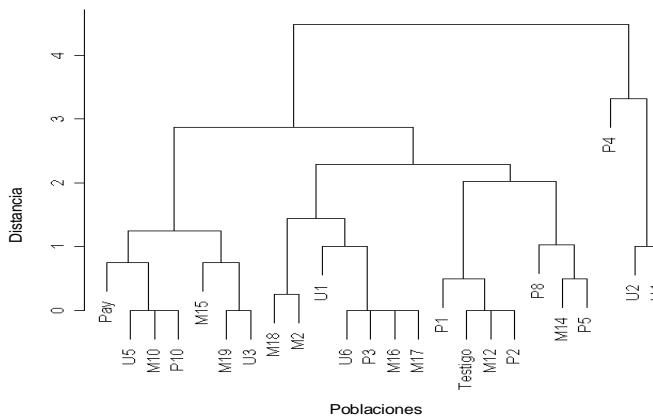


Figura 6. Dendrograma de agrupamiento por incidencia de *Spongospora* f. sp. *subterranea* en papa variedad ICA Puracé para tres ciclos en rotación con la variedad Diacol Capiro.

En la primera cosecha se observaron síntomas en las raíces por la liberación de zoosporas de las poblaciones de *S. subterranea* f. sp. *subterranea*, con diferentes grados de infección en la variedad Diacol Capiro y con una mínima incidencia en las raíces de la variedad ICA Puracé, la cual posiblemente por ser genéticamente diferente y más precoz, puede escapar inicialmente de la enfermedad, lo cual ha sido observado por los agricultores del Oriente Antioqueño. En el segundo ciclo, la variedad Diacol Capiro, que había desarrollado sarna polvosa en diferentes grados de severidad con las poblaciones evaluadas, redujo los síntomas, mientras que la variedad ICA Puracé los aumentó, lo que sugiere la posibilidad de la iniciación de un proceso de reconocimiento variedad-raza (forma) del patógeno, o que el incremento de quistosoros por la variedad Diacol Capiro en la primera cosecha, indujera síntomas que fueron apreciables a simple vista en la variedad ICA Puracé. En el tercer ciclo se destaca el grado de severidad en raíces de la variedad Diacol Capiro con la población U5 y se observa un aumento ligero en los síntomas con otras poblaciones del patógeno en ambas variedades. Al parecer el patógeno se mantuvo y puede nuevamente reconocer su huésped original, puesto que las plantas regresaron a la maceta donde fueron inoculadas inicialmente, pero puede haber un efecto detrimental o represor por la variedad ICA Puracé, con la que se rotaron, puesto que el grado de severidad fue inferior en todos casos con relación al primer ciclo (al momento de la inoculación). Era de esperarse un aumento de los síntomas por la alta susceptibilidad de la variedad Diacol Capiro al patógeno.

Se percibe que la relación de la raza, forma o patotipo del patógeno-variedad de papa, fue diferente y que puede estar afectada por las condiciones ambientales, si se tiene en cuenta que hubo un comportamiento variable de las poblaciones en los diferentes ciclos de cosechas y variedades. Harrison *et al.* (1997) sugieren la presencia de formas virulentas y no virulentas de *S. subterranea* f. sp. *subterranea*, lo cual fue observado también por Wastie y Stewart 1989, pero se requiere más investigación para establecer posibles razas, formas o patotipos del patógeno.

La diferencia en la incidencia y severidad de algunas poblaciones sobre las variedades es posiblemente explicada por factores genéticos de las plantas y de las poblaciones del patógeno. Jaramillo *et al.* (2004), encontraron diferencias en un par de nucleótidos en las secuencias para fragmentos de 400 nucleótidos de las poblaciones M17 y M10 de *S. subterranea* f. sp. *subterranea*. Hincapié (2006), contrastó estas diferencias con los tipos AF305697 y AF102820 del GENBANK, encontrando diferencias en la secuencia de un par de bases. La población M10 fue colectada de agallas de raíces y la población M17 de pústulas en tubérculos, en la variedad Parda Pastusa, de diferentes zonas geográficas, lo que está señalando la respuesta genotipo-ambiente, estrechamente relacionada con el patotipo de *S. subterranea* f. sp. *subterranea*.

