



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

PRODUCCIÓN DE SEMILLAS

SUSTRATO DE CRECIMIENTO Y GENOTIPO EN LA INCIDENCIA DE SARNA POLVORIENTA (*Spongospora subterranea*) EN TUBÉRCULO SEMILLA DE PAPA

ELIZABETH ORTIZ GARCÍA

T E S I S

**PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2016

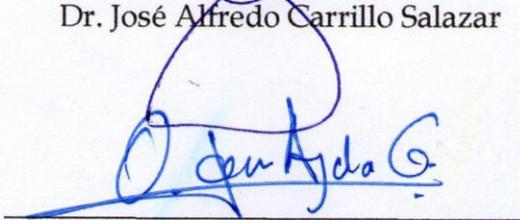
La presente tesis titulada: **SUSTRATO DE CRECIMIENTO Y GENOTIPO EN LA INCIDENCIA DE SARNA POLVORIENTA (*Spongospora subterranea*) EN TUBÉRCULO SEMILLA DE PAPA** realizada por la alumna: **ELIZABETH ORTIZ GARCÍA**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

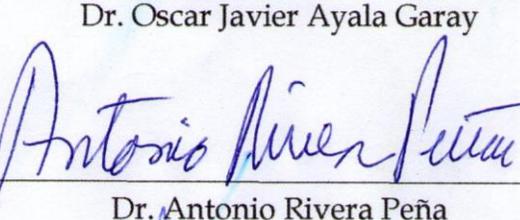
MAESTRA EN CIENCIAS

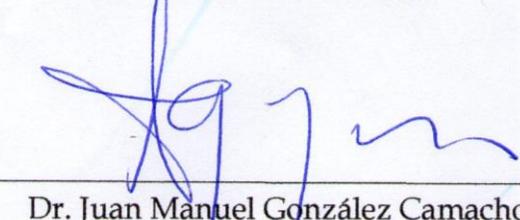
PROGRAMA EN PRODUCCIÓN DE SEMILLAS

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO: 
Dr. José Alfredo Carrillo Salazar

ASESOR: 
Dr. Oscar Javier Ayala Garay

ASESOR: 
Dr. Antonio Rivera Peña

ASESOR: 
Dr. Juan Manuel González Camacho

Montecillo, Texcoco, Edo. de México, septiembre de 2016

SUSTRATO DE CRECIMIENTO Y GENOTIPO EN LA INCIDENCIA DE SARNA POLVORIENTA (*Spongospora subterranea*) EN TUBÉRCULO SEMILLA DE PAPA

**Elizabeth Ortiz García, M. en C.
Colegio De Postgraduados, 2016.**

RESUMEN

La sarna polvorienta de la papa (*Solanum tuberosum* L.) es una enfermedad causada por *Spongospora subterranea*, patógeno del suelo que causa agallas en raíces y produce lesiones en el tubérculo que reducen su calidad comercial. La investigación tuvo como objetivos evaluar la incidencia de la sarna polvorienta en las variedades experimentales Bajío 143 y T01-14-36 resistentes a tizón tardío, y en la variedad comercial Felcina, así como el efecto de cuatro mezclas de sustrato sobre la enfermedad. El patógeno se inoculó, sumergiendo los tubérculos en una suspensión de 50,000 esporosoros mL⁻¹ durante 15 min. El experimento se realizó en el 2015 en el Valle de México bajo condiciones de malla sombra de 50% de transmisión de la radiación solar. Se realizó un diseño experimental en bloques completamente al azar, con cuatro repeticiones. La temperatura máxima promedio se presentó en el mes de julio con 34.9 °C, mientras que la mínima promedio más baja fue de 9.2 °C en el mes de octubre. La humedad relativa promedio fue de 76 %. Las temperaturas promedio de los sustratos fueron: turba + perlita 18.7 °C, turba + perlita + abono 19.4 °C, suelo 18 °C y suelo + abono de 19.0 °C. Se observó la incidencia de la enfermedad en tubérculos y raíces de plantas inoculadas con el patógeno. Las plantas que presentaron los síntomas de la enfermedad en raíz no presentaron menor biomasa ni menor área foliar. No se observaron diferencias significativas entre variedades, para el daño en raíces y tubérculos. La combinación de suelo arcilloso más abono de ovino fue el sustrato que causó mayor incidencia de la enfermedad, mientras que el sustrato compuesto por la mezcla de turba y perlita fue la que causó la menor incidencia en la formación de agallas. Para el análisis de los resultados se utilizaron métodos no paramétricos, entre otros la prueba de Wilcoxon y Wilcoxon DSCF, con un nivel de significancia de 0.05.

Palabras clave: *Spongospora subterranea*, resistencia, variedades mejoradas, turba, abono de ovino.

SUBSTRATUM FROM GROWTH AND GENOTYPE IN THE INCIDENCE OF POWDERY SCAB (*Spongospora subterranea*) ON SEED POTATO TUBER

**Elizabeth Ortiz García, M. en C.
Colegio De Postgraduados, 2016.**

ABSTRACT

Powdery scab of potato (*Solanum tuberosum* L.) is a disease caused by *Spongospora subterranea*, soil pathogen causes galls on roots and tuber produces lesions that reduce their commercial quality. The research aimed to evaluate the incidence of powdery scab in the experimental varieties Bajío 143 and T01-14-36 resistant to late blight, and the commercial variety Felcina, as well as the effect of four mixtures of substrate on the disease. The pathogen was inoculated by dipping the tubers in a suspension of 50.000 esporosoros mL⁻¹ for 15 min. The experiment was conducted in 2015 in the Valley of Mexico under conditions mesh shade of 50% transmission of solar radiation. An experimental design was conducted in a randomized complete block with four replications. The maximum average air temperature in July with 34.9 °C, while the average minimum was 9.2 °C in October. The average relative humidity was 76%. Average temperatures of the substrates were: peat + perlite 18.7 °C, peat + perlite + fertilizer 19.4 °C, 18 °C and ground floor fertilizer + 19.0 °C. The incidence of the disease in tubers and roots of plants inoculated with the pathogen was observed. Plants that showed symptoms of the disease had lower root biomass or no less leaf area. No significant variations were observed, to damage roots and tubers. The combination clayey soil more sheep manure was the substrate caused increased incidence of the disease, while the substrate composed of the mixture of peat and perlite was causing the least impact on the formation of galls. For analysis of the results nonparametric methods were used, among other methods and Wilcoxon and Wilcoxon DSCF, with a significance level of 0.05.

Keywords: *Spongospora subterranea*, resistance, improved varieties, peat, composted sheep.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, a quien le debo mi existencia, por haberme permitido llegar hasta este punto y caminar siempre a mi lado.

Al Colegio de Postgraduados, que hizo posible mis estudios de Postgrado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el financiamiento otorgado para la realización de esta investigación.

Al Programa de Producción de Semillas, del Instituto de Recursos Genéticos y Productividad (IREGEP) del Colegio de Postgraduados, por la formación académica y el apoyo brindado para realizar mis estudios de maestría.

Al Dr. José Alfredo Carrillo Salazar, por su apoyo y paciencia, por compartir sus conocimientos y su valiosa dirección en la realización de esta investigación.

Al Dr. Oscar Javier Ayala Garay, por su apoyo y paciencia, y su valiosa colaboración en la realización del presente trabajo.

Al Dr. Antonio Rivera Peña, por compartir sus conocimientos y su importante participación en la realización de esta investigación.

Al Dr. Juan Manuel González Camacho, por sus acertadas sugerencias y apoyo en la realización de este trabajo.

Al Dr. Cristian Nava Díaz, por compartir sus conocimientos y las sugerencias que contribuyeron a mejorar la presente investigación.

A todas las personas que de alguna manera contribuyeron para la realización de este trabajo, especialmente a Luis Lugo Onofre Venegas, que siempre me mostró su apoyo incondicional, al Sr. Sabino Gaspar Hernández por hacer ameno el trabajo y al Sr. Toribio Deheza Santillán.

DEDICATORIA

A mis padres:

Enrique Ortiz Hernández y Elizabeth García Santamaría. Con todo mi cariño y amor, por motivarme para alcanzar siempre mis metas.

A ti mamá: Por ser el ejemplo de una gran mujer, por tus consejos, comprensión y confianza, pero sobre todo por tu amor incondicional.

A ti papá: Por estar siempre a mi lado, por el apoyo brindado durante toda mi vida, pero sobre todo por tu amor incondicional.

A mi hermana:

Andrea Ortiz García, por tu cariño, comprensión y apoyo, porque por ti intento ser mejor cada día. Gracias por ser una gran hermana.

A mis abuelos:

Por todas sus enseñanzas, su sabiduría y ejemplos de perseverancia, por el amor que me brindan siempre. Solo le pido a Dios que les brinde muchos años más para compartir conmigo, y a los que hoy ya no se encuentran a mi lado, en donde quiera que estén siempre los llevo en mi pensamiento.

A mis tíos (as) y primos (as):

Porque siempre han estado a mi lado apoyándome, y llenando mi vida de amor y alegría, porque de ustedes he aprendido infinidad de cosas, pues cada uno posee grandes virtudes.

A mis amigos (as):

Por estos años de amistad y cariño, por motivarme a ser siempre una mejor persona, porque aunque la vida nos vaya poniendo en caminos diferentes, sé que siempre estarán a mi lado para apoyarme. Gracias por compartir los buenos y malos momentos durante este proceso de formación. Siempre contarán conmigo.

CON TODO MI CARIÑO LES DEDICO ESTA TESIS

ELIZABETH ORTIZ GARCÍA

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT.....	iv
LISTA DE CUADROS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
1.2. HIPÓTESIS	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Origen	4
2.2. Importancia de la papa	4
2.3. Factores que afectan el crecimiento y desarrollo del cultivo de papa	6
2.3.1. Temperatura.....	6
2.3.2. Humedad	7
2.3.3. Intensidad de luz.....	8
2.3.4. Fotoperiodo	8
2.3.5. Nitrógeno	8
2.3.6. Altitud	9
2.3.7. Suelos	9
2.3.8. Estiércol	9
2.4. Fenología del cultivo	9
2.5. Biología y Clasificación de <i>Spongospora subterranea</i>	12
2.6. Síntomas de la sarna polvorienta.....	13
2.7. Importancia y efectos de la sarna polvorienta.....	15
2.8. Factores que afectan a la enfermedad	16
2.8.1. Temperatura	16
2.8.2. Precipitación	17
2.8.3. Tipo de suelo	18
2.8.4. pH del suelo.....	18
2.8.5. Mejoramiento genético como control de la enfermedad.....	18
III. MATERIALES Y MÉTODOS	21

3.1. Sitio experimental.....	21
3.2. Material vegetal.....	21
3.3. Sustratos.....	22
3.4 Inóculo	23
3.5. Fecha de siembra.....	24
3.6. Diseño experimental	24
3.7. Inoculación de la semilla.....	25
3.8. Labores culturales	25
3.9. Variables de los sustratos.....	25
3.9.1. Características físicas de los sustratos	25
3.9.2. Características químicas de los sustratos.....	26
3.10. Variables ambientales.....	26
3.10.1. Datos meteorológicos	26
3.10.2. Temperatura del suelo.....	26
3.11. Variables de crecimiento y fisiológicas.....	27
3.11.1 Acumulación de biomasa.....	27
3.11.2. Área foliar.....	28
3.12. Variables relacionadas con el daño físico de <i>S. subterranea</i> f. sp. <i>subterranea</i> en la planta de papa.....	28
3.12.1. Daño en raíces (37 DDS y 148 DDS)	28
3.12.2. Daño en tubérculos de papa (148 DDS)	29
3.13. Análisis estadístico	30
IV. RESULTADOS	31
4.1. Condiciones ambientales.....	31
4.1.1. Temperatura mensual del aire	31
4.1.2. Humedad relativa	32
4.1.3. Temperatura mensual de los sustratos.....	33
4.2. Características físicas y químicas del suelo y los sustratos.....	35
4.3. Efecto de la variedad, inóculo y sustrato en el primer muestreo 37 DDS35	
4.4. Efecto de la variedad en las variables respuesta del primer muestreo 37	
DDS	39

4.3. Efecto del inóculo en las variables respuesta del primer muestreo 37 DDS	43
4.4. Efecto del sustrato en las variables respuesta de la primera fecha de muestreo 37 DDS	45
4.5. Efecto de los tratamientos en las variables respuesta de la primera fecha de muestreo 37 DDS.....	47
4.6. Efecto de la variedad, inóculo y sustrato en las variables respuesta en la segunda fecha de muestreo 148 DDS.....	51
4.7. Efecto de la variedad en la segunda fecha de muestreo 148 DDS.....	56
4.8. Efecto del inóculo en la segunda fecha de muestreo 148 DDS.....	59
4.9. Efecto del sustrato en la segunda fecha de muestreo 148 DDS.....	61
4.10. Efecto de los tratamientos en la segunda fecha de muestreo 148 DDS	63
V. DISCUSIÓN	68
VI. CONCLUSIONES	72
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	73

LISTA DE CUADROS

- Cuadro 1. Escala de daño según el número de agallas. 29
- Cuadro 2. Escala según el porcentaje de daño en tubérculo. 29
- Cuadro 3. Características físicas y químicas de los sustratos usados para cultivar plantas de papa en Montecillo, México durante el verano de 2015. 35
- Cuadro 4. Prueba no paramétrica de Wilcoxon-Kruskal-Wallis, para el efecto de la variedad en biomasa seca por órgano, producción de tubérculo, área foliar e incidencia de la enfermedad por planta de papa cultivada en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, México. Primer muestreo destructivo (17 de julio 2015).. 36
- Cuadro 5. Prueba no paramétrica de wilcoxon-kruskal-wallis, para el efecto del inóculo en biomasa seca por órgano, producción de tubérculo, área foliar e incidencia de la enfermedad de papa cultivada en el campo experimental del colegio de postgraduados, en Montecillo, México. Primer muestreo destructivo (17 de julio 2015). 37
- Cuadro 6. Prueba no paramétrica de Wilcoxon-Kruskal-Wallis, para el efecto del sustrato en biomasa seca por órgano, producción de tubérculo, área foliar e incidencia de la enfermedad por planta de papa cultivada en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, México. Primer muestreo destructivo (17 de julio 2015).. 38
- Cuadro 7. Comparación por pares Wilcoxon DSCF del efecto de la variedad en la acumulación de biomasa y rendimiento de tubérculo, área foliar e incidencia de la enfermedad en papa cultivada en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, México en el primer muestreo realizado (17 de julio 2015). 42
- Cuadro 8. Comparación por pares Wilcoxon DSCF del efecto del inóculo en la acumulación de biomasa y rendimiento de tubérculo, área foliar e incidencia de la enfermedad en papa cultivada en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, México en el primer muestreo realizado (17 de julio 2015). 44

Cuadro 9. Comparación por pares Wilcoxon DSCF del efecto del sustrato en la acumulación de biomasa y rendimiento de tubérculo, área foliar e incidencia de la enfermedad en papa cultivada en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, México en el primer muestreo realizado (17 de julio 2015).....	46
Cuadro 10. Prueba no paramétrica de Wilcoxon-Kruskal-Wallis, para el efecto de los tratamientos en la biomasa seca por órgano, producción de tubérculo, área foliar e incidencia de la enfermedad por planta de papa cultivada en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, México. Primer muestreo destructivo (17 de julio 2015).	48
Cuadro 11. Prueba no paramétrica de Wilcoxon-Kruskal-Wallis para el efecto de los grupos en la producción de tubérculo e incidencia de la enfermedad por planta de papa cultivada en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, México. Primer muestreo destructivo del 18 de julio 2015.	51
Cuadro 12. Prueba no paramétrica de Wilcoxon-Kruskal-Wallis, para el efecto de la variedad en biomasa seca por órgano, producción de tubérculo, área foliar e incidencia de la enfermedad por planta de papa cultivada en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, México, en el segundo muestreo realizado el 26 de octubre 2015.	53
Cuadro 13. Prueba no paramétrica de Wilcoxon-Kruskal-Wallis, para el efecto del inóculo en biomasa seca por órgano, producción de tubérculo, área foliar e incidencia de la enfermedad por planta de papa cultivada en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, México, en el segundo muestreo realizado el 26 de octubre 2015.	54
Cuadro 14. Prueba no paramétrica de Wilcoxon-Kruskal-Wallis, para el efecto del sustrato en biomasa seca por órgano, producción de tubérculo, área foliar e incidencia de la enfermedad por planta de papa cultivada en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, México, en el segundo muestreo realizado el 26 de octubre 2015.	55

- Cuadro 15. Comparación por pares Wilcoxon DSCF del efecto de la variedad en la acumulación de biomasa y rendimiento de tubérculo, área foliar e incidencia de la enfermedad en papa cultivada en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, México, en el segundo muestreo realizado el 26 de octubre 2015. 57
- Cuadro 16. Comparación por pares Wilcoxon DSCF del efecto del sustrato en la acumulación de biomasa y rendimiento de tubérculo, área foliar e incidencia de la enfermedad en papa cultivada en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, México, en el segundo muestreo realizado el 26 de octubre 2015. 60
- Cuadro 17. Comparación por pares Wilcoxon DSCF del efecto del sustrato en la acumulación de biomasa y rendimiento de tubérculo, área foliar e incidencia de la enfermedad en papa cultivada en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, México, en el segundo muestreo realizado el 26 de octubre 2015. 62
- Cuadro 18. Prueba no paramétrica de Wilcoxon-Kruskal-Wallis, para el efecto de los tratamientos en biomasa seca por órgano, producción de tubérculo, área foliar e incidencia de la enfermedad por planta de papa cultivada en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, México. Segundo muestreo destructivo realizado el 26 de octubre 2015. 64
- Cuadro 19. Prueba no paramétrica de Wilcoxon-Kruskal-Wallis, para el efecto de los grupos en la acumulación de biomasa, producción de tubérculo, área foliar e incidencia de la enfermedad por planta de papa cultivada en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, México. Segundo muestreo destructivo realizado el 26 de octubre 2015. 67