La población M10 (Figuras 4, 5 y 9) se comportó de manera muy similar a las poblaciones, M15, M14, M16, M17, P8 y P3 en la variedad Diacol Capiro. Se considera que bajo las condiciones de

experimentación, estas poblaciones pueden constituir razas o formas poco severas del patógeno, de acuerdo con lo mencionado por Harrison *et al.* (1997), y las cuales se podrían explorar como potenciales antagonistas a patotipos o razas severas del mismo. El testigo sin inocular también aparece en este grupo: Es posible la presencia de quistosoros latentes en los tubérculos semilla, Van de Graaf *et al.* (2005) hacen mucho énfasis en la infección latente de los tubérculos-semilla; o que el formol no garantice la completa esterilidad del suelo especialmente con las estructuras de resistencia del patógeno (quistosoros) y por eso se presentó un cierto grado de infección en el testigo, para el segundo y tercer ciclo con la variedad Diacol Capiro, que es la más susceptible o que pudo haber contaminación en el proceso de los experimentos.

Se podría considerar que la cantidad de inóculo (7.500 quistosoros por planta en maceta de 1.000 g de suelo) fuese baja, y por lo tanto en términos generales la mayoría de las plantas presentaron los menores grados de infección. Sin embargo, con algunas poblaciones se presentaron altos grados de severidad (Figura 7) en el primer ciclo. Harrison *et al.* (1997) señalan que los niveles iniciales de inóculo juegan un papel insignificante en la determinación de la cantidad de sarna polvosa en un cultivo, pues unos pocos quistosoros, pueden producir rápidamente gran número de zoosporas, si las condiciones ambientales son favorables, pero si son extremas el nivel de inóculo es irrelevante y el cultivo permanece libre de la sarna polvosa, al menos en sintomatología (Burgess *et al.*, 1993), lo que posteriormente fue corroborado por Van de Graaf *et al.* (2005).



Figura 7, Raíces de plantas de papa variedad Diacol Capiro con alto grado de severidad (escala de 0-9) por la sarna polvosa en las poblaciones U5, P5 y M12 de *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea*.

En una secuencia de tres cosechas sucesivas en rotación las poblaciones causaron diferente grado de infección en raíces de manera inconsistente, pues en un ciclo unas poblaciones eran

más y en el siguiente ciclo fueron menos agresivas (Figuras 1, 2, 3), por posible efecto de la interacción con el ambiente y cambio de variedad en la rotación (Figuras 8 y 9). El promedio

general de síntomas en raíces (Figura 10) muestra que las variedades tienden a incrementar levemente la enfermedad. La reducción en el segundo ciclo podría deberse a un efecto negativo de la rotación sobre la producción y/o viabilidad de los quistosoros.

Se mantuvo el efecto de mayor severidad con las poblaciones U5, P4 y M19 para la variedad Diacol Capiro, cuyos

quistosoros fueron colectados originalmente en las variedades Criolla, Parda Pastusa y Diacol Capiro, respectivamente. Esto sugiere una posible respuesta cruzada de aislamientos con diferentes materiales de papa, cuando comparten nichos ecológicos, lo que indica los altos riesgos de la rotación entre variedades susceptibles, una de las cuales (la variedad criolla Colombia (*S. phureja*)) es una especie diploide.

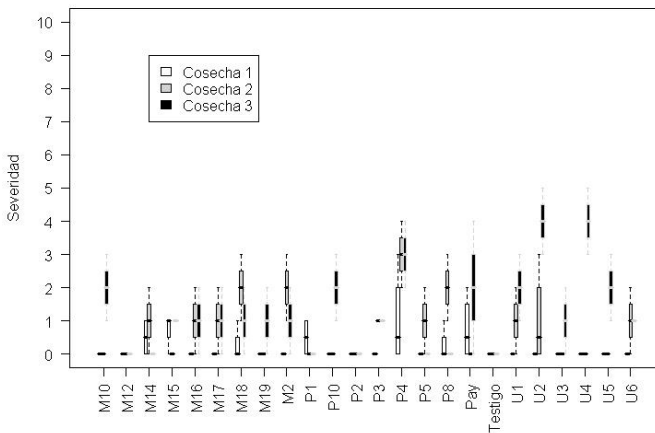


Figura 8. Incidencia de diferentes poblaciones de *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea* en raíces de papa variedad ICA Puracé por tres ciclos en rotación con la variedad Diacol Capiro.

Para algunas poblaciones hubo rangos de variación en los grados de infección en las raíces de plantas individuales, que oscilaron entre 0 y 9 (Figura 7) para la variedad Diacol Capiro, cuyo promedio alcanzó los grados de infección de sarna polvosa más altos en el primer ciclo, con las poblaciones U5 (7,25) y P5 (7,0), posiblemente como respuesta a la inoculación, los cuales se redujeron a un grado medio (5,08 y 2,67 respectivamente) cuando se promediaron

para las tres cosechas (Figura 9), posiblemente por efectos de la rotación con la variedad ICA Puracé, que presentó cierto grado de resistencia.

Las plantas de la rotación iniciada con la variedad ICA Puracé, cuya incidencia de sarna polvosa en el primer ciclo fue mínima, a pesar de haber sido inoculadas con quistosoros de diferentes poblaciones de *S. subterranea* f. sp. *subterranea* (Figura 1), aumentaron levemente los sín-

tomas en raíces con diferentes poblaciones, lo que demuestra la tolerancia de esta variedad a la sarna polvosa, pero no inmunidad, coincidiendo con Falloon *et al.* 2003, pues se fue incrementando la incidencia (Figura 10). El incremento leve

del grado de infección y la incidencia en las raíces de esta variedad, demuestra que se puede dar un proceso de adaptación de algunas poblaciones del patógeno, en el sistema de rotación con variedades susceptibles (Figura 8).

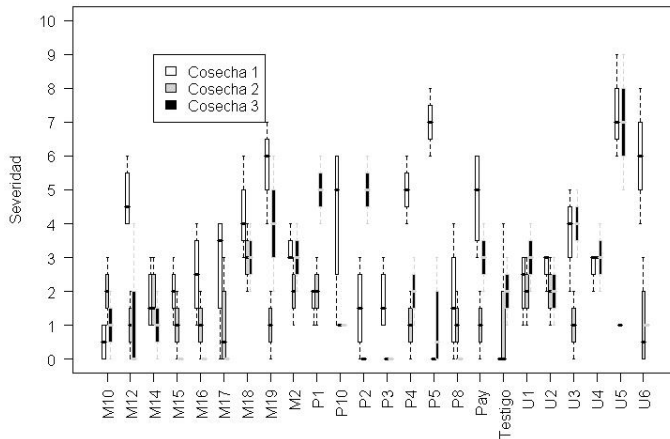


Figura 9. Incidencia de diferentes poblaciones de *S. subterranea* f. sp. *subterranea* en raíces de papa variedad Diacol Capiro por tres ciclos en rotación con la variedad ICA Puracé.

Los resultados evidencian la mayor resistencia a sarna polvosa observada por los agricultores en la variedad ICA Puracé (Figura 10); sin embargo, no se puede afirmar que sea inmune, debido a que las poblaciones P4, U2 y U4, presentaron síntomas dentro del rango medio de la escala en la tercera cosecha, lo que sugiere que la acumulación de quistosoros de *S. subterranea* f. sp. *subterranea* por la infección de la variedad Diacol Capiro (altamente susceptible) utilizada en el proceso de rotación, puede ir reconociendo las raíces y/o tubérculos de la variedad ICA Puracé, en sistemas de rotación prolongados. Falloon *et al.* 2003, evaluaron 99 variedades de papa y 13 líneas

de mejoramiento avanzadas, encontrando que ninguna variedad o línea fue inmune a la infección, pero se presentó variación en el grado de severidad, por lo que las pudo agrupar en muy resistentes, moderadamente resistentes, moderadamente susceptibles, y muy susceptibles.

Prácticamente no se observaron síntomas en los tubérculos, situación contraria a las observaciones de Van de Graaf *et al.* (2005) quienes establecieron que la infección se presentaba en los primeros estados de desarrollo de los tubérculos, lo que sólo fue evidente con una ligera infección en la variedad ICA Puracé con las poblaciones P5 y P8.