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Daño en raíces causado por *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea*. 14
- Figura 2. Daño en tubérculo causado por *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea*. 14
- Figura 3. Campo experimental del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo..... 21
- Figura 4. Esporosoros de *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea* dentro de las células del hospedante a un aumento de 40x. 24
- Figura 5. Lavado de raíces..... 28
- Figura 6. Temperaturas mensuales promedio (—▲—), máximas (—◆—) y mínimas (—■—) diarias del aire (°C) registradas durante un experimento de papa en Montecillo, México durante el verano 2016. 32
- Figura 7. Humedad relativa promedio mensual (%) registrada durante un experimento de papa en Montecillo, México, en el verano 2015..... 33
- Figura 8. Promedios mensuales de la temperatura máxima (°C) de los sustratos turba + perlita + abono (—◆—), turba + perlita (—▲—), suelo (—✱—), suelo + abono (···+···); y promedios mensuales de la temperatura mínima de los sustratos turba + perlita + abono (—■—), turba + perlita (—✱—), suelo (—●—) y suelo + abono (···-···), en Montecillo, México, durante el verano del 2015..... 34
- Figura 9. Distribución de las puntuaciones de Wilcoxon para número de tubérculos (NTUB), según variedad. 39
- Figura 10. Daño causado por *Spongospora subterranea* en raíces de la variedad Bajío 143..... 40

Figura 11. Daño causado por <i>Spongospora subterranea</i> en raíces de la variedad Felcina.	40
Figura 12. Daño causado por <i>Spongospora subterranea</i> en raíces de la variedad T01-14-36.	41
Figura 13. Distribución de las puntuaciones de Wilcoxon para daño en raíz (DRAIZ), de acuerdo con el nivel de inóculo.	43
Figura 14. Distribución de las puntuaciones de Wilcoxon para área foliar (AF), según el tipo de sustrato. Sustrato 1 : suelo; sustrato 2 : turba + perlita; sustrato 3 : suelo + abono; sustrato 4 : turba + perlita + abono.	45
Figura 15. Grupos de tratamientos, agrupados de acuerdo a las variables respuesta (TUBF, BSTUB, BSTOTAL y DRAIZ) que mostraron diferencias significativas entre tratamientos con la prueba de Wilcoxon-Kruskal-Wallis.	50
Figura 16. Distribución de las puntuaciones de Wilcoxon para la biomasa seca total (BSTOTAL), según variedad.	56
Figura 17. Variedades evaluadas. A) T01-14-36; b) Bajío 143 y c) Felcina.	58
Figura 18. Distribución de las puntuaciones de Wilcoxon para daño en tubérculo (DTUB), según el nivel de inóculo.	59
Figura 19. Distribución de las puntuaciones de Wilcoxon para daño en raíz (DRAIZ), según sustrato.	61
Figura 20. Grupos de tratamientos, agrupados de acuerdo a las variables respuesta (MSH, MST, MSR, NTUB, AF, MSTA, DRAUZ, DTUB) que mostraron diferencias significativas entre tratamientos con la prueba de Wilcoxon-Kruskal-Wallis.	66

I. INTRODUCCIÓN

La sarna polvorienta de la papa (*Solanum tuberosum* L.), causada por el patógeno *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea* (Sss), es una enfermedad presente en la mayoría de las áreas productoras de papa alrededor del mundo (Restrepo *et al.*, 2009). Esta enfermedad causa lesiones en el tubérculo lo cual reduce la calidad y valor económico de los tubérculos de papa cultivada para semilla o venta en fresco (mercado o procesado), además de ser vector del virus de la papa Mop-top (Kirk, 2008; Merz y Falloon, 2009).

Los síntomas de daño por la enfermedad se observan en raíces y tubérculos; en raíces se presentan como agallas esféricas, ahusadas o más o menos amorfas y no huecas (Gallego y Sánchez citado por Rendón, 2012) que contienen bolas llenas de esporas en reposo (Merz, 2008). Además, cuando el patógeno infecta la raíz, reduce el crecimiento del huésped y la productividad. La infección en tubérculos se evidencia por la presencia de pústulas que se juntan y pueden llegar a formar una sola lesión grande, que también contiene esporosoros. Este fitopatógeno produce potencialmente más daño cuando infecta los tubérculos, porque reduce el número de tubérculos comerciales y estos se convierten en una fuente de infestación cuando se usan como semilla para plantaciones posteriores (Merz y Falloon, 2009).

La enfermedad ha cobrado importancia en las últimas décadas como resultado de la siembra generalizada de materiales susceptibles al patógeno, a la baja calidad fitosanitaria de la semilla, la utilización de sistemas de riego en los cultivos, los cambios de épocas de siembra hacia períodos húmedos, deficiencias en los sistemas de rotación de cultivos, la falta de programas cuarentenarios y los altos estándares exigidos por el mercado en la calidad cosmética de los tubérculos (Harrison *et al.*, 1997; Osorio *et al.*, 2012). Aunado a esto, la presencia de la enfermedad es cíclica cuando se presentan las condiciones para su desarrollo (Merz, 2008).

Hay diversas variables que pueden influir en el desarrollo de la enfermedad. Algunos productores de papa consideran que el daño de la sarna polvorienta en el tubérculo de papa es más evidente en el suelo con depósitos de estiércol de borrego como abono. Eso podría deberse a que las estructuras de resistencia de Sss pueden sobrevivir al paso por el tracto intestinal de ganado alimentado con tubérculos infectados con esta enfermedad (Torres, 2002), lo que favorece la dispersión de este patógeno en el suelo. Sin embargo, otros factores podrían estar promoviendo el desarrollo de la enfermedad, como el pH del suelo o algún compuesto orgánico o inorgánico, pero aún no se cuenta con evidencias al respecto.

Por otro lado, el mejoramiento genético es la mejor opción para el control de la enfermedad, aunque se desconoce la existencia de un programa para encontrar resistencia a Sss; poco se ha estudiado la variación genética de Sss o del papel de la recombinación sexual en su ciclo de vida (Merz y Falloon, 2009) debido a la dificultad para obtener y mantener el patógeno por su naturaleza de parásito obligado, y hasta el momento no hay métodos disponibles para el aislamiento de esporos individuales. Además, el desarrollo de la sarna polvorienta es altamente dependiente del ambiente (Less, 2000; Qu y Christ, 2006).

A pesar de que no existe un programa específico para desarrollar variedades resistentes a Sss, en el INIFAP se cuenta con un programa de mejoramiento genético de papa para encontrar resistencia a *Phytophthora infestans*. Las variedades generadas (entre ellas Bajío 143 y T01-14-36) fueron obtenidas de la cruce de materiales silvestres y comerciales, e hipotéticamente pueden presentar genes que les confieran tolerancia o resistencia a Sss.

Por todo ello, en esta investigación se estudiaron los efectos del sustrato y el genotipo del hospedero en la incidencia de sarna polvorienta en papa, mediante la evaluación de variables fisiológicas, el rendimiento y calidad del tubérculo para semilla.

1.1. OBJETIVO GENERAL

1. Evaluar la resistencia a sarna polvorienta de las variedades experimentales Bajío 143 y T01-14-36, resistentes a tizón tardío.
2. Evaluar el efecto del sustrato en la incidencia de sarna polvorienta.

1.2. HIPÓTESIS

1. Las variedades experimentales son resistentes a la enfermedad de la sarna polvorienta.
2. La incidencia de la sarna polvorienta de la papa es menor en el sustrato compuesto por la mezcla turba y perlita que en el suelo abonado con estiércol de ovino.

I. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Origen

La papa es originaria de la región sur de América, de la zona andina que comprende los países de Perú, Ecuador, Bolivia y las costas e islas del sur de Chile. Algunas variedades silvestres son originarias de México. Se considera que la papa es originaria de América del Sur, en la zona andina de Perú, Ecuador y Bolivia (Horton, 1987; Arce, 2002). Montaldo, (1984) considera que la papa tuvo dos centros de origen: el centro de origen Chiloé para *Solanum tuberosum* y el centro de Perú, Ecuador y Bolivia, donde está representada la papa cultivada andina (*Solanum andigenum*). Los incas del Perú cultivaban esta hortaliza desde hace dos mil años, lo que habla de la tradición de este producto en las culturas indígenas del continente (Cásseres, 1986; Horton, 1987).

A pesar de que es un cultivo de origen americano actualmente los principales países productores son europeos y asiáticos (SIAP, 2012).

2.2. Importancia de la papa

La papa es el cuarto cultivo en importancia después de trigo, arroz y maíz, y su producción anual representa 50 % de la producción mundial de todas las raíces y tubérculos. El mayor flujo comercial, tanto a nivel mundial como en América Latina, se realiza como papa procesada (Eguillor, 2010). En el periodo 2001-2010, ocho países concentraron 62 % de la producción mundial, en donde destacan: China (21 %), Estados Unidos de Norte América (10 %) e India (9 %). México obtuvo una producción promedio de 1.6 millones de ton en este periodo, y ocupó el lugar 33 de 159 países productores (SIAP, 2012). México tiene una superficie promedio de 62 mil ha, lo que representa 0.3% de la superficie cosechada a nivel mundial. El rendimiento promedio mundial es de 17 ton/ha. Los países con los mayores rendimientos promedio son: Estados

Unidos de Norte América (43 ton/ha), Alemania (41 ton/ha), México (26 ton/ha), India (19 ton/ha) y Polonia (18 ton/ha) (SIAP, 2012).

En México este cultivo resulta de gran importancia por dos aspectos fundamentales; primero por ser un alimento rico en nutrientes, con rendimiento alto de tubérculo que satisface los requerimientos energéticos y nutricionales de más de dos mil millones de habitantes (Scott *et al.*, 2000), y su valor económico de 11 mil millones de pesos con un volumen producido alrededor de 1.8 millones de ton que le coloca como el séptimo cultivo más importante en el país de acuerdo con cifras del SIAP (2014); y segundo porque es una fuente de ingresos debido a la gran demanda de jornales de trabajo durante la siembra, cosecha, comercialización y demás actividades relacionadas con su producción. La papa se cultiva en 22 estados de la República, principalmente bajo riego (64 %) y en el ciclo primavera-verano (SIAP, 2008), en estados del Norte y Noroeste del país. Seis entidades concentran 73 % del volumen y 76 % del valor generado, entre los cuales se encuentran: Sinaloa (21 %), Sonora (17 %), Chihuahua (9 %) y Estado de México (8 %). De acuerdo con la información proporcionada por el Sistema Producto Papa, en la producción de papa participan 8,700 productores y 77,800 familias (SIAP-SAGARPA, 2014).

El cultivo de papa es susceptible a diversas enfermedades que reducen la productividad y la calidad del tubérculo. En algunos casos se acumulan patógenos durante la clonación sucesiva del tubérculo y en el suelo donde se cultivan. Por esto la producción sostenible de papa depende de la renovación constante del material de siembra libre de enfermedades (FAO, 2008), ya que la semilla es uno de los factores de mayor importancia para la producción agrícola, en donde una semilla de buena calidad aumenta la producción, productividad y optimiza el uso de insumos debido a una mayor uniformidad de emergencia y vigor de plantas (Montesdeoca, 2005; Velásquez, 2006).

2.3. Factores que afectan el crecimiento y desarrollo del cultivo de papa

La tuberización y el crecimiento de papa, incluyendo la del tubérculo, dependen de factores tales como la intensidad y duración del día, temperatura, nutrición, humedad del suelo, radiación solar, edad fisiológica de la semilla (Wilson *et al.*, 1995; Jackson, 1999 y Ghassan *et al.*, 2000); además, un simple cambio en la fecha de siembra tiene efecto en más de uno de estos factores (Soboh *et al.*, 2000).

Como en otras especies vegetales, el papel del genotipo es fundamental en la respuesta del crecimiento y desarrollo de las variedades de papa al ambiente (Jackson, 1999).

2.3.1. Temperatura

La temperatura junto con la radiación solar afectan el crecimiento y desarrollo del cultivo de papa; contribuyen a la inducción de la tuberización e influyen en la acumulación de carbohidratos y materia seca de los tubérculos (Soboh *et al.*, 2000). La temperatura base del cultivo de papa es 6 °C (Cao y Tibbitts, 1995).

En la plantación, la temperatura debe oscilar entre 12 a 16 °C; después, ésta debe aumentar a 20 °C para favorecer la emergencia de brotes y el crecimiento de los estolones y raíces (Ghassan *et al.*, 2000). Posteriormente se requieren temperaturas entre 24 y 28 °C para inducir crecimiento vegetativo (Rousselle *et al.*, 1996). La temperatura óptima del suelo para que inicie la tuberización es entre 16 y 19 °C. La tuberización se pospone cuando las partes aéreas de la planta están sometidas a temperaturas elevadas (Manrique citado por Santibáñez, 1994). El desarrollo de los tubérculos empieza a caer cuando la temperatura del suelo sube por encima de 20 °C y el crecimiento de los tubérculos se detiene prácticamente cuando la temperatura del suelo está por encima de los 30 °C (Arce, 2002).

La papa es considerada una planta termoperiódica, lo que significa que es necesario una variación, entre la temperatura diurna y la nocturna, de por lo menos 10 °C. Para la acumulación de fotosintatos en el tubérculo, la temperatura óptima es alrededor de 17 °C, mientras que el crecimiento vegetativo se favorece con temperaturas de 21 °C. Las temperaturas bajas del suelo durante los estados de crecimiento del brote vegetativo, reducen la tasa de crecimiento de raíces y la asimilación de nutrientes, especialmente el fósforo. Las altas temperaturas pueden acelerar el desarrollo de la planta y apresurar su senescencia, especialmente en variedades de maduración temprana (Rubio Covarrubias et al., 2000).

2.3.2. Humedad

La planta de papa necesita agua continuamente durante su ciclo de cultivo. La cantidad de agua requerida para su cultivo fluctúa entre 600 y 1000 mm por ciclo dependiendo de la temperatura, de la capacidad de almacenamiento del suelo y de la variedad (Rubio *et al.*, 2000). Durante la primera fase de desarrollo requiere poca agua, pero después y hasta la cosecha el consumo de agua es alto y se satisface con una humedad del suelo entre 65 y 70 % de su capacidad de campo. La deficiencia de agua durante el crecimiento de la planta, causa malformaciones de los tubérculos y disminuye la producción. También la alternancia de períodos húmedos y secos propician crecimiento secundario del tubérculo que disminuye su calidad (Parsons, 1995).

En la cosecha, la humedad del suelo debe estar al menos a 60 % de capacidad de campo. Debajo de este nivel puede ocurrir marchitez y en condiciones bajas de humedad puede haber muerte de tubérculos. Por otro lado, cantidades excesivas de agua pueden producir anoxia y pudrición de tubérculos (Scott y Willockson, 1982).

2.3.3. Intensidad de luz

Tanto la intensidad como la duración de la luz afecta a las plantas. Con bajas intensidades luminosas se estimula el crecimiento de la vegetación y se retrasa el crecimiento de los tubérculos. La luz utilizada para la asimilación depende por una parte de la luz disponible, es decir, de la intensidad de la luz y de las horas de luz diaria y por otra parte por la luz interceptada por las partes verdes de la plantas, principalmente las hojas. Cuando la intensidad de la luz es alta, tanto el inicio de la tuberización como el engrosamiento de los tubérculos empieza antes, se alcanza antes el crecimiento máximo de los tallos, los rendimientos son mayores y los tubérculos contienen más materia seca que cuando la intensidad de la luz es baja (Rousselle *et al.*, 1999; Arce, 2002).

2.3.4. Fotoperiodo

La duración del periodo luminoso tiene un efecto diferencial en el inicio de la tuberización, según el genotipo. Los días cortos o más exactamente las noches de mayor duración, favorecen una inducción precoz de la tuberización, los estolones son cortos, el desarrollo de tubérculos es óptimo y el follaje es escaso. Sin embargo, los días cortos para la tuberización está en función del genotipo, ya que existe para cada uno de ellos una longitud crítica del día o fotoperiodo crítico. Por debajo de dicho período crítico la tuberización se efectúa normalmente, mientras que por encima se ve frenada o totalmente inhibida (Arce, 2002).

2.3.5. Nitrógeno

El nivel de fertilización nitrogenada tiene un efecto importante en la tuberización. Dosis altas de N₂ estimulan el crecimiento de la parte aérea y retrasan la tuberización. También disminuye el llenado de tubérculos, retrasan su maduración, afectando el contenido de materia seca, produce un alto contenido de azúcares reductores y alto contenido en proteína (Salisbury y Ross, 1994; Arce, 2002).

2.3.6 Altitud

La altitud ideal para el desarrollo y producción del cultivo de la papa para consumo se encuentra entre los 1,500 a 2500 msnm, pero puede cultivarse en alturas menores como a 460 msnm, cuando existen condiciones de bajas temperaturas (Cortez y Hurtado, 2002).

2.3.7. Suelos

Los mejores suelos son los francos, franco-arenosos, franco-limosos y franco-arcillosos, de textura liviana, con buen drenaje y con una profundidad efectiva mayor de los 50 cm, que permitan el libre crecimiento de los estolones y tubérculos y faciliten la cosecha (Cortez y Hurtado, 2002).

El pH óptimo para un buen desarrollo, crecimiento y producción fluctúa de 5.0 a 7.0; esto demuestra la diversidad de suelos en que puede cultivar esta especie. La papa es sensible a suelos compactados, es moderadamente tolerante a la salinidad y requiere de más de 2% de materia orgánica para una óptima producción (Rubio *et al.*, 2000).

2.3.8. Estiércol

Además de su efecto como fertilizante, el humus producido por la materia orgánica mejora la estructura de los suelos fuertes o arcillosos y por otra parte se mejora la capacidad de retención de humedad de los suelos ligeros o arenosos (Arce, 2002).

2.4. Fenología del cultivo

Tomando en cuenta que la papa crece a partir de tubérculo-semilla, su ciclo biológico, de acuerdo con Rowe (1993), se puede dividir en cinco etapas de desarrollo.

i) Crecimiento de brotes. Los tubérculos han dejado la condición de reposo y tienen la capacidad de brotar, siempre que las condiciones ambientales sean favorables para el crecimiento (alta temperatura). Los brotes se desarrollan a partir de los “ojos” del tubérculo-semilla (tubérculo madre) y emergen a la superficie. El tubérculo-semilla es la fuente única de energía en esta etapa para el crecimiento de los brotes, y les transfiere 80 % de su peso seco (Moorby y Milthorpe, 1983).

ii) Crecimiento vegetativo. Empieza con la emergencia y termina con el inicio de la formación de tubérculos en los ápices de los estolones. Las hojas y ramas del tallo se desarrollan a partir de las yemas de los nudos de los brotes emergidos. Las raíces y los estolones se desarrollan de los nudos subterráneos. La planta aún obtiene energía del tubérculo-semilla, aunque la fotosíntesis empieza en este período.