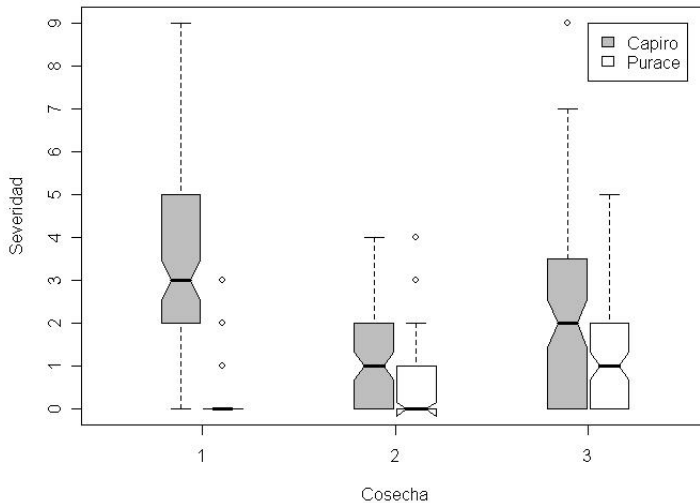


Figura 10, Grado de severidad (escala de 0-9) de 23 poblaciones de *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea* en raíces de dos variedades papa, en rotación por tres ciclos.

Se ha venido observando en campo que esta variedad desarrolla pústulas en los tubérculos, posibles órganos preferidos por el patógeno. La mayor frecuencia y grado de agallas en raíces de la variedad Diacol Capiro, órgano no mencionado por Van de Graaf *et al.* (2005) sugieren la presencia de razas o patotipos del patógeno o los efectos de la relación genotipo-ambiente. Es conveniente evaluar el efecto de las condiciones climáticas y la variación de la humedad del suelo sobre el desarrollo de la sarna polvosa en las diferentes variedades de papa y los órganos (raíz o tallo) preferidos por el patógeno.

El análisis de varianza y la prueba de comparación de medias mostraron que en las variedades evaluadas, no se

presentó diferencia significativa entre los pesos de las raíces y de los tubérculos en las diferentes cosechas (datos no presentados), lo que indica que no hubo efecto destacado de los aislamientos sobre estos parámetros. Es lógico el resultado, debido a que las plantas se cosecharon a las 10-12 semanas de sembradas, siete a nueve semanas después de la inoculación, tiempo para el cual la planta podía depender de los nutrientes almacenados en los tubérculos-semilla, los cuales aún permanecían adheridos a la planta.

Del análisis de agrupamiento para las variedades se puede observar que los dos primeros grupos formados (Figura 4) tienen correspondencia altitudinal y geográfica, es decir son poblaciones

colectadas en los mismos departamentos en zonas con altitudes semejantes y además presentaron un comportamiento muy similar a lo largo de las cosechas. Por otro lado, el grupo más claramente diferenciado es el formado por la población U5, el cual presentó la mayor severidad y fue la única población colectada en papa criolla. Las poblaciones del tercer y sexto grupo, se relacionan por la altitud del sitio donde fueron colectados, que para este caso está alrededor de los 3.000 msnm. Los grupos restantes están conformados por poblaciones con características muy variables, por lo cual ninguna de las características observadas explica de manera clara, el agrupamiento en este caso.

El agrupamiento para la variedad Diacol Capiro (Figura 5), muestra que la población U5 sigue siendo único y característico, al igual que en la Figura 4, el grupo número dos que coinciden por geografía, altitud y procedencia de hospedero, muy similar a lo que sucede con los grupos uno y tres, con la excepción de la población M16 colectada sobre tubérculos de la variedad Diacol Capiro, y la población M18 colectada sobre raíces de la variedad Parda Pastusa, mientras que la demás poblaciones de este grupo, fueron colectadas en raíces de la variedad Diacol Capiro. El quinto grupo muestra poblaciones de todas las regiones, las cuales fueron colectadas sobre las variedades Diacol Capiro y Parda Pastusa, razón por la cual son muy disímiles entre sí.

Merz 2000, señala que se presentan variables de tipo o posibles razas del

patógeno con respuestas patogénicas también disímiles, en las zonas con climas y suelos diferentes, razón por la cual no se pueden hacer generalizaciones, ni transferir los resultados de una región a otra, pero si pueden ser útiles como herramienta para dilucidar, la forma como se comporta el patógeno y se desarrolla la sarna polvosa, si se trata de elaborar un programa de manejo integrado de la enfermedad.