Se ha determinado que el almidón en el tubérculo madre sustenta el crecimiento de la planta hasta por 30 días, y que casi la mitad del almidón se ha consumido cuando la planta está lista para ser autotrófica y producir energía suficiente para su crecimiento, desarrollo e iniciar la acumulación de reservas para la producción de tubérculos.

iii) Inicio de tuberización. El primer indicio de la formación de un tubérculo es el engrosamiento de la porción subapical del estolón, en la región del gancho, donde la mayor parte de los tejidos contienen células meristemáticas. Esta etapa tiene una duración de 10 a 14 días. En muchas variedades, el término de este evento coincide con el inicio de la floración. Los cultivares precoces empiezan a formar tubérculos más pronto que los cultivares tardíos. Estos últimos forman nuevos tubérculos durante la cuarta etapa de desarrollo, es decir, durante el crecimiento de los tubérculos previamente formados. Sin embargo, estos nuevos tubérculos generalmente no alcanzan el tamaño comercial y con frecuencia son reabsorbidos por la planta madre.

iv) Crecimiento del tubérculo. Este periodo se caracteriza por presentar división celular y expansión de las células del tubérculo formadas durante la iniciación; las células aumentan su volumen de 7 a 18 veces debido al almacenamiento de agua, nutrimentos y carbohidratos. El crecimiento es lineal si no existen limitantes. Durante esta etapa los tubérculos son el sitio dominante para la deposición de carbohidratos en forma de sacarosa, producidos por la fotosíntesis y que posteriormente serán transformados en almidón (Scott y Willockson, 1982). La tasa de crecimiento de los tubérculos en conjunto, es exponencial durante las primeras 2 o 3 semanas. Después el crecimiento es lineal y decrece cuando el índice de área foliar disminuye a uno al detenerse la producción de hojas y por la senescencia de las existentes. En esta etapa se redistribuye el nitrógeno, fósforo y potasio de la parte aérea a los tubérculos. Después de este periodo el peso seco de los tubérculos es mayor que el peso seco del resto de la planta. Este es el periodo de crecimiento crítico para el rendimiento y calidad del tubérculo, y los factores que los afectan son la temperatura, fertilización, edad fisiológica, la distancia entre plantas, fechas de siembra, riego y manejo de plagas y enfermedades.

v) Maduración. La planta se torna amarillenta y las hojas senescen; la fotosíntesis decrece gradualmente. El contenido de materia seca de los tubérculos alcanza su máximo y su epidermis engrosa. El incremento de materia seca durante este periodo se debe principalmente al traslado de carbohidratos desde las hojas a los tubérculos. Las yemas indican la latencia, la síntesis de almidón disminuye y se detiene cuando las hojas mueren; el peridermo continúa aumentando de espesor, aún después de que las hojas senescen.

En algunos estudios se destaca la importancia de la tuberización en papa, ya que es un proceso complejo que involucra a diferentes sistemas biológicos, y que puede tener influencia importante sobre aspectos que incluyen al

rendimiento, madurez para cosecha, desarrollo de enfermedades y defectos relacionados (Lulai, 2004).

2.5. Biología y Clasificación de *Spongospora subterranea*

La sarna polvosa o polvorienta de la papa (*Solanum tuberosum* L.), es causada por el patógeno *Spongospora subterranea* (Wallroth) Lagerheim f. sp. *subterranea* Tomlinson (Sss). A pesar de que presentan características comunes con hongos y protozoarios, se consideran actualmente como un phylum distinto, Plasmodiophoromycota. Estos organismos no producen hifas y su cuerpo vegetativo es un plasmodio holocárpico. El phylum consta de una sola clase, Plasmodiophoromycetes, un solo orden, Plasmodiophorales, y de una sola familia, Plasmodiophoraceae, la que contiene a *Spongospora* y ocho géneros más (Alexopoulos *et al.* 1996; Harrison *et al.*, 1997).

Según Hooker (1980), hay dos fases importantes del ciclo de vida de este patógeno, cada una iniciada por la infección de la célula huésped a través de un plasmodio unicelular. La fase esporogénica se presenta después de la división nuclear, produciendo esporas de pared gruesa, las cuales son altamente resistentes. Cada espora libera una sola zoospora primaria biflagelada, la cual entra en el sistema radical del huésped. En la fase esporangial, el esporangio de paredes delgadas se desarrolla entre células huéspedes, en las cuales se forman ocho zoosporas desde un plasmodio esporangiogéneo. Las zoosporas secundarias también son biflageladas y pueden salir del huésped e iniciar otro ciclo de infección.

El agente patógeno sobrevive en el suelo, este ha sido observado por varios autores (Harrison *et al.*, 1997; Falloon *et al.*, 2003; Van de Graaf *et al.*, 2005) quienes indican que el microorganismo posee estructuras de resistencia llamadas quistosoros, los cuales contienen las zoosporas primarias que infectan las células de las raíces, estolones o pelos radicales de sus

hospederos. Las zoosporas secundarias son liberadas de los zoosporangios formados en las raíces, las cuales inician numerosos ciclos de infección en las células de la raíz y de los tubérculos del hospedante.

2.6. Síntomas de la sarna polvorienta

Los síntomas se observan en raíces, estolones y tubérculos. En raíces se presentan como agallas esféricas, ahusadas o más o menos amorfas y no huecas (Gallego y Sánchez citados por Rendón *et al.*, 2012) que contienen bolas llenas de esporas en reposo (Merz, 2008). Las agallas son de 0.5 a 1.5 cm de tamaño y de forma más o menos irregular (Figura 1); al inicio las agallas son de color blanquecino y cuando alcanzan la madurez fisiológica se vuelven oscuras, debido al color marrón de las paredes de las estructuras de resistencia (Harrison *et al.*, 1997).

En tubérculos se evidencia como pústulas que se juntan y pueden llegar a formar una sola lesión grande (Figura 2) (Merz y Falloon, 2009). Cuando maduran, las costras de tubérculos forman masas pulverulentas de estructuras de descanso de pared gruesa llamados sporosoros (también conocido como 'quistosoros' o 'sporeballs'), que contienen grandes número de esporas de resistencia y son una fuente importante de inóculo porque puede sobrevivir en el suelo durante décadas, hacer polvo costra una enfermedad difícil de controlar (de Boer, 2000).

En las raíces, la formación de agallas disminuye la absorción de agua y nutrientes y por ende el desarrollo normal de las plantas infectadas (Fallon, 2008; Hoyos *et al.*, 2009), comprometiendo su crecimiento y producción, por lo cual un ataque severo de sarna polvorienta puede reducir los rendimientos del cultivo (Falloon *et al.*, 2004; Lister *et al.*, 2004). Falloon *et al.* (2005) reportan que las plantas de papa inoculadas con el patógeno, presentaron una

reducción del 76, 21, 17 y 7 % en el uso eficiente del agua, materia seca total, altura y número de hojas, respectivamente, con relación a plantas sin inocular.



Figura 1. Daño en raíces causado por *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea*.

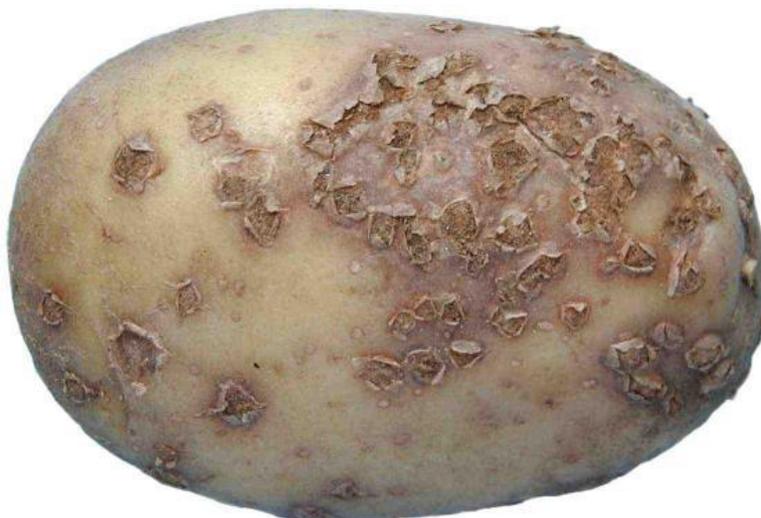


Figura 2. Daño en tubérculo causado por *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea*.

2.7. Importancia y efectos de la sarna polvorienta

El aumento en la importancia de esta enfermedad se atribuye a la popularidad de los cultivares de papa que son particularmente susceptibles a la enfermedad (Kirkham, 1986). La enfermedad se presenta en la mayoría de las áreas productoras de papa alrededor del mundo, debido a que afecta directamente al sistema radical de la papa generando reducciones en la producción de tubérculos, además de dañar su apariencia y disminuir su valor económico (García y Navia, 2001).

El efecto en los tubérculos de papa es principalmente cosmético, ya que causa pústulas superficiales con abundantes quistosoros, haciendo que parezcan antiestéticos, afectando el valor comercial y calidad de los tubérculos cultivados para semilla, venta en el mercado fresco o procesado. Esta enfermedad también puede tener un efecto importante en el comercio de exportación, especialmente de tubérculos semilla. Un cultivo no puede ser cosechada si está manchado gravemente, o los tubérculos afectados, en ocasiones equivale a más de la mitad del rendimiento, y puede ser descartado antes de comercializar el resto. Además, investigaciones recientes sugieren que este patógeno, afecta el funcionamiento de la raíz, crecimiento de su hospedante y la productividad del cultivo (Lister *et al.*, 2004; Shah *et al.*, 2012).

Los tubérculos-semilla con sarna polvorienta son comercialmente inaceptable para el establecimiento de nuevos cultivos debido a que la enfermedad puede ser transmitida a través de la semilla infectada e infestada, y los sistemas de certificación de semillas por lo general incluyen bajos niveles de tolerancia para la incidencia en sarna polvorienta (Falloon *et al.*, 2004; Lister *et al.*, 2004).

Este patógeno también es importante, debido a que es el vector del virus mop-top de la papa (MPTV). Salazar y Jones (1975) señalan 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. El PMTV sobrevive entre los cultivos de papa en las esporas (quistes) de *S. subterranea* y son introducidas a las plantas durante la infección por zoosporas virulentas (Jones y Harrison, 1972; Foxe, 1980).

2.8. Factores que afectan a la enfermedad

La temperatura, humedad y genotipo son factores determinantes en el desarrollo de la enfermedad (Harrison *et al.*, 1997). Van de Graaf *et al.* (2005) consideran que la infección es latente en muchos tubérculos especialmente cuando las condiciones ambientales no son favorables.

Los síntomas presentan variación en cuanto a su distribución en los diferentes órganos de la planta. 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 (Jaramillo y Botero, 2007).

2.8.1. Temperatura

La infección severa de la sarna polvorienta se asocia con frecuencia a un clima fresco y, por el contrario, la ausencia de la enfermedad se ha asociado con un clima cálido (Christ y Weidner, 1988). Wenzl (1962) considera que la enfermedad es más severa a medida que aumenta la altitud y lo atribuyeron principalmente a las bajas temperaturas.

Se ha encontrado que el desarrollo de *S. subterranea* f. sp. *subterranea* se ve favorecido en climas húmedos y fríos, con temperaturas óptimas entre 12 y 15 °C (Merz, 2008), mientras que poco o ningún desarrollo de la enfermedad se observa a temperaturas de 21.1 °C o 26.7 °C (Harrison *et al.* 1997). Van de Graaf *et al.*, (2005) encontraron que la temperatura óptima para la formación de agallas es de 17 °C y para la infección de tubérculos alrededor de los 12 °C.

En trabajos realizados por Alzate *et al.* (2008) se estableció que la mayor rapidez de la liberación de zoosporas se da entre los 15 y 23 °C.

Otros factores que influyen en la incidencia y severidad de la sarna polvorienta, es la relación entre el tipo de suelo y dichas variables, mientras que las condiciones de humedad del suelo y temperatura ambiente sí son favorables para el desarrollo de la enfermedad. Además el nivel de inóculo del suelo no tiene un efecto significativo sobre la infección y desarrollo de la sarna polvosa, concluyendo que el avance de la enfermedad parece estar más relacionado con el ambiente (Van de Graaf *et al.*, 2007; Lees *et al.*, 2008).

2.8.2. Precipitación

Muchos reportes relacionan la severidad de la sarna polvorienta con altas precipitaciones, o por el contrario, la ausencia de la enfermedad con la escasez de lluvia (Janke, 1963). Los altos niveles de precipitación a menudo conducen a condiciones de humedad del suelo que son propicias para el desarrollo de la enfermedad, especialmente en suelos mal drenados (Christ y Weidner, 1988). Varios períodos de 2-3 días de lluvias continuas separadas por períodos de sequía durante los períodos sensibles del cultivo parece producir condiciones que son altamente favorables para la sarna polvorienta (Anonymous, 1981).

Van de Graaf *et al.* (2005) mencionan que la humedad del suelo y la temperatura determinan, en gran medida, la germinación de las zoosporas presentes en el suelo y consideran que las plantas desarrolladas en suelos con humedad constante presentan mayor porcentaje de infección de la enfermedad, en comparación con aquellas que se desarrollaron en suelos con humedad fluctuante.

2.8.3. Tipo de suelo

El tipo de suelo en el que se cultiva la planta de papa afecta el nivel de severidad de la sarna polvorienta y también se asocia a la enfermedad con un alto contenido de humus. Se reporta que la enfermedad desarrolla mejor en suelos con grandes espacios porosos y con una alta retención de agua (Jaramillo y Botero, 2007)

2.8.4. pH del suelo

Los efectos del pH del suelo en la severidad de la sarna son confusos y contradictorios. Blattný (1935) considera que la enfermedad fue más severa en suelos ácidos, y Naoumoff (1936) reporta altos niveles de enfermedad cuando el pH fue de 4.7-5.9. En contraste, Harrison *et al.* (1997) y Cooper *et al.* (1976) reportaron que a un pH de 5.0 obtenido mediante la adición de azufre a los suelos redujo la incidencia de la enfermedad. Cooper *et al.* (1976) también reportaron mayor incidencia de la enfermedad en suelos con un pH de 5.5 comparado con 5.2, pero Hughes (1980) y Harrison *et al.* (1997) consideran que el pH del suelo tuvo poco efecto en el rango de 5.9-7.6, 5.2-7.5 y 5.5-8.5, respectivamente.

Al parecer, estos resultados sobre el efecto del pH del suelo en la incidencia de la sarna polvorienta pueden deberse a dos causas. La primera, cualquier intento de alterar el pH inevitablemente cambia otros factores que pueden por sí mismos afectar la enfermedad. La segunda, el pH puede interactuar con otros factores que determinan el desarrollo de la enfermedad (Harrison *et al.*, 1997).

2.8.5. Mejoramiento genético como control de la enfermedad

El control de *S. subterranea* es particularmente difícil debido a su capacidad de producir esporas de resistencia, las cuales facilitan su persistencia tanto en el suelo como en la semilla asexual. La naturaleza bifásica del ciclo de vida de *S.*

subterranea asegura que el patógeno sea persistente en la producción de esporas de descanso, y se multiplique muy rápidamente mediante la formación de zoosporas secundarias si las condiciones son adecuadas. Esta significa que la infección no está consistentemente relacionada con los niveles iniciales del inóculo, sino más bien está relacionada con la infección secundaria por zoosporas si las condiciones son propicias (Shah *et al.*, 2004; Brierley *et al.*, 2013).

Por consiguiente, el manejo de la enfermedad debe realizarse a través de la integración de diversas medidas de control, dentro de los cuales el uso de la resistencia del cultivo probablemente represente el componente principal en el manejo sostenible de la enfermedad (Fallon, 2008).

No hay líneas de papa identificadas como inmunes a la infección por *S. subterranea*, por lo que las variedades actuales permiten la multiplicación de patógenos, su supervivencia, y la infestación del suelo. Además, hay evidencias de variación patógena en *S. subterranea* (Falloon *et al.*, 2003), y el estudio molecular de Bulman y Marshall (1998) ha demostrado que el nivel de patogeneidad es variable. Esta variabilidad sugiere que pueden existir diferentes patotipos de *S. subterranea*, y que los cultivares identificados como resistentes a la roña puede llegar a ser susceptibles a diferentes patotipos. Por estas razones, el uso de resistencia a la enfermedad causada por la sarna polvorienta es poco probable que proporcione un control completo de la enfermedad, particularmente en situaciones de presión severa de la enfermedad (Fallon, 2008).

Aunque no se entienden completamente los mecanismos de resistencia, Falloon *et al.* (2003) demostraron que los cultivares resistentes generalmente tienen menos zoosporangios de *S. subterranea* en sus raíces y menos agallas de la raíz que los cultivares susceptibles. Esto indica que la resistencia del huésped se

expresa en los sitios de penetración de zoosporas de células de las raíces y estolones. Sin embargo, estos autores observaron excepciones. Un cultivar con un ciclo de crecimiento corto tenía raíces muy infectadas, pero poca infección en los tubérculos. Algunos cultivares como Russet Burbank son moderadamente resistentes a la infección del tubérculo, pero se sabe que desarrollan agallas severas en sus raíces. Estos resultados sugieren que diferentes mecanismos de resistencia pueden funcionar para las raíces y tubérculos, dependiendo del cultivar de papa.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Sitio experimental

La presente investigación se llevó a cabo en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, ubicado a 19° 29' latitud norte, 98° 53' longitud oeste y 2260 m de altitud. El clima es C (W_o) (W) b (y) g, descrito como templado subhúmedo con precipitación media anual de 645 mm y temperatura promedio anual de 15 °C, con heladas tempranas a fines de septiembre y tardías en abril (García, 1973). El experimento se estableció bajo condiciones de malla sombra negra de 50% de transmisión de la radiación solar (Figura 3).



Figura 3. Campo Experimental del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo

3.2. Material vegetal

Se evaluaron dos materiales experimentales de papa, T01-14-36 y Bajío 143 obtenidas del “Programa de Mejoramiento Genético de Papa” del INIFAP bajo la dirección del Dr. Antonio Rivera Peña.

La variedad T01-14-36 se seleccionó a partir de experimentos de polinización libre del genotipo 575045. La altura de planta es de 80-90 cm, arbolada, y con flor de color lila/blanco. Es un clon resistente a tizón tardío y tolerante a fitoplasma. Por otro lado, el progenitor femenino de la variedad Bajío 143 es un clon mexicano con resistencia a tizón tardío, mientras que el clon masculino proviene de los bancos de germoplasma del Ministerio de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). Este clon es resistente al tizón tardío y tolerante a punta morada; tiene una altura de planta de 80-90 cm, arbolada, y con flor de color lila y puntas blancas.

Como testigo se usó la variedad Felcina, susceptible a la sarna polvorienta de la papa. La semilla fue obtenida de productores de papa de San Miguel Balderas, Toluca Edo. de México.

El material de propagación fue semilla-tubérculo (de diámetro homogéneo) con brotes desarrollados y sanos.

3.3. Sustratos

Los materiales utilizados para los sustratos fueron cuatro: suelo, turba, perlita y abono de ovino.

Una muestra de suelo, obtenida de una parcela de Xalatlaco Edo. de México en donde se cultiva con frecuencia papa, se esterilizó a 90 °C durante 4 h para eliminar inóculo de cualquier otro patógeno presente.

La mezcla de los sustratos se realizó con base en volumen, con un recipiente de plástico de 15 L para mezclar. Se hicieron tres mezclas: turba y perlita en proporción 1:1, suelo más abono en la proporción 2:1, y turba, perlita y abono de ovino en proporción 1:1:1.

El abono de ovino fue proporcionado por el Dr. Jesús M. González Ríos del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo

3.4 Inóculo

Se aplicaron dos niveles de inóculo: sin inocular e inoculadas con 50,000 esporosores mL⁻¹.

Para la preparación de inóculo, los esporosoros fueron obtenidos de tubérculos de papa de la variedad Felcina, provenientes de Xalatlaco Edo. de México. Una vez obtenido el material se procedía a realizar una evaluación microscópica de este, en el laboratorio 210 de Histopatología vegetal en Fitopatología del Colegio de Postgraduados, el cual consistió en la observación y cuantificación a través de un microscopio de la presencia de esporosoros en aumentos de 10x y 40x (Figura 4).

Posteriormente, la piel infectada con *Spongospora subterranea* de los tubérculos de papa, se molió hasta obtener un polvo fino, y se tamizó con una malla de 150 µm. El número de esporosoros (en lo sucesivo referido como "inóculo") se determinó mediante la suspensión de 100 mg en 10 mL de agua destilada, y se contaron los esporosoros usando un hematocitómetro y un microscopio compuesto. Posteriormente en 20 L de agua se ajustó el inóculo a 50,000 esporosoros mL⁻¹.

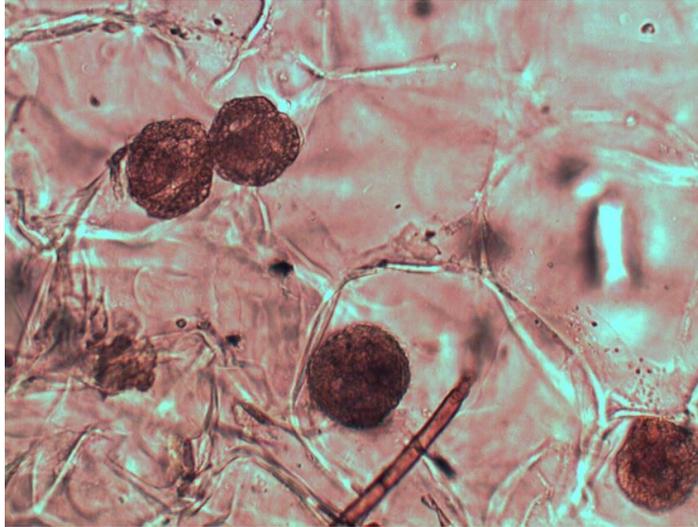


Figura 4. Esporosoros de *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea* dentro de las células del hospedante a un aumento de 40x.

3.5. Fecha de siembra

La siembra se llevó a cabo el 10 de junio del 2015, en bolsas de plástico negro de 40 x 25 cm, las cuales se rellenaron con sustrato de acuerdo al tratamiento. Se sembró un tubérculo-semilla por bolsa, a una profundidad de 10 cm. Las plantas se cultivaron a un solo tallo principal.

3.6. Diseño experimental

Se usó el diseño experimental en bloques completamente al azar con cuatro repeticiones con un arreglo factorial 3 x 4 x 2 (24 tratamientos). Los factores fueron: variedad (T01-14-36, Bajío 143 y Felcina), sustrato (turba más perlita, suelo, turba más perlita y abono, y suelo más abono) y nivel de inóculo (inoculadas y sin inocular), lo que resultó en 24 tratamientos. La unidad experimental fue una maceta con una planta.

3.7. Inoculación de la semilla

Las semillas de papa de los tratamientos con infestación de esporosoros fueron sumergidas en una suspensión de 50,000 esporosoros mL⁻¹ durante 15 min. Además, en la siembra se agregaron 250 mL del inóculo en cada bolsa de los tratamientos que incluyeron la inoculación de esporosoros.

3.8. Labores culturales

Se utilizó una mezcla papera comercial para la fertilización del cultivo, la cual se aplicó semanalmente con el riego (250 mL por maceta). Esta fórmula papera es: 120-225-170 además, aporta azufre, calcio, magnesio, y microelementos. Las fuentes son: fosfonitrato, fosfato diamónico, superfosfatos de calcio triple, superfosfato de calcio simple, cloruro de potasio, triple 16, nitrato de potasio y microelementos. El control de malezas se realizó manualmente. Los riegos se realizaron de acuerdo a las condiciones ambientales, para mantener el contenido de agua del sustrato a capacidad de campo. Para el control de *Phytophthora infestans*, se aplicó Mancozeb semanalmente a partir de la aparición de los primeros síntomas en la variedad susceptible.

3.9. Variables de los sustratos

3.9.1. Características físicas de los sustratos

Se tomaron muestras de 1 kg para determinar las propiedades físicas y químicas de cada sustrato:

Se determinó la porosidad total, con base en el manual Landis (1990), sólo de los siguientes sustratos: turba + perlita, y turba + perlita + abono. La densidad aparente se calculó con base en la relación del peso del material sólido por unidad de volumen aparente del sustrato húmedo, es decir incluyendo el espacio poroso de las partículas (Urrestarazu, 2000).

La porosidad total y la densidad aparente de los sustratos suelo, y suelo + abono, se determinaron mediante el método de la probeta.

3.9.2. Características químicas de los sustratos

Las características químicas que se determinaron fueron pH y conductividad eléctrica (CE, dSm^{-1}).

Las propiedades químicas de todos los sustratos, se analizaron utilizando el manual de laboratorio propuesto por Palmer y Troeh (1989). El pH del sustrato se obtuvo con base en la relación 1:2 (uno de sustrato por dos de agua), utilizando un potenciómetro Conductronic modelo PC45. Al mismo tiempo se determinó la Conductividad eléctrica con un conductímetro Conductronic modelo CL 35.

3.10. Variables ambientales

3.10.1. Datos meteorológicos

Se obtuvieron registros cada hora de la temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$) y humedad relativa (%) con un HOBO modelo U12-012 (Onset Inc.), del 10 de Junio al 26 de octubre del 2015. De estos registros se obtuvieron tanto la temperatura máxima como la mínima diaria.

3.10.2. Temperatura del suelo

Se obtuvieron registros cada hora de la temperatura del suelo ($^{\circ}\text{C}$) con un sensor modelo TMC6-HD conectado a un HOBO modelo U12-012 (Onset Inc.) a una profundidad de 10 cm en el sustrato, del 10 de Junio al 26 de octubre del 2015. De estos registros se seleccionaron tanto la temperatura máxima como la mínima diaria.

3.11. Variables de crecimiento y fisiológicas

3.11.1 Acumulación de biomasa

Se realizaron dos muestreos destructivos de cuatro plantas por tratamiento (una planta por repetición); el primer muestreo fue a los 38 días después de la siembra (DDS), cuando la planta emitió estolones e inició la tuberización. El segundo muestreo se llevó a cabo en la cosecha (148 DDS); se procesaron todos los órganos de la planta, excepto los tubérculos los cuales se dejaron reposar en condiciones protegidas y a temperatura ambiente por 15 días para poder identificar si hubo o no daño por la enfermedad.

Las raíces de las plantas seleccionadas fueron lavadas con agua corriente para eliminar la tierra adherida, procurando no dañarlas (Figura 5). Posteriormente cada planta fue etiquetada, embolsada en plástico y refrigerada en un cuarto frío para evitar su deterioro antes de la disección. Cada órgano de la planta (hojas, tallos, raíces y tubérculos) fue separado y colocado en bolsas de papel previamente identificadas. Los órganos vegetales se secaron en una estufa con circulación de aire forzado a 70 °C durante 72 h o hasta alcanzar peso constante. Posteriormente se determinó el peso de cada órgano en una balanza electro analítica Sartorius, de un peso máx. de 1620 g.



Figura 5. Lavado de raíces.

3.11.2. Área foliar

Área foliar por planta (m^2 /planta). En los dos muestreos destructivos (37 DDS y 148 DDS) se defolió cada planta muestreada, cuatro por cada tratamiento (una por repetición) y el área de las hojas se midió con un integrador de área foliar modelo LI-3100 (LI-COR, Nebraska, USA).

3.12. Variables relacionadas con el daño físico de *S. subterranea* f. sp. *subterranea* en la planta de papa

Con el fin de medir el efecto que tiene la infección de *S. subterranea* f. sp. *subterranea*, se evaluó la incidencia y grado de severidad de síntomas en raíces y tubérculos.

3.12.1. Daño en raíces (37 DDS y 148 DDS)

Se evaluó la incidencia y severidad de la sarna de la papa en raíces de 4 plantas por tratamiento mediante una escala de puntuación (Cuadro 1) con base en el número de agallas observables y el nivel de gravedad estándar (pequeña con diámetro menor a 5 mm, o grande con diámetro igual o mayor a 5 mm) (Álvarez *et al.*, 2001):

Cuadro 1. Escala de daño según el número de agallas.

Escala	0	1	2	3	4
No. de agallas	Ninguna agalla observable en la raíz	1 a 3 agallas pequeñas o 1 agalla grande	4 a 10 agallas pequeñas o de 2 a 3 agallas grandes	11 a 20 agallas pequeñas o 4 a 8 agallas grandes	Igual o más de 30 agallas de cualquier tamaño

3.12.2. Daño en tubérculos de papa (148 DDS)

Se evaluó la incidencia y severidad de la roña de la papa en los tubérculos de una muestra de 4 plantas por tratamiento (una por repetición), considerado el daño en toda la superficie del tubérculo (las cuatro caras de la papa). El daño en los tubérculos fue sólo visible en el segundo muestreo, por lo que fue cuando se hizo la evaluación del daño.

El nivel de daño de la roña de la papa en los tubérculos se determinó mediante la determinación cualitativa de la superficie del tubérculo con presencia de lesiones o pústulas en la escala (0 a 10) que corresponde a un determinado porcentaje de superficie dañada (Cuadro 2), de acuerdo con la metodología de Falloon *et al.* (1995).

Cuadro 2. Escala según el porcentaje de daño en tubérculo.

Escala	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
% de daño	0	5	10	15	20	33	46	60	73	86	100

3.13. Análisis estadístico

Se realizó un análisis exploratorio de los resultados obtenidos para verificar la normalidad de los datos (SAS Institute Inc, 1999-2000). Si los datos no cumplen con los supuestos de normalidad y homogeneidad se procesaran mediante métodos no paramétricos para el análisis de los mismos, entre otros el método de comparación de tratamientos de Wilcoxon-Kruskal-Wallis y Wilcoxon DSCF (análisis de comparación múltiple por parejas) (Hollander y Wolfe, 1999). Además se utilizó un procedimiento de clusterización PAM por sus siglas en inglés (Agrupamiento alrededor de medoides) para separar grupos de tratamientos, el cual se realizó con el programa estadístico R.

III. RESULTADOS

El primer muestro se realizó a los 37 DDS, en el cual se midieron las variables BSH, BST, BSR, NTUB, TUBF, BSTUB, AF, BSTA, BSTotal y DRAÍZ. EL segundo muestreo se realizó en la cosecha a los 148 DDS, en donde se evaluaron las mismas variables que en el primero, sólo agregándose DTUB y MSHM,

4.1. Condiciones ambientales

4.1.1. Temperatura mensual del aire

El promedio de la temperatura máxima mensual del aire (Figura 6) fue mayor en el mes de julio de 2015 (34.9 °C) y menor en el mes de septiembre (27.4 °C); mientras que la mayor temperatura mínima promedio mensual del aire fue en junio (12.7 °C) y la menor en octubre (9.2 °C).

Los registros de temperatura máxima promedio del aire sobre 25 °C fueron frecuentes, inclusive se obtuvieron registros de hasta 34 °C, lo que indica la presencia de periodos durante el día con temperaturas superiores a las requeridas por el cultivo de papa.

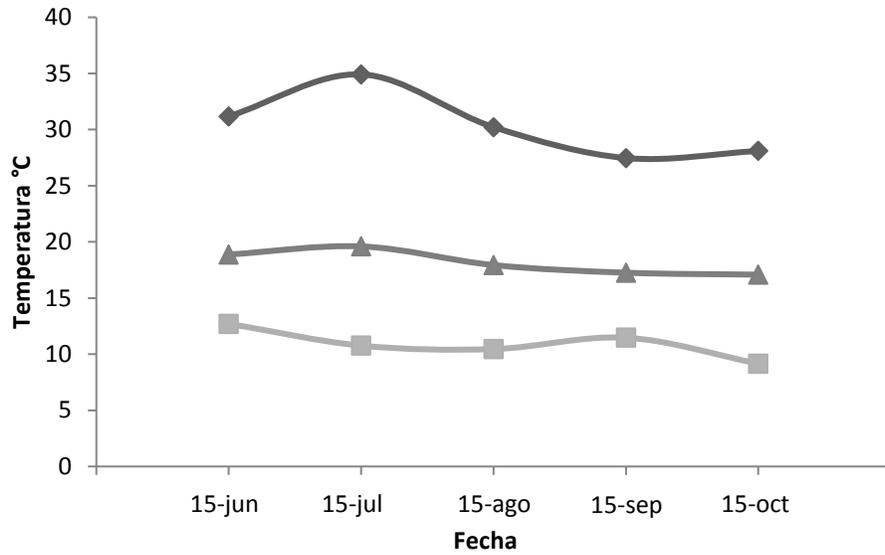


Figura 6. Temperaturas mensuales promedio (▲), máximas (◆) y mínimas (■) diarias del aire (°C) registradas durante un experimento de papa en Montecillo, México durante el verano 2015.

4.1.2. Humedad relativa

La humedad relativa promedio mensual fue de 76 %. En la Figura 7 se observa que septiembre fue el mes que presentó el mayor promedio de humedad relativa (83 %), mientras que el menor promedio de humedad relativa se observó en octubre (70 %).

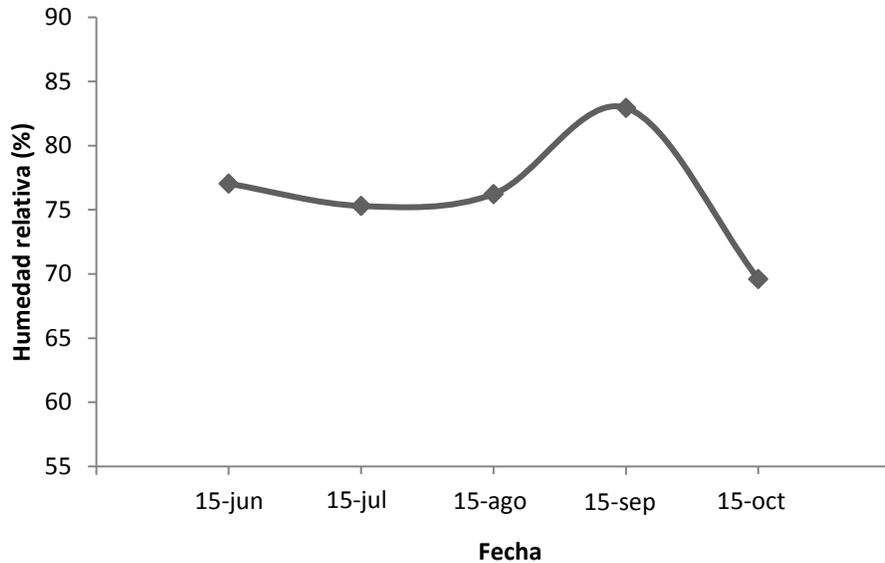


Figura 7. Humedad relativa promedio mensual (%) registrada durante un experimento de papa en Montecillo, México, en el verano 2015.

4.1.3. Temperatura mensual de los sustratos

Respecto a las temperaturas mensuales máximas del sustrato, el sustrato turba + perlita + abono presentó la temperatura más alta (26.7 °C) en el mes de septiembre, mientras que la temperatura más baja la presentó el sustrato turba + perlita (19.5 °C) en el mes de agosto. El promedio mensual de la temperatura máxima del sustrato turba + perlita + abono fue consistentemente mayor o igual que la de los otros sustratos; inclusive el 15 de agosto la temperatura máxima de este sustrato fue 6.8 °C mayor que la temperatura máxima del sustrato turba + perlita.

Las temperaturas mínimas mensuales de los sustratos fueron similares en cada fecha de medición; ésta disminuyó de 16.5 °C en junio a 12.7 °C en octubre; el sustrato turba + perlita + abono registró hasta 10.6 °C en el mes de octubre.