Los experimentos se desarrollaron en diferentes semestres y las condiciones físicas del suelo dentro de las macetas se fueron deteriorando, reduciendo la aireación y aumentando la retención de humedad en el centro de dichas macetas, lo que pudo afectar la liberación de zoosporas y su penetración en las raíces. La temperatura, la humedad y el genotipo son factores determinantes en el desarrollo de la enfermedad (Harrison *et al.*, 1997), como ocurre en los suelos mal drenados e inundados.

En estos experimentos no se controló, ni midió la temperatura, pH y humedad del suelo, pero todas las unidades experimentales se mantuvieron bajo las mismas condiciones, las cuales posiblemente variaron en cada ciclo, por efectos del cambio de clima en los semestres en que estuvieron sembradas las plantas. Señala Karling (1942), que cuando los suelos tenían entre el 60-90% de humedad y pH de 4,7 a 5,9, los tubérculos presentaban más sarna polvosa, que cuando la humedad era del 40% y altos valores de pH, pues las condiciones climáticas desfavorables al patógeno, permitían el desarrollo de cultivos sanos, según se observó en 15 ensayos plantados con tubérculos

fuertemente infectados cuyas cosechas estuvieron limpias, al igual que en las Islas Griegas, donde se sembraron tubérculos fuertemente infectados con *S. subterranea* f. sp. *subterranea* y el patógeno no permaneció viable (o no liberó las zoosporas), produciendo cultivos saludables. Es posible que durante la ejecución de estos experimentos, se hubiese presentado variación de humedad en las macetas, reduciendo el desarrollo de la enfermedad, como lo reportan Van de Graaf *et al.* (2005).

Es necesario destacar que aunque la variedad ICA Puracé presenta resistencia a la sarna polvosa, no se conoce dicho mecanismo, pero el patógeno podría ir acoplado su metabolismo en un proceso de rotación con la variedad Diacol Capiro a varias cosechas, pudiéndose afectar la calidad de los tubérculos y/o la producción, razón por la cual hay que ser cuidadoso con este sistema de rotación de variedades en los lotes afectados y observar permanentemente la evolución del desarrollo de la enfermedad en dichos sitios; Falloon *et al.* (2003), observaron que no se presentaron variedades inmunes entre 112 materiales de papa evaluados.

Es posible que las poblaciones que no causaron síntomas en la variedad ICA Puracé M12 y P2 (Figura 8) y en algunas plantas de la variedad Diacol Capiro (Figura 9), como la población M10 extraída de la variedad Parda Pastusa, tengan un efecto beneficioso para el desarrollo de las raíces, la aseveración surge al apreciar en varias plantas un sistema radical más pobre, cuando crecieron en los suelos sin inocular. Se considera importante hacer

un estudio sobre la dinámica de mezclas poblacionales (virulentas y poco virulentas) y establecer posibles razas fisiológicas del patógeno estableciendo clones de papa diferenciales para tal propósito, con el fin de diseñar programas de mejoramiento y otras estrategias de manejo de la enfermedad en las diferentes zonas paperas.

También es conveniente verificar si existe un posible efecto benéfico de algunas poblaciones de *S. subterranea* f. sp. *subterranea*, sobre la rizosfera y la producción de tubérculos, la toma de nutrientes y el desplazamiento de poblaciones más agresivas del patógeno, como antagonista a dichas poblaciones, ya que se observó que algunas de las poblaciones utilizadas en esta investigación, sólo indujeron síntomas incipientes en las raíces de ambas variedades de papa.

Dada la tolerancia que se observa en la variedad ICA Puracé, deben estudiarse los mecanismos involucrados en dicha interacción, los cuales posiblemente están ligados a la resistencia de campo, ya que no presenta inmunidad al patógeno, pues se observaron síntomas leves con varias de las poblaciones evaluadas.

CONCLUSIONES

La variedad ICA Puracé presentó mayor resistencia a la sarna polvosa que la variedad Diacol Capiro, con las diferentes poblaciones de *S. subterranea* f. sp. *subterranea* evaluadas y reduce la severidad de sarna polvosa en la variedad Diacol Capiro en un sistema de rotación.