La temperatura promedio mensual del suelo registrada durante el experimento fue de 16 a 20 °C. El sustrato turba + perlita + abono tuvo la mayor temperatura media (19.4 °C) y fue similar con la temperatura media del sustrato suelo + abono (19.0 °C). En contraste, el sustrato turba + perlita fue el que tuvo la menor temperatura media (18.4 °C), lo cual fue similar a la temperatura media del sustrato suelo (18.7 °C) (Figura 8).

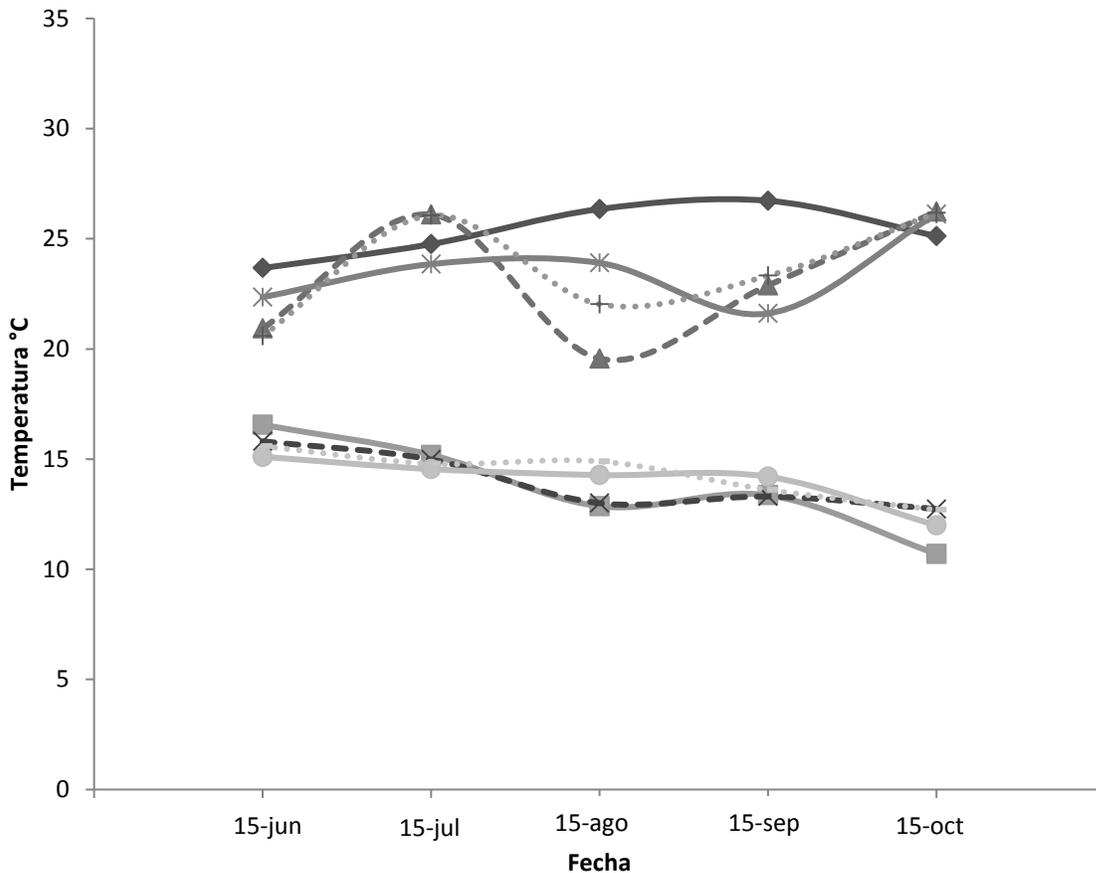


Figura 8. Promedios mensuales de la temperatura máxima (°C) de los sustratos turba + perlita + abono (—◆—), turba + perlita (—▲—), suelo (—*—), suelo + abono (··+··); y promedios mensuales de la temperatura mínima de los sustratos turba + perlita + abono (—■—), turba + perlita (—×—), suelo (—●—) y suelo + abono (··—··), en Montecillo, México, durante el verano del 2015.

4.2. Características físicas y químicas del suelo y los sustratos

En el Cuadro 3 se muestra que el sustrato con los mayores pH y CE fue el suelo + abono, mientras que turba + perlita presentaron los menores valores de estas características físicas y químicas del suelo. El mayor espacio poroso lo presentó el sustrato compuesto por turba + perlita + abono.

Cuadro 3. Características físicas y químicas de los sustratos usados para cultivar plantas de papa en Montecillo, México durante el verano de 2015.

Sustratos	pH	Da g/cm³	CE dSm⁻¹	Pt (%)
Suelo	5.14	1.07	12.8	59
Suelo + abono	7.33	0.83	24.3	69
Turba + perlita	4.40	0.12	12.10	80
Turba + perlita + abono	6.77	0.13	23.6	89

Da: Densidad aparente; CE: Conductividad eléctrica; Pt: Porosidad total.

4.3. Efecto de la variedad, inóculo y sustrato en el primer muestreo 37 DDS

Debido a que los datos no cumplían con la hipótesis de normalidad, se realizó un análisis estadístico no paramétrico.

Se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en DRAIZ y altamente significativas ($P \leq 0.01$) en BSR, NTUB, TUBF, BSTUB y BSTotal asociadas con la variedad, en la primera fecha de muestreo (Cuadro 4), mientras que el inóculo solo afectó muy significativamente ($P \leq 0.01$) a DRAIZ (Cuadro 5). El sustrato causó diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en la variable NTUB y altamente significativas ($P \leq 0.01$) en AF y DRAIZ (Cuadro 6). A pesar de que en la mayoría de las plantas la formación de agallas fue nula (es por ello que el valor de la mediana, para todos los factores de la primera fecha de muestreo es de 0), si hubo diferencias significativas para la variable DRAIZ.

Cuadro 4. Prueba no paramétrica de Wilcoxon-Kruskal-Wallis, para el efecto de la variedad en biomasa seca por órgano, producción de tubérculo, área foliar e incidencia de la enfermedad por planta de papa cultivada en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, México. Primer muestreo destructivo (17 de julio 2015).

MEDIAS DE PUNTUACIÓN											
Variedad	N	BSH	BST	BSR	NTUB	TUBF	BSTUB	AF	BSTA	BSTotal	DRAÍZ
Bajío 143	29	48.6	39.1	60.1	42.0	40.4	42.0	45.2	43.0	42.3	51.9
Felcina	32	45.9	47.1	31.4	56.6	65.3	65.1	50.6	46.1	61.0	46.0
T01-14-36	30	43.6	51.5	47.9	38.5	28.7	29.4	41.8	48.7	33.6	40.3
Pr > Chi - cuadrado		0.76	0.19	0.0001**	0.01**	<.0001**	<.0001**	0.41	0.71	0.0002**	0.02*

N: Número de observaciones; BSH: Biomasa seca de hoja; BST: Biomasa seca de tallo; BSR: Biomasa seca raíz; NTUB: Número de tubérculos por planta, TUBF: Biomasa fresca de tubérculos; BSTUB: Biomasa seca de tubérculos; AF: Área foliar; BSTA: Biomasa seca total aérea; BSTotal: Biomasa seca total; DRAIZ: Daño en raíz; Pr > Chi - cuadrado: indica el valor estadístico de significancia. Valores seguidos por el símbolo (*) indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$), y valores seguidos por el símbolo (**) indican diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$).

Cuadro 5. Prueba no paramétrica de Wilcoxon-Kruskal-Wallis, para el efecto del inóculo en biomasa seca por órgano, producción de tubérculo, área foliar e incidencia de la enfermedad de papa cultivada en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, México. Primer muestreo destructivo (17 de julio 2015).

MEDIAS DE PUNTUACIÓN											
Inóculo	N	BSH	BST	BSR	NTUB	TUBF	BSTUB	AF	BSTA	BSTotal	DRAÍZ
Con inóculo	43	42.0	44.0	45.1	43.7	42.8	43.7	45.1	43.6	42.8	53.8
Sin inóculo	48	49.6	47.7	46.8	48.1	48.0	48.0	46.8	48.1	48.9	39.0
Pr > Chi - cuadrado		0.16	0.50	0.76	0.42	0.34	0.43	0.76	0.40	0.27	<.0001**

N: Número de observaciones; BSH: Biomasa seca de hoja; BST: Biomasa seca de tallo; BSR: Biomasa seca raíz; NTUB: Número de tubérculos por planta, TUBF: Biomasa fresca de tubérculos; BSTUB: Biomasa seca de tubérculos; AF: Área foliar; BSTA: Biomasa seca total aérea; BSTotal: Biomasa seca total; DRAÍZ: Daño en raíz; Pr > Chi – cuadrado: indica el valor estadístico de significancia. Valores seguidos por el símbolo (*) indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$), y valores seguidos por el símbolo (**) indican diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$).

Cuadro 6. Prueba no paramétrica de Wilcoxon-Kruskal-Wallis, para el efecto del sustrato en biomasa seca por órgano, producción de tubérculo, área foliar e incidencia de la enfermedad por planta de papa cultivada en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, México. Primer muestreo destructivo (17 de julio 2015).

MEDIAS DE PUNTUACIÓN											
Sustrato	N	BSH	BST	BSR	NTUB	TUBF	BSTUB	AF	BSTA	BSTotal	DRAÍZ
1	19	38.0	38.6	45.8	54.3	46.4	46.2	33.1	38.1	43.2	43.8
2	24	38.3	41.5	42.7	53.7	53.2	54.4	40.1	40.1	50.0	39.0
3	24	50.4	48.6	48.6	43.1	45.9	45.3	49.0	49.0	46.1	55.9
4	24	55.6	53.7	46.9	34.6	36.7	38.1	59.1	55.2	44.1	44.8
Pr > Chi - cuadrado		0.06	0.22	0.88	0.03*	0.17	0.19	0.007**	0.10	0.82	0.004**

N: Número de observaciones; BSH: Biomasa seca de hoja; BST: Biomasa seca de tallo; BSR: Biomasa seca raíz; NTUB: Número de tubérculos por planta, TUBF: Biomasa fresca de tubérculos; BSTUB: Biomasa seca de tubérculos; AF: Área foliar; BSTA: Biomasa seca total aérea; BSTotal: Biomasa seca total; DRAIZ: Daño en raíz; Pr > Chi - cuadrado: indica el valor estadístico de significancia. Valores seguidos por el símbolo (*) indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$), y valores seguidos por el símbolo (**) indican diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$). Sustrato **1**: Suelo; Sustrato **2**: Turba + perlita; Sustrato **3**: Suelo + abono; Sustrato **4**: Turba + perlita + abono.

4.4. Efecto de la variedad en las variables respuesta del primer muestreo 37 DDS

En la prueba de comparación por pares Wilcoxon DSCF, la variedad Felcina produjo el mayor NTUB (Figura 9), TUBF, BSTUB, BSTotal. Para BSR fue mayor tanto para Felcina como para Bajío 143. En cuanto al DRAIZ, el mayor número de agallas lo presentó la variedad Bajío 143 (Figura 10), seguida de Felcina (Figura 11) y finalmente T01-14-36 fue la menos afectada (Figura 12) (Cuadro 7).

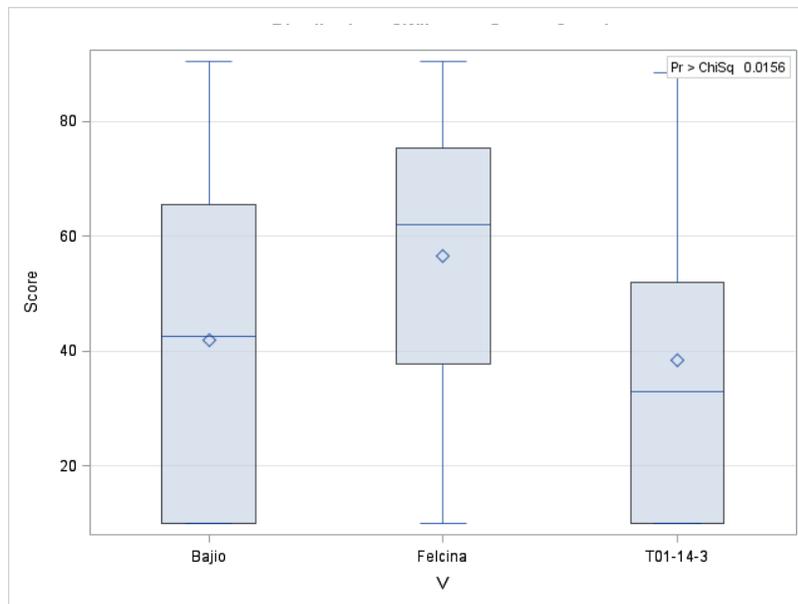


Figura 9. Distribución de las puntuaciones de Wilcoxon para número de tubérculos (NTUB), según variedad.



Figura 10. Daño causado por *Spongospora subterranea* en raíces de la variedad Bajío 143.



Figura 11. Daño causado por *Spongospora subterranea* en raíces de la variedad Felcina.



Figura 12. Daño causado por *Spongospora subterranea* en raíces de la variedad T01-14-36.

Cuadro 7. Comparación por pares Wilcoxon DSCF del efecto de la variedad en la acumulación de biomasa y rendimiento de tubérculo, área foliar e incidencia de la enfermedad en papa cultivada en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, México en el primer muestreo realizado (17 de julio 2015).

MEDIANA										
Variedad	BSH	BST	BSR	NTUB	TUBF	BSTUB	AF	BSTA	BSTotal	DRAÍZ
Bajío 143	7.5 a	7.4 a	1.80 a	4.0 ab	83.4 b	10.1 b	3566.1 a	15.1 a	29.8 b	0 ¹ a
Felcina	7.1 a	8.7 a	0.93 b	6.5 a	127.6 a	24.7 a	3587.5 a	16.1 a	43.7 a	0 ² ab
T01-14-36	7.1 a	9.2 a	1.45 a	3.0 b	12.5 b	1.8 b	3196.0 a	16.6 a	21.1 b	0 ³ b

BSH: Biomasa seca de hoja (g/planta); BST: Biomasa seca de tallo (g/planta); BSR: Biomasa seca raíz (g/planta); NTUB: Número de tubérculos por planta, TUBF: Biomasa fresca de tubérculos (g/planta); BSTUB: Biomasa seca de tubérculos (g/planta); AF: Área foliar (cm²/planta); BSTA: Biomasa seca total aérea (g/planta); BSTotal: Biomasa seca total (g/planta); DRAIZ: Daño en raíz (número de agallas/planta). Cada valor representa la mediana de cuatro repeticiones. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$). ¹: 13.5; ²: 6.2; ³: 0.7, cada valor representa la media de cuatro repeticiones.

4.3. Efecto del inóculo en las variables respuesta del primer muestreo 37 DDS

El inóculo fue sólo significativo para DRAIZ (Figura 13), en donde fue evidente el efecto que tuvo el Sss en las plantas inoculadas debido a la presencia de agallas (Cuadro 8).

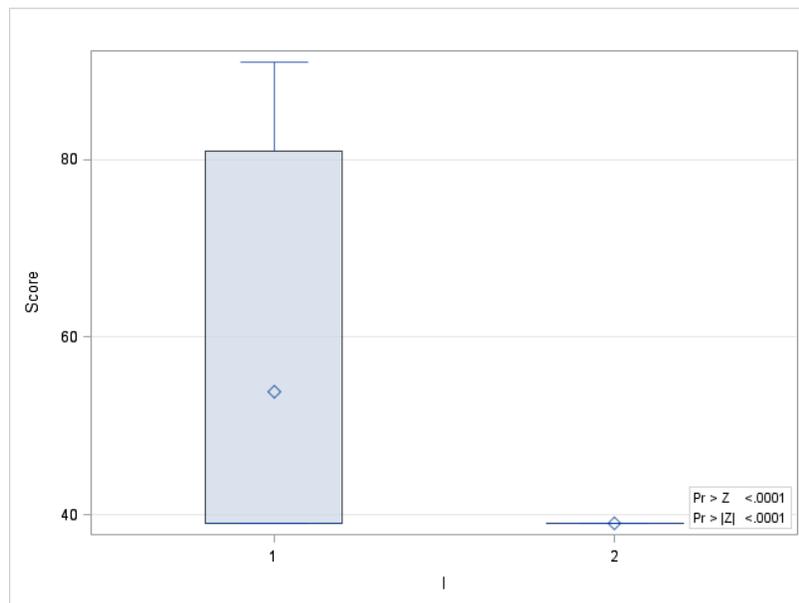


Figura 13. Distribución de las puntuaciones de Wilcoxon para daño en raíz (DRAIZ), de acuerdo con el nivel de inóculo.

Cuadro 8. Comparación por pares Wilcoxon DSCF del efecto del inóculo en la acumulación de biomasa y rendimiento de tubérculo, área foliar e incidencia de la enfermedad en papa cultivada en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, México en el primer muestreo realizado (17 de julio 2015).

MEDIANA										
Inóculo	BSH	BST	BSR	NTUB	TUBF	BSTUB	AF	BSTA	BSTotal	DRAÍZ
Con inóculo	6.9 a	8.1 a	1.3 a	4.0 a	60.8 a	7.7 a	3296.5 a	15.1 a	28.8 a	0 ¹ a
Sin inóculo	7.5 a	9.0 a	1.3 a	4.5 a	96.2 a	10.9 a	3490.9 a	32.9 a	16.8 a	0 ² b

BSH: Biomasa seca de hoja (g/planta); BST: Biomasa seca de tallo (g/planta); BSR: Biomasa seca raíz (g/planta); NTUB: Número de tubérculos por planta, TUBF: Biomasa fresca de tubérculos (g/planta); BSTUB: Biomasa seca de tubérculos (g/planta); AF: Área foliar (cm²/planta); BSTA: Biomasa seca total aérea (g/planta); BSTotal: Biomasa seca total (g/planta); DRAIZ: Daño en raíz (número de agallas/planta). Cada valor representa la mediana de cuatro repeticiones. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$). ¹: 13.6; ²: -0.0, cada valor representa la media de cuatro repeticiones.

4.4. Efecto del sustrato en las variables respuesta de la primera fecha de muestreo 37 DDS

El AF fue mayor en el sustrato formado por la mezcla de turba + perlita + abono (Figura 14). A pesar que en la mayoría de las plantas la formación de agallas fue nula (es por ello que el valor de la mediana, para todos los sustratos es de 0), si se presentaron diferencias significativas en DRAIZ, siendo las plantas que mostraron mayor formación de agallas, las cultivadas en el sustrato suelo + abono. Finalmente el número de tubérculos fue similar para todos los sustratos excepto para el sustrato turba + perlita + abono en el cual se produjo un número menor de tubérculos (Cuadro 9).

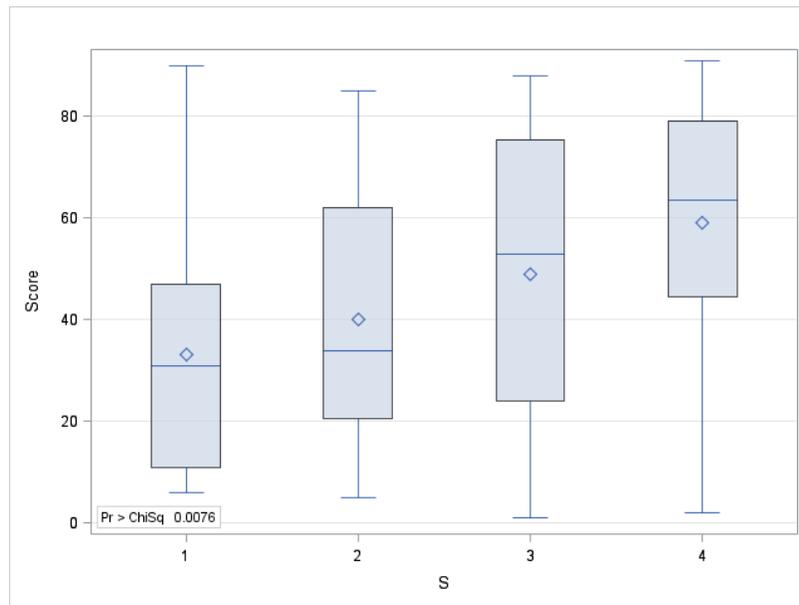


Figura 14. Distribución de las puntuaciones de Wilcoxon para área foliar (AF), según el tipo de sustrato. Sustrato **1**: Suelo; Sustrato **2**: Turba + perlita; Sustrato **3**: Suelo + abono; Sustrato **4**: Turba + perlita + abono.

Cuadro 9. Comparación por pares Wilcoxon DSCF del efecto del sustrato en la acumulación de biomasa y rendimiento de tubérculo, área foliar e incidencia de la enfermedad en papa cultivada en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, México en el primer muestreo realizado (17 de julio 2015).

MEDIANA										
Sustrato	BSH	BST	BSR	NTUB	TUBF	BSTUB	AF	BSTA	BSTotal	DRAÍZ
1	6.7 a	6.8 a	1.20 a	5.0 a	93.5 a	12.6 a	2940.5 b	13.6 a	29.8 a	0 ¹ ab
2	6.1 a	7.8 a	1.15 a	5.0 a	130.1 a	17.1 a	3006.3 b	14.3 a	36.2 a	0 ² b
3	7.9 a	9.0 a	1.50 a	4.0 a	61.0 a	7.2 a	3696.3 ab	17.9 a	29.4 a	0 ³ a
4	8.1 a	9.8 a	1.50 a	2.5 b	54.4 a	6.3 a	4190.0 a	17.8 a	26.3 a	0 ⁴ ab

BSH: Biomasa seca de hoja (g/planta); BST: Biomasa seca de tallo (g/planta); BSR: Biomasa seca raíz (g/planta); NTUB: Número de tubérculos por planta, TUBF: Biomasa fresca de tubérculos (g/planta); BSTUB: Biomasa seca de tubérculos (g/planta); AF: Área foliar (cm²/planta); BSTA: Biomasa seca total aérea (g/planta); BSTotal: Biomasa seca total (g/planta); DRAIZ: Daño en raíz (número de agallas/planta). Cada valor representa la mediana de cuatro repeticiones. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$). Sustrato **1**: Suelo; Sustrato **2**: Turba + perlita; Sustrato **3**: Suelo + abono; Sustrato **4**: Turba + perlita + abono. ¹: 8.2; ²: 0.0; ³: 13.9; ⁴: 5.1, cada valor representa la media de cuatro repeticiones.

4.5. Efecto de los tratamientos en las variables respuesta de la primera fecha de muestreo 37 DDS

Para determinar si había diferencias significativas entre tratamientos, se aplicó a los datos la prueba de Wilcoxon-Kruskal-Wallis, en donde se constaron diferencias significativas para las variables TUBF, BSTUB, BSTotal y DRAIZ (Cuadro 10). Posteriormente al realizarse la prueba de Wilcoxon DSCF para determinar que tratamientos eran diferentes entre sí en dichas variables, la prueba no pudo diferenciar entre los tratamientos, por lo que se corrió un clúster tomando en cuenta sólo las variables que mostraron diferencias, lo que dio como resultados dos grupos (Figura 15).

En el primer grupo se situaron los tratamientos 1, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 y 24, los cuales son conformados en su mayoría por las variedades Bajío 143 y T 01-14-36 a excepción del 1 y 8 que son conformados con la variedad Felcina; por otro lado en el segundo grupo se situaron los tratamientos 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 12, conformados con la variedad Felcina, a excepción del 12 que es con Bajío 143.

Finalmente, en el Cuadro 11 se muestra que hubo diferencias significativas entre los dos grupos para dichas variables. Siendo mejor el grupo dos en todas las variables, a excepción de DRAIZ la cual no mostró diferencia entre grupos.

Cuadro 10. Prueba no paramétrica de Wilcoxon-Kruskal-Wallis, para el efecto de los tratamientos en la biomasa seca por órgano, producción de tubérculo, área foliar e incidencia de la enfermedad por planta de papa cultivada en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, México. Primer muestreo destructivo (17 de julio 2015).

MEDIANA											
Tratamiento	N	BSH	BST	BSR	NTUB	TUBF	BSTUB	AF	BSTA	BSTotal	DRAÍZ
1	4	6.30	5.55	1.17	8.5	76.96	9.60	2840.59	11.85	21.25	0
2	4	6.25	8.30	1.00	7	226.37	29.75	3490.90	14.55	45.65	0
3	4	6.50	8.39	0.89	5.5	181.75	26.35	3515.04	14.75	45.40	0
4	4	5.45	8.50	0.75	6.5	331.80	46.45	2952.58	13.50	59.00	0
5	4	8.85	9.85	1.85	7	271.23	36.85	4845.11	19.10	57.30	44
6	4	10.0	9.60	1.00	8	236.77	29.65	3692.19	19.70	51.05	0
7	4	8.80	9.60	0.98	5.5	154.40	19.80	4354.92	18.75	38.55	0
8	4	7.00	6.70	0.65	3.5	80.94	9.90	3971.64	13.70	24.25	0
9	1	3.90	3.50	1.00	2	3.72	0.10	1780.35	7.40	8.50	108
10	4	8.00	7.90	2.45	5.5	99.17	13.0	3207.53	15.90	31.35	0
11	4	3.92	4.50	1.20	3.5	4.57	0.60	2331.61	8.42	10.23	0
12	4	9.75	9.60	2.15	8	175.29	27.65	4201.43	18.65	48.45	0
13	4	6.35	7.15	1.90	2	30.64	3.85	2642.33	13.50	20.55	37
14	4	8.15	4.54	1.55	3	74.20	7.55	5087.94	12.45	25.24	0
15	4	8.95	8.50	2.10	2	69.93	9.40	4028.22	17.85	29.35	23
16	4	11.35	9.95	2.70	3.5	67.95	8.05	4507.58	21.55	32.56	0
17	2	5.20	7.25	1.40	3	34.55	4.55	2348.80	12.45	18.40	0
18	4	7.15	10.05	1.30	7.5	81.07	8.50	2712.15	16.95	33.70	0
19	4	5.70	7.25	1.70	5	37.63	5.19	2524.21	12.95	20.04	0
20	4	6.55	8.45	1.30	3.5	50.44	6.60	3573.70	15.00	22.90	0
21	4	6.80	8.70	1.10	2	9.01	1.65	3373.37	17.30	19.00	0
22	4	7.25	10.90	1.50	3.5	10.95	1.05	2777.30	18.15	20.00	0
23	4	7.70	12.05	1.53	1.5	1.16	0.15	4745.23	19.75	21.45	0
24	4	9.05	10.70	1.65	0	0	0	3545.06	19.75	21.65	0
Pr > Chi - cuadrado		0.19	0.50	0.09	0.14	0.0003	0.0004 **	0.11	0.34	0.0070 **	<.0001 **

N: Número de observaciones; BSH: Biomasa seca de hoja (g/planta); BSHM: Biomasa seca de hoja muerta (g/planta); BST: Biomasa seca de tallo (g/planta); BSR: Biomasa seca raíz (g/planta); NTUB: Número de tubérculos por planta, TUBF: Biomasa fresca de tubérculos (g/planta); BSTUB: Biomasa seca de tubérculos (g/planta); AF: Área foliar (cm²/planta); BSTA: Biomasa seca total aérea (g/planta); BSTotal: Biomasa seca total (g/planta); DRAIZ: Daño en raíz (número de agallas/planta). Cada valor representa la mediana de cuatro repeticiones. Pr > Chi – cuadrado: indica el valor estadístico de significancia. Valores seguidos por el símbolo (*) indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$), y valores seguidos por el símbolo (**) indican diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$). **1:** Felcina con inóculo: suelo; **2:** Felcina sin inóculo: suelo; **3:** Felcina con inóculo: sustrato; **4:** Felcina sin inóculo: sustrato; **5:** Felcina con inóculo: suelo abono; **6:** Felcina sin inóculo: suelo abono; **7:** Felcina con inóculo: sustrato abono; **8:** Felcina sin inóculo: sustrato abono; **9:** Bajío 143 con inóculo: suelo; **10:** Bajío 143 sin inóculo: suelo; **11:** Bajío 143 con inóculo: sustrato; **12:** Bajío 143 sin inóculo: sustrato; **13:** Bajío 143 con inóculo: suelo abono; **14:** Bajío 143 sin inóculo: suelo abono; **15:** Bajío 143 con inóculo: sustrato abono; **16:** Bajío 143 sin inóculo: sustrato abono; **17:** T01-14-36 con inóculo: suelo; **18:** T01-14-36 sin inóculo: suelo; **19:** T01-14-36 con inóculo: sustrato; **20:** T01-14-36 sin inóculo: sustrato; **21:** T01-14-36 con inóculo : suelo abono; **22:** T01-14-36 sin inóculo: suelo abono; **23:** T01-14-36 con inóculo: sustrato abono; **24:** T01-14-36 sin inóculo: sustrato abono.

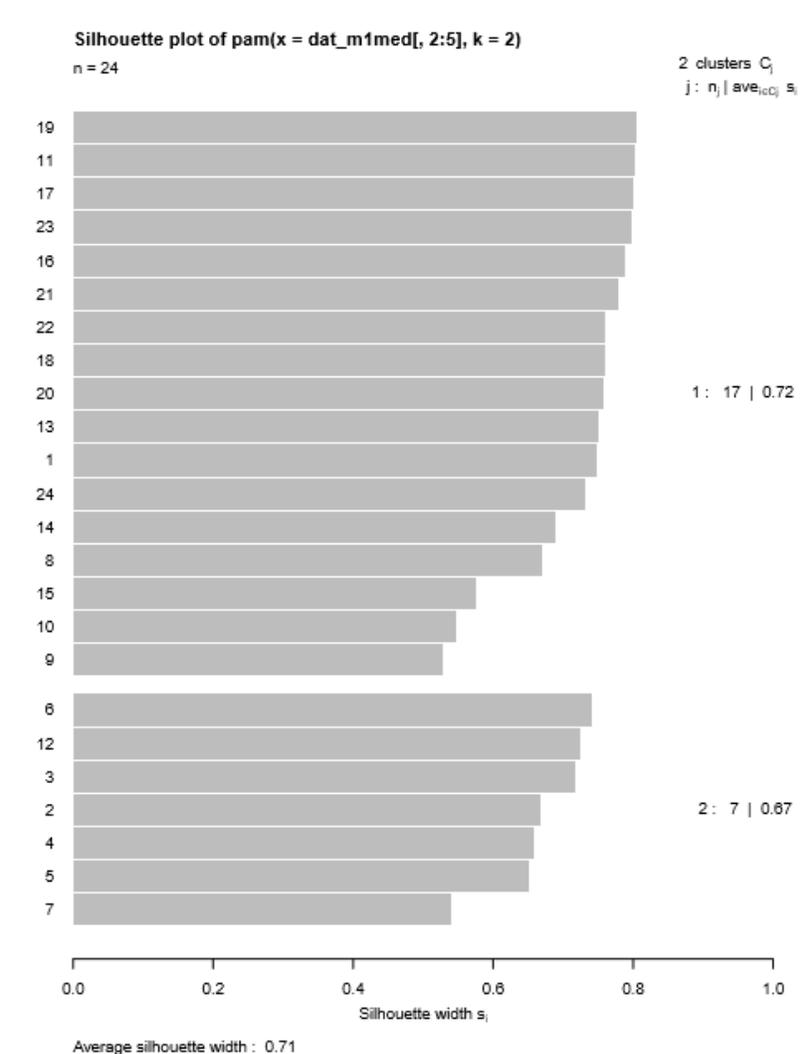


Figura 15. Grupos de tratamientos, agrupados de acuerdo a las variables respuesta (TUBF, BSTUB, BSTotal y DRAIZ) que mostraron diferencias significativas entre tratamientos con la prueba de Wilcoxon-Kruskal-Wallis.

Cuadro 11. Prueba no paramétrica de Wilcoxon-Kruskal-Wallis para el efecto de los grupos en la producción de tubérculo e incidencia de la enfermedad por planta de papa cultivada en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, México. Primer muestreo destructivo del 18 de julio 2015.

Grupo	N	MEDIANA			
		TUBF	BSTUB	BSTotal	DRAÍZ
1	63	21.8	2.7	21.5	0
2	28	226.4	31.3	50.1	0
Pr > Chi - cuadrado		<.0001**	<.0001**	<.0001**	0.88

N: Número de observaciones; TUBF: Biomasa fresca de tubérculos (g/planta); BSTUB: Biomasa seca de tubérculos (g/planta); BSTotal: Biomasa seca total (g/planta); DRAIZ: Daño en raíz (número de agallas/planta). Cada valor representa la mediana de cuatro repeticiones. Pr > Chi – cuadrado: indica el valor estadístico de significancia. Valores seguidos por el símbolo (*) indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$), y valores seguidos por el símbolo (**) indican diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$).

4.6. Efecto de la variedad, inóculo y sustrato en las variables respuesta en la segunda fecha de muestreo 148 DDS

En el segundo muestreo (Cuadro 12) el efecto de la variedad en BSH, BSHM, BST, BSR, NTUB, BSTUB, AF, BSTA Y BSTotal fue altamente significativos ($P \leq 0.01$).

El nivel de inóculo fue significativo ($P \leq 0.01$) en NTUB y DTUB, y altamente significativo ($P \leq 0.05$) en DRAIZ (Cuadro 13). En el segundo muestreo se evaluó la variable nivel de daño al tubérculo (DTUB); esta variable se midió en la cosecha cuando se esperaba fuera más conspicuo el daño de *Spongospora subterranea* en los tubérculos. Sin embargo, solo se observaron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) en DTUB por efecto del nivel de inóculo (Cuadro 13).

El sustrato tuvo efecto altamente significativo ($P \leq 0.01$) en BSH, BST, TUBF, AF y BSTA y significativo ($P \leq 0.05$) en NTUB y DRAIZ (Cuadro 14).

Cuadro 12. Prueba no paramétrica de Wilcoxon-Kruskal-Wallis, para el efecto de la variedad en biomasa seca por órgano, producción de tubérculo, área foliar e incidencia de la enfermedad por planta de papa cultivada en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, México, en el segundo muestreo realizado el 26 de octubre 2015.

MEDIAS DE PUNTUACIÓN													
Variedad	N	BSH	BSHM	BST	BSR	NTUB	TUBF	BSTUB	AF	BSTA	BSTotal	DRAÍZ	DTUB
Bajo 143	31	48.9	46.3	44.7	55.8	46.9	56.3	60.8	44.7	47.0 b	57.6	51.2	46.3
Felcina	32	29.0	60.3	37.4	22.8	32.0	47.6	38.0	24.2	34.3 b	31.5	47.8	54.7
T01-14-36	32	66.1	37.3	61.7	65.6	65.1	40.3	45.5	64.1	62.7 a	55.2	46.5	43.0
Pr > Chi - cuadrado		<.0001 **	0.0006 **	0.0015 **	<.0001 **	<.0001 **	0.07	0.0038 **	<.0001 **	0.0002 **	0.0002 **	0.42	0.16

N: Número de observaciones; BSH: Biomasa seca de hoja; BSHM: Biomasa seca de hoja muerta; BST: Biomasa seca de tallo; BSR: Biomasa seca raíz; NTUB: Número de tubérculos por planta, TUBF: Biomasa fresca de tubérculos; BSTUB: Biomasa seca de tubérculos; AF: Área foliar; BSTA: Biomasa seca total aérea; BSTotal: Biomasa seca total; DRAIZ: Daño en raíz; DTUB: Nivel de daño en tubérculo; Pr > Chi – cuadrado: indica el valor estadístico de significancia. Valores seguidos por el símbolo (*) indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$), y valores seguidos por el símbolo (**) indican diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$).

Cuadro 13. Prueba no paramétrica de Wilcoxon-Kruskal-Wallis, para el efecto del inóculo en biomasa seca por órgano, producción de tubérculo, área foliar e incidencia de la enfermedad por planta de papa cultivada en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, México, en el segundo muestreo realizado el 26 de octubre 2015.