Las rotaciones evaluadas afectaron el nivel de infección de las raíces de sarna polvosa en ambas variedades, en grados diferentes para las distintas poblaciones del patógeno.

En el estado fonológico en que se realizó la evaluación, no se observaron pústulas de sarna polvosa en los tubérculos en desarrollo. Sólo se observó una ligera incidencia en la variedad ICA Puracé con dos de las poblaciones evaluadas.

Únicamente la población U5 presentó alto grado de infección en raíces de la variedad Diacol Capiro en la primera y tercera cosecha, y por el análisis de agrupamiento su comportamiento es diferente de todas las demás poblaciones.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue posible gracias a la financiación aportada por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), CEVIPAPA y la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

BIBLIOGRAFÍA

Alvarez, C.; M. Rojas, G. Correa, J.C. Pérez, y S. Jaramillo. 2001. Efecto del cinc sobre la sarna polvosa de la papa (Variedad Diacol Capiro). Ventana al Campo con el Mejor Entorno Ambiental 2:17-18.

Burgess, P.J. and S.J. Wale. 1993. Biology and control powdery scab. Report the Research and Development Committee of the Potato Marketing Board. En: <http://www.blakwell-synergy.com>; consulta: Sep. 2005.

blakwell-synergy.com; consulta: Sep. 2005.

Centro Internacional de la Papa. 1996. Principales enfermedades, nemátodos e insectos de la papa. CIP, Servicio Nacional de Sanidad Agraria. Asociación Editorial Stella, Lima, Perú. 111 p.

Falloon, R.E., S. Viljanen-Rollinson, G. Coles and J. D. Poff. 1995. Disease severity keys for powdery and downy mildews of pea, and powdery scab of potato. N.Z. J. Crop and Hort. Sci. 23(3):31-17.

Falloon, R.E., R.A. Genet, A.R. Wallace and R. C. Butler. 2003. Susceptibility of potato (*Solanum tuberosum*) cultivars to powdery scab (caused by *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea*) and relationships between tuber and root infection. Austral. Plant Pathol. 32(3):377-385.

Guerrero, L.O., L.A. Peña y B. Pérez. 1999. Efecto de la incorporación de abonos verdes, sobre la incidencia y severidad de la roña de la papa *Spongospora subterranea* en el Departamento de Nariño. p. 82-89. En: Memorias XX Congreso Nacional de Fitopatología ASCOLFI. Manizales, Colombia.

Harrison, J.G., R.J. Searle and N.A. Williams. 1997. Powdery scab disease of potato. A review: Scottish Crop Research Institute, Invergowrie Dundee DD2, 5DA, U.K. Plant Pathol. 46(1):7-25.

Hincapie, L.A. 2006. Evaluación de la variabilidad molecular de *Spongospora subterranea* (Wallroth) Lagerheim f. sp. *subterranea* en las principales zonas paperas de Colombia. Tesis de Maestría en Biotecnología. Facultad de Ciencias

- Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 65 p.
- Jaramillo, S., L.H. Hincapié, E. Calderon, L. Afanador, C. Narvaez, A. Machuca y G. Correa. 2004. Caracterización patogénica y molecular de diferentes poblaciones *Spongospora subterranea* en Colombia, Fase II. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 90 p. (Informe Mimeografiado).
- Karling, J.S. 1942. The Plasmodiophorales. Hafner Publishing, New York. 144 p.
- Merz, U. 2000. Potato production and powdery scab situation in Switzerland. In: Proc. First European Powdery Scab Workshop. 20-22 Jul, 2000. Aberdeen, Scotland.
- Salazar, L.F. 1995. Los virus de la papa y su control. Centro Internacional de la Papa (CIP), Lima, Perú. 226 p.
- Van De Graaf, P., A. K. Lees, S. J. Wale and J. M. Duncan. 2005. Effect of soil inoculum level and environmental factors on potato powdery scab caused by *Spongospora subterranea*. Plant Pathol. 54(6): 812-819.
- Wastie, R.L. and H.E. Stewart. 1989. Resistance screening fungal and bacterial diseases. Scottish Crop Res. Inst. Annu. Rept. for 1988. p. 78-79.