MEDIAS DE PUNTUACIÓN													
Inóculo	N	BSH	BSHM	BST	BSR	NTUB	TUBF	BSTUB	AF	BSTA	BSTotal	DRAÍZ	DTUB
Con inóculo	47	45.0	48.5	47.7	45.2	40.7	45.3	45.3	43.1	46.2	44.21	51.6	69.5
Sin inóculo	48	50.9	47.5	48.3	50.7	55.1	50.6	50.6	47.0	49.7	51.70	45.4	26.5
Pr > Chi - cuadrado		0.29	0.85	0.91	0.33	0.01 **	0.35	0.34	0.56	0.54	0.18	0.03 *	<.0001 **

N: Número de observaciones; BSH: Biomasa seca de hoja; BSHM: Biomasa seca de hoja muerta; BST: Biomasa seca de tallo; BSR: Biomasa seca raíz; NTUB: Número de tubérculos por planta, TUBF: Biomasa fresca de tubérculos; BSTUB: Biomasa seca de tubérculos; AF: Área foliar; BSTA: Biomasa seca total aérea; BSTotal: Biomasa seca total; DRAIZ: Daño en raíz; DTUB: Nivel de daño en tubérculo; Pr > Chi – cuadrado: indica el valor estadístico de significancia. Valores seguidos por el símbolo (*) indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$), y valores seguidos por el símbolo (**) indican diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$).

Cuadro 14. Prueba no paramétrica de Wilcoxon-Kruskal-Wallis, para el efecto del sustrato en biomasa seca por órgano, producción de tubérculo, área foliar e incidencia de la enfermedad por planta de papa cultivada en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, México, en el segundo muestreo realizado el 26 de octubre 2015.

MEDIAS DE PUNTUACIÓN													
Sustrato	N	BSH	BSHM	BST	BSR	NTUB	TUBF	BSTUB	AF	BSTA	BSTotal	DRAÍZ	DTUB
1	23	36.7	44.8	33.9	47.7	44.0	41.3	45.1	32.0	33.9	39.3	47.4	42.6
2	24	34.0	47.2	32..8	40.4	61.0	63.6	60.1	36.8	31.6	49.7	43.5	48.4
3	24	59.3	40.9	56.7	51.1	38.1	46.6	47.1	67.9	58.2	51.8	55.6	52.5
4	24	61.6	58.9	68.0	52.8	48.7	40.2	39.5	54.1	67.7	50.1	47.4	48.3
Pr > Chi - cuadrado		0.0002 **	0.06	<.0001 **	0.41	0.02 *	0.01 **	0.06	0.001 **	<.0001 **	0.37	0.03 *	0.60

N: Número de observaciones; BSH: Biomasa seca de hoja; BSHM: Biomasa seca de hoja muerta; BST: Biomasa seca de tallo; BSR: Biomasa seca raíz; NTUB: Número de tubérculos por planta, TUBF: Biomasa fresca de tubérculos; BSTUB: Biomasa seca de tubérculos; AF: Área foliar; BSTA: Biomasa seca total aérea; BSTotal: Biomasa seca total; DRAIZ: Daño en raíz; DTUB: Nivel de daño en tubérculo; Pr > Chi – cuadrado: indica el valor estadístico de significancia. Valores seguidos por el símbolo (*) indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$), y valores seguidos por el símbolo (**) indican diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$). Sustrato **1**: Suelo; Sustrato **2**: Turba + perlita; Sustrato **3**: Suelo + abono; Sustrato **4**: Turba + perlita + abono.

4.7. Efecto de la variedad en la segunda fecha de muestreo 148 DDS

La variedad T01-14-36 (Figura 17A) fue la que presentó la mayor AF y biomasa de cada órgano excepto de BSHM y BSTUB. Las variedades Bajío 143 (Figura 17B) y T01-14-36 presentaron las mayores BSR y BSTotal (Figura 16); además el cultivar Bajío 143 presentó la mayor BSTUB. En cambio el cultivar Felcina (Figura 17C) se caracterizó por presentar la mayor BSHM (ya que esta variedad se vio afectada por tizón tardío), pero en cambio presentó las menores BSH y AF (Cuadro 15).

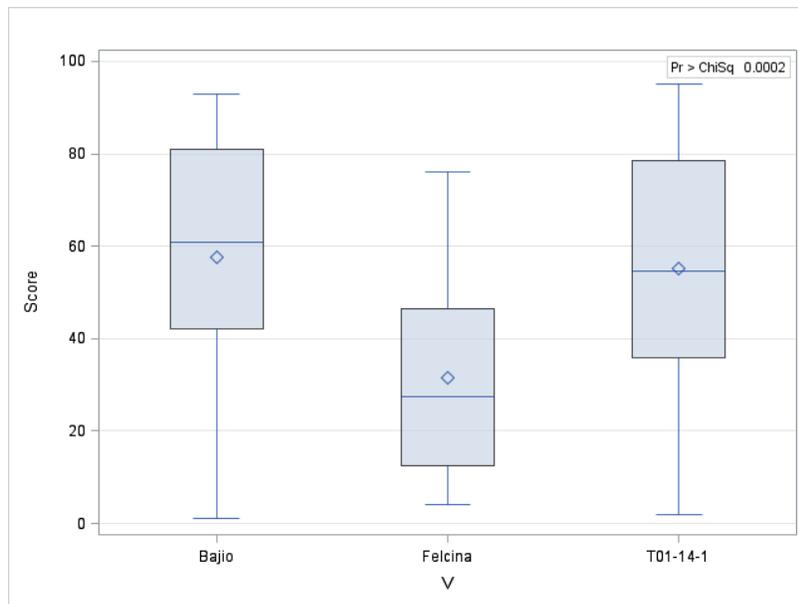


Figura 16. Distribución de las puntuaciones de Wilcoxon para la biomasa seca total (BSTotal), según variedad.

Cuadro 15. Comparación por pares Wilcoxon DSCF del efecto de la variedad en la acumulación de biomasa y rendimiento de tubérculo, área foliar e incidencia de la enfermedad en papa cultivada en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, México, en el segundo muestreo realizado el 26 de octubre 2015.

MEDIANAS												
Variedad	BSH	BSHM	BST	BSR	NTUB	TUBF	BSTUB	AF	BSTA	BSTotal	DRAÍZ	DTUB
Bajío	15.9	0 ab	17.8	1.0	6 b	330.4	67.1 a	3853.1	36.8	101.9 a	0 a	0
143	b		b	a		a		b	b			a
Felcina	8.4 c	0.8 a	14.0	0.2	5 c	254.4	34.5 b	1974.1	22.8	67.3 b	0 a	0.6
			b	b		a		c	b			a
T01-14-	21.6	0 b	25.3	1.2	10 a	208.0	38.8	5299.1	48.3	93.8 a	0 a	0
36	a		a	a		a	ab	a	a			a

BSH: Biomasa seca de hoja (g/planta); BSHM: Biomasa seca de hoja muerta (g/planta); BST: Biomasa seca de tallo (g/planta); BSR: Biomasa seca raíz (g/planta); NTUB: Número de tubérculos por planta, TUBF: Biomasa fresca de tubérculos (g/planta); BSTUB: Biomasa seca de tubérculos (g/planta); AF: Área foliar (cm²/planta); BSTA: Biomasa seca total aérea (g/planta); BSTotal: Biomasa seca total (g/planta); DRAIZ: Daño en raíz (número de agallas/planta); DTUB: Nivel de daño en tubérculo. Cada valor representa la mediana de cuatro repeticiones. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$).



Figura 17. Variedades evaluadas. A) T01-14-36; B) Bajío 143 y C) Felcina.

4.8. Efecto del inóculo en la segunda fecha de muestreo 148 DDS

En lo que respecta al nivel de inóculo, en la segunda fecha de muestreo hubo más variables que fueron significativas. Las plantas sin inoculación presentaron mayor número de tubérculos (Cuadro 16), mientras que las plantas inoculadas presentaron daño en la raíz y el tubérculo (Figura 18).

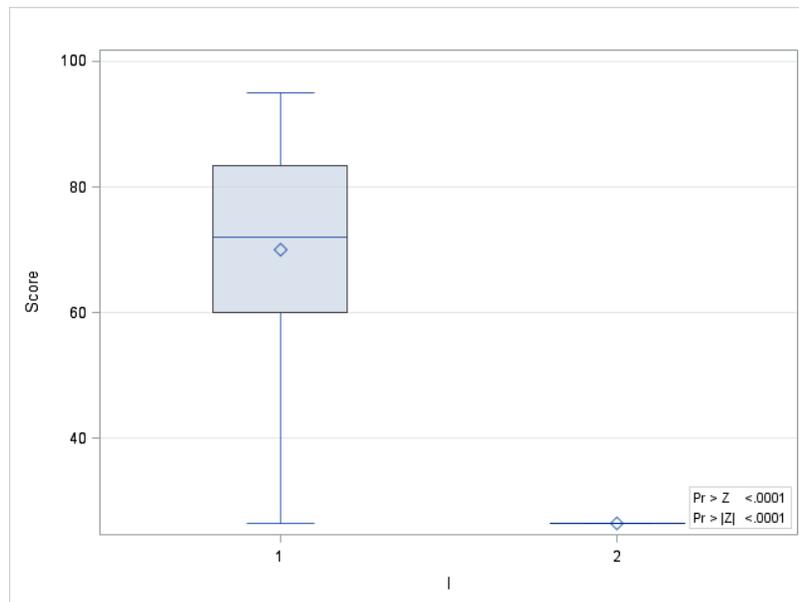


Figura 18. Distribución de las puntuaciones de Wilcoxon para daño en tubérculo (DTUB), según el nivel de inóculo.

Cuadro 16. Comparación por pares Wilcoxon DSCF del efecto del sustrato en la acumulación de biomasa y rendimiento de tubérculo, área foliar e incidencia de la enfermedad en papa cultivada en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, México, en el segundo muestreo realizado el 26 de octubre 2015.

MEDIANAS												
Inóculo	BSH	BSHM	BST	BSR	NTUB	TUBF	BSTUB	AF	BSTA	BSTotal	DRAÍZ	DTUB
Con inóculo	15.4	0 a	17.8	0.7	6 b	264.5	48.6 a	3909.1	33.8	85.0 a	0 ¹ a	5.0 a
	a		a	a		a		a	a			
Sin inóculo	17.1	0 a	19.3	0.9	8 a	299.0	50.0 a	4524.4	37.0	94.5 a	0 ² b	0 b
	a		a	a		a		a	a			

BSH: Biomasa seca de hoja (g/planta); BSHM: Biomasa seca de hoja muerta (g/planta); BST: Biomasa seca de tallo (g/planta); BSR: Biomasa seca raíz (g/planta); NTUB: Número de tubérculos por planta, TUBF: Biomasa fresca de tubérculos (g/planta); BSTUB: Biomasa seca de tubérculos (g/planta); AF: Área foliar (cm²/planta); BSTA: Biomasa seca total aérea (g/planta); BSTotal: Biomasa seca total (g/planta); DRAÍZ: Daño en raíz (número de agallas/planta); DTUB: Nivel de daño en tubérculo. Cada valor representa la mediana de cuatro repeticiones. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (P ≤ 0.05). ¹:2.1; ²:0.1, cada valor representa la media de cuatro repeticiones.

4.9. Efecto del sustrato en la segunda fecha de muestreo 148 DDS

La mezcla turba + perlita fue la que mostró los valores más altos de NTUB y TUBF. Los sustratos turba + perlita + abono y suelo + abono causaron los mayores BSH, BST y BSTA; con este último sustrato también se obtuvieron las mayores AF y DRAIZ (Figura 19) (Cuadro 17).

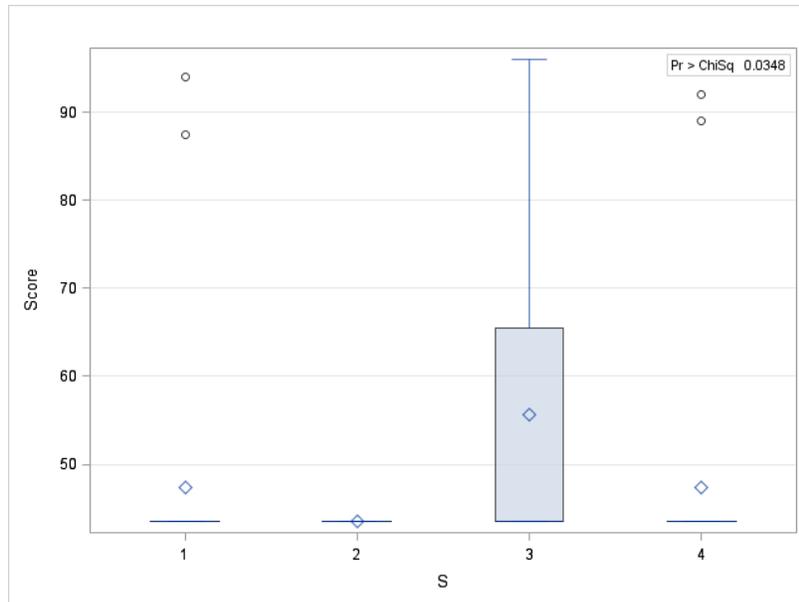


Figura 19. Distribución de las puntuaciones de Wilcoxon para daño en raíz (DRAIZ), según sustrato.

Cuadro 17. Comparación por pares Wilcoxon DSCF del efecto del sustrato en la acumulación de biomasa y rendimiento de tubérculo, área foliar e incidencia de la enfermedad en papa cultivada en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, México, en el segundo muestreo realizado el 26 de octubre 2015.

MEDIANAS												
Sustrato	BSH	BSHM	BST	BSR	NTUB	TUBF	BSTUB	AF	BSTA	BSTotal	DRAÍZ	DTUB
1	12.8 b	0 a	11.9 b	0.4 a	5 ab	234.5 b	45.3 a	3322.5 b	24.2 b	73.7 a	0 ¹ ab	0 a
2	11.9 b	0 a	13.4 b	0.7 a	7.5 a	337.4 a	59.4 a	4043.5 b	27.9 b	90.2 a	0 ² b	0.2 a
3	19.3 a	0 a	23.7 a	1.0 a	5 b	232.1 ab	45.8 a	5332.3 a	41.5 a	94.5 a	0 ³ a	0.6 a
4	19.8 a	0.6 a	28.3 a	0.8 a	6.5 ab	171.5 b	31.9 a	4900.9 ab	48.0 a	93.7 a	0 ⁴ ab	0.4 a

BSH: Biomasa seca de hoja (g/planta); BSHM: Biomasa seca de hoja muerta (g/planta); BST: Biomasa seca de tallo (g/planta); BSR: Biomasa seca raíz (g/planta); NTUB: Número de tubérculos por planta, TUBF: Biomasa fresca de tubérculos (g/planta); BSTUB: Biomasa seca de tubérculos (g/planta); AF: Área foliar (cm²/planta); BSTA: Biomasa seca total aérea (g/planta); BSTotal: Biomasa seca total (g/planta); DRAIZ: Daño en raíz (número de agallas/planta); DTUB: Nivel de daño en tubérculo. Cada valor representa la mediana de cuatro repeticiones. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$). Sustrato **1**: Suelo; Sustrato **2**: Turba + perlita; Sustrato **3**: Suelo + abono; Sustrato **4**: Turba + perlita + abono. ¹: 0.7; ²: 0.0; ³: 3.3; ⁴: 0.41, cada valor representa la media de cuatro repeticiones.

4.10. Efecto de los tratamientos en la segunda fecha de muestreo 148 DDS

Para determinar si había diferencias significativas entre tratamientos, se aplicó a los datos la prueba de Wilcoxon-Kruskal-Wallis, en donde se constaron diferencias para las variables MSH, MST, MSR, NTUB, AF, MSTA, DRAUZ y DTUB (Cuadro 18). Posteriormente al realizarse la prueba de Wilcoxon DSFC para determinar que tratamientos eran diferentes entre sí en dichas variables, la prueba no pudo diferenciar entre los tratamientos, por lo que se corrió un clúster tomando en cuenta sólo las variables que mostraron diferencias, lo que dio como resultados dos grupos (Figura 20).

En el primer grupo se situaron los tratamientos 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10 y 11 que son conformados con la variedad Felcina a excepción del 9, 10 y 11 que son con variedad Bajío 143, mientras que en el segundo grupo se situaron los tratamientos 6, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 y 24, los cuales son conformados en su mayoría por las variedades Bajío 143 y T 01-14-36 a excepción del 6 que es con Felcina.

Finalmente en el Cuadro 19, se muestra que hubo diferencias significativas entre los dos grupos, siendo mejor el grupo 2 para todas las variables, excepto para DRAIZ que no mostró diferencias al igual que en el primer muestreo y para DTUB, debido a que fue el grupo que menor daño mostró.

Este segundo muestreo difiere del primero, ya que en ese, el grupo conformado en su mayoría por la variedad Felcina fue mejor en su BSTotal y para este segundo se encontró que las variedades Bajío 143 y T 01-14-36 fueron mejores en su biomasa seca y número de tubérculos, lo que puede deberse a que fueron menos afectadas por la enfermedad, porque aunque el DRAIZ no mostró diferencias entre grupos, la diferencia en DTUB indica que los tubérculos de este grupo presentaron menor porcentaje de daño.

Cuadro 18. Prueba no paramétrica de Wilcoxon-Kruskal-Wallis, para el efecto de los tratamientos en biomasa seca por órgano, producción de tubérculo, área foliar e incidencia de la enfermedad por planta de papa cultivada en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, México. Segundo muestreo destructivo realizado el 26 de octubre 2015.

Tratamiento	N	MEDIANAS											
		MSH	MSHM	MST	MSR	NTUB	TUBF	MSTUB	AF	MSTA	MSTotal	DRAÍZ	DTUB
1	4	8.3	0.0	11.6	0.3	4.5	224.2	39.8	1633.1	20.8	61.0	0	19.5
2	4	6.3	0.4	7.3	0.3	4.5	206.3	34.5	1607.2	15.2	49.6	0	0
3	4	2.3	3.3	10.7	0.1	7	407.9	60.3	1575.4	15.8	73.8	0	6.7
4	4	2.9	1.2	4.6	0.2	7	401.4	44.8	666.9	11.3	52.8	0	0
5	4	11.6	2.7	18.1	0.3	3.5	314.9	39.2	3866.6	31.0	69.0	1.5	27.3
6	4	22.9	0.0	25.1	0.6	4.5	144.7	19.5	5056.1	47.0	78.9	0	0
7	4	14.9	3.0	26.9	0.3	2.5	135.0	14.0	3019.5	42.9	60.6	0	11.2
8	4	18.6	2.4	26.1	0.2	2.5	241.6	30.3	3629.3	46.1	81.6	0	0
9	3	12.8	0.4	11.4	1.5	4	264.5	59.2	3228.0	24.2	89.3	0	0
10	4	14.1	1.6	13.4	0.9	6.5	401.0	84.1	2736.6	30.7	116.6	0	0
11	4	14.5	0.0	15.5	0.7	4.5	304.8	50.5	3727.7	29.0	90.6	0	9.6
12	4	13.4	0.0	12.4	0.9	10	385.8	72.7	4195.9	25.8	104.4	0	0
13	4	18.3	0.0	21.0	1.0	4.5	274.2	50.5	4447.6	40.7	92.9	15	8.0
14	4	21.0	0.0	22.9	1.1	7.5	457.8	88.3	5454.1	42.8	129.8	0	0
15	4	18.7	0.1	27.3	1.0	6	339.6	65.4	5664.4	46.8	109.5	0	4.7
16	4	20.7	1.7	28.6	1.4	9.5	269.6	52.2	4489.6	53.8	111.8	0	0
17	4	15.2	0.0	15.1	0.6	5	108.0	22.6	4312.0	30.3	54.2	0	1.1
18	4	22.4	0.0	29.2	2.1	11.5	198.5	44.9	5236.5	51.6	105.9	0	0
19	4	16.9	0.2	18.1	1.1	11	270.9	50.9	4325.0	35.2	95.5	0	1.2
20	4	17.2	0.0	15.7	1.0	14	401.4	83.2	5010.0	32.8	127.2	0	0
21	4	24.6	0.0	27.4	1.2	6	199.5	52.5	5107.1	52.1	105.5	0	4.1
22	4	21.2	0.0	24.9	1.3	7	198.0	36.8	6064.6	46.7	84.9	0	0
23	4	24.5	0.0	33.7	1.8	12.5	171.5	30.5	5876.7	59.2	93.7	0	1.2
24	4	30.8	0.3	40.0	1.3	12	141.5	28.1	7291.2	71.1	107.7	0	0
Pr > Chi - cuadrado		0.0001 **	0.06	0.0008 **	0.0002 **	0.0014 **	0.23	0.14	<.0001 **	0.0001 **	0.13	0.02*	<.0001 **

N: Número de observaciones; BSH: Biomasa seca de hoja (g/planta); BSHM: Biomasa seca de hoja muerta (g/planta); BST: Biomasa seca de tallo (g/planta); BSR: Biomasa seca raíz (g/planta); NTUB: Número de tubérculos por planta, TUBF: Biomasa fresca de tubérculos (g/planta); BSTUB: Biomasa seca de tubérculos

(g/planta); AF: Área foliar (cm²/planta); BSTA: Biomasa seca total aérea (g/planta); BSTotal: Biomasa seca total (g/planta); DRAIZ: Daño en raíz (número de agallas/planta); DTUB: Nivel de daño en tubérculo. Cada valor representa la mediana de cuatro repeticiones; Pr > Chi – cuadrado: indica el valor estadístico de significancia. Valores seguidos por el símbolo (*) indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$), y valores seguidos por el símbolo (**) indican diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$). **1:** Felcina con inóculo: suelo; **2:** Felcina sin inóculo: suelo; **3:** Felcina con inóculo: sustrato; **4:** Felcina sin inóculo: sustrato; **5:** Felcina con inóculo: suelo abono; **6:** Felcina sin inóculo: suelo abono; **7:** Felcina con inóculo: sustrato abono; **8:** Felcina sin inóculo: sustrato abono; **9:** Bajío 143 con inóculo: suelo; **10:** Bajío 143 sin inóculo: suelo; **11:** Bajío 143 con inóculo: sustrato; **12:** Bajío 143 sin inóculo: sustrato; **13:** Bajío 143 con inóculo: suelo abono; **14:** Bajío 143 sin inóculo: suelo abono; **15:** Bajío 143 con inóculo: sustrato abono; **16:** Bajío 143 sin inóculo: sustrato abono; **17:** T01-14-36 con inóculo: suelo; **18:** T01-14-36 sin inóculo: suelo; **19:** T01-14-36 con inóculo: sustrato; **20:** T01-14-36 sin inóculo: sustrato; **21:** T01-14-36 con inóculo : suelo abono; **22:** T01-14-36 sin inóculo: suelo abono; **23:** T01-14-36 con inóculo: sustrato abono; **24:** T01-14-36 sin inóculo: sustrato abono.

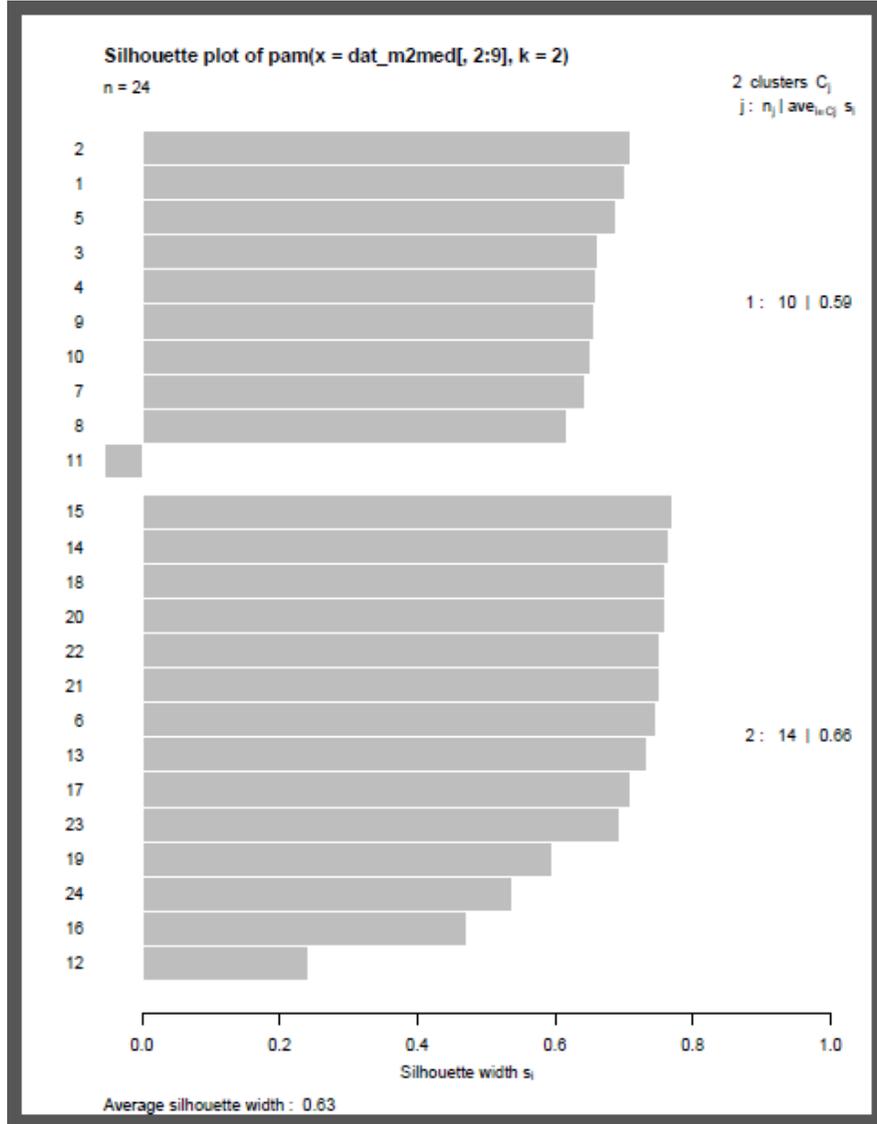


Figura 20. Grupos de tratamientos, agrupados de acuerdo a las variables respuesta (MSH, MST, MSR, NTUB, AF, MSTA, DRAUZ, DTUB) que mostraron diferencias significativas entre tratamientos con la prueba de Wilcoxon-Kruskal-Wallis.

Cuadro 19. Prueba no paramétrica de Wilcoxon-Kruskal-Wallis, para el efecto de los grupos en la acumulación de biomasa, producción de tubérculo, área foliar e incidencia de la enfermedad por planta de papa cultivada en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, México. Segundo muestreo destructivo realizado el 26 de octubre 2015.

MEDIANAS									
Grupo	N	BSH	BST	BSR	NTUB	AF	BSTA	DRAÍZ	DTUB
1	39	9.5	12.4	0.3	5	1978.3	23.3	0	1.3
2	56	19.3	23.8	1.1	8	5239.2	44.0	0	0
Pr > Chi - cuadrado		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.38	0.01

N: Número de observaciones; BSH: Biomasa seca de hoja (g/planta); BST: Biomasa seca de tallo (g/planta); BSR: Biomasa seca raíz (g/planta); NTUB: Número de tubérculos por planta; AF: Área foliar (cm²/planta); BSTA: Biomasa seca total aérea (g/planta); DRAIZ: Daño en raíz (número de agallas/planta); DTUB: Nivel de daño en tubérculo. Cada valor representa la mediana de cuatro repeticiones. Pr > Chi - cuadrado: indica el valor estadístico de significancia. Valores seguidos por el símbolo (*) indican diferencias significativas (P ≤ 0.05), y valores seguidos por el símbolo (**) indican diferencias altamente significativas (P ≤ 0.01).

IV. DISCUSIÓN

De acuerdo con la literatura consultada, el daño causado por la sarna polvorienta es principalmente cosmético, porque las pústulas formadas en la piel del tubérculo (sarna o roña) reducen la calidad física del producto y su valor económico (García y Navia, 2001; Falloon, 2008; Hoyos *et al.*, 2009). Esto es similar a los resultados de nuestro experimento, en donde el daño fue principalmente en la apariencia del tubérculo, ya que ni el rendimiento, ni la biomasa seca fueron afectados por este patógeno. Sin embargo, aunque fueron evidentes las pústulas en la piel de los tubérculos, el daño máximo en éstos fue de nivel 5 en la escala de 0 a 10, es decir el daño fue moderado.

Además, de acuerdo a nuestros resultados las tres variedades son susceptibles a Sss, por lo que se rechaza la hipótesis de que las variedades experimentales Bajío 143 y T01-14-36 al resultar de cruza entre materiales comerciales y silvestres para encontrar resistencia a *Phytophthora infestans*, también pudieran expresar genes de resistencia a la sarna polvorienta. Esto al menos en las condiciones ambientales bajo las cuales se llevó a cabo el experimento, ya que estas son esenciales para el establecimiento la infección por Sss (Merz y Falloon, 2009). Orozco *et al.* (2012) tampoco encontraron alguna correlación fenotípica ni genética entre la resistencia a *P. infestans* y *S. subterranea* f. sp. *subterranea* en una población de papa criolla.

Entonces, considerando que la temperatura media del suelo registrada durante el experimento fue de 16 a 20 °C (Figura 4). La temperatura media de los sustratos estudiados fue mayor que la temperatura necesaria para el desarrollo de Sss en el rango de 12 a 15 °C (Merz, 2008) mientras que fue adecuada para la formación de agallas (17 °C) (Van de Graaf *et al.*, 2005), y para la liberación de zoosporas (15 y 23 °C) de acuerdo con Alzate *et al.* (2008).

Por otro lado, algunos estudios mencionan que esta enfermedad también afecta al sistema radical de la planta de papa por la formación de agallas, estructuras que disminuyen la absorción de agua y nutrientes y por ende afectan tanto el crecimiento de la planta como la producción de tubérculos (Hoyos *et al.*, 2009; Merz y Falloon, 2009; Arcila *et al.*, 2014). En contraste, en nuestra investigación la variedad Bajío 143 fue la más afectada por la formación de agallas en el primer muestreo 37 DDS, y en cambio presentó una producción de biomasa seca total similar a la que produjo la variedad T01-14-36 que fue el cultivar menos afectado por la enfermedad. Sin embargo, la incidencia de agallas por variedad en la primera fecha de muestreo no fue consistente con los resultados de esta variable en la segunda fecha de muestreo, debido a que en esta última fecha no hubo diferencias significativas entre variedades. Lo anterior demuestra que aunque se presentaron daños en las raíces, no fueron lo suficientemente severos como para afectar la funcionalidad de la planta.

En la primera fecha de muestreo no todas las variedades habían formado tubérculos, principalmente T01-14-36 y Bajío 143, y en las que se habían formado (como en Felcina), las pústulas no eran visibles debido a que con frecuencia solo son aparentes hasta la cosecha o durante el almacenamiento, lo cual causa duda si la enfermedad ya había incidido en los tejidos de los tubérculos; en cambio fue evidente la afección en las raíces por la formación de agallas. De acuerdo con estas observaciones, es diferente el desarrollo de la enfermedad en raíces y tubérculos, en tiempo e intensidad, lo cual concuerda con lo reportado por Jaramillo y Botero (2007), quienes evaluaron, bajo condiciones controladas, varias poblaciones de Sss (diferente procedencia geográfica y variedades de papa, colectadas en diferentes zonas paperas de Colombia), en rotaciones entre las variedades Diacol Capiro e ICA Puracé en tres ciclos de siembra, y encontraron que la incidencia y severidad de la enfermedad fue siempre menor en tubérculos que en raíces. Estos autores también encontraron que dependiendo de la localidad de cultivo puede haber mayor incidencia en uno u otro órgano pero se desconoce si las variaciones se

deben a la diferencia en el ambiente, a la distribución regional de razas del patógeno y/o a la interacción hospedero-patógeno-ambiente.

Se debe considerar que en nuestro experimento, las temperatura media del aire fue 18.5 °C y de los sustratos fue entre 18.4 y 19.4 °C, mientras que el rango óptimo para el desarrollo de Sss es de 12 a 15 °C en climas húmedos y fríos (Merz, 2008). Es evidente que la temperatura de crecimiento del cultivo de papa fue superior al rango óptimo de desarrollo del patógeno y si se toma en cuenta que la temperatura óptima para la formación de agallas es 17 °C, y 12 °C para la infección de tubérculos (Van de Graaf *et al.*, 2005), entonces se puede explicar por qué la formación de pústulas fue mínima y no significativa entre variedades mientras que la formación de agallas fue más aparente. El ambiente es primordial para la expresión de la enfermedad (Merz y Falloon, 2009) e inclusive puede no presentarse cuando el nivel de humedad y temperatura del suelo son desfavorables, aun cuando los suelos están infestados o se planten tubérculos enfermos (Hughes, 1980; Nakayama *et al.*, 2007).

Respecto a los sustratos, su efecto fue significativo en el nivel de incidencia de la enfermedad en raíz, siendo la combinación suelo más abono la que presentó el mayor nivel de formación de agallas, siendo esto consistente en las dos fechas de muestreo. La temperatura media de este sustrato fue de las más altas (19.0 °C) de los cuatro sustratos (19.4 °C para el sustrato turba + abono, 18.7 °C para el sustrato suelo, y 18.4 °C para el sustrato turba + perlita), por lo que esto no explica la mayor presencia de agallas en la raíz si se considera la temperatura óptima para su desarrollo (17 °C de acuerdo con Van de Graaf *et al.*, 2005). Sin embargo, la mayor capacidad de retención de humedad junto con su alto nivel de espacio poroso (69%), que proporcionó la combinación del estiércol y suelo, contribuyeron al desarrollo de la enfermedad como lo indican Harrison *et al.* (1997), esto a pesar de que el espacio poroso de la turba +perlita + abono fuera mayor, sin embargo la capacidad de retención de humedad fue

menor. En cuanto al efecto del pH del sustrato en la incidencia de Sss es contradictorio en la literatura, ya que mientras algunos autores mencionan que la enfermedad es más severa en suelos ácidos (Blattný, 1935; Naoumoff, 1936), otros como Harrison *et al.* (1997) y Cooper *et al.* (1976) reportan que si el pH baja a alrededor de 5.0, se logra reducir la incidencia de la enfermedad. Esto último concuerda con lo encontrado en nuestra investigación, ya que el sustrato compuesto por el suelo más abono fue el único que presentó un pH de 7.33 considerado ligeramente alcalino y el que presentó la mayor incidencia de agallas.

Debido a que el sustrato suelo más abono fue el que causó la mayor formación de agallas en la raíz de la planta de papa, mientras que el sustrato turba más perlita fue el que causó la menor incidencia, entonces se acepta la hipótesis de que la incidencia de la sarna polvorienta de la papa es menor en el sustrato compuesto por la mezcla turba y perlita que en el suelo abonado con estiércol de ovino. El hecho de que el nivel de incidencia de la enfermedad fuera mayor en el suelo más abono, se sustenta en que la severidad de la sarna polvorienta se asocia con un alto contenido de humus (Harrison *et al.*, 1997; Jaramillo y Botero, 2007), lo que pudo ser proporcionado en mayor cantidad por el abono de ovino, además de que el patógeno se puede dispersar a través del estiércol, ya que las estructuras de resistencia pueden sobrevivir al tracto intestinal de los animales alimentados con tubérculos infestados (Torres, 2002).

V. CONCLUSIONES

Todas las variedades evaluadas en esta investigación son susceptibles a la sarna polvorienta.

El sustrato tiene un efecto en la incidencia de la enfermedad, siendo la combinación suelo más abono, la que proporcionó las condiciones óptimas para el establecimiento de la sarna polvorienta

Se rechaza la hipótesis de que las variedades experimentales Bajío 143 y T01-14-36 provenientes de cruces entre materiales comerciales y silvestres para encontrar resistencia a *Phytophthora infestans*, también pudieran expresar genes de resistencia a *Spongospora subterranea*.

La incidencia de la sarna polvorienta de la papa es menor en el sustrato compuesto por la mezcla turba y perlita.

La presencia de estiércol de ovino favorece la presencia de *Spongospora subterranea* y el desarrollo de la sarna polvorienta.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Alexopoulos, C. J., Mims C. W. y Blackwell, M. 1996. *Introductory Mycology*. Nueva York, US: John Wiley y Sons. 869 p.
- Álvarez, C., M. Rojas , G. Correa, J. C. Pérez, y S. Jaramillo. 2001. Efecto del cinc sobre la sarna polvosa de la papa (Var. Diacol Capiro). *Ventana al Campo con el Mejor Entorno Ambiental* 2: 17-18.
- Alzate, D. E., L. M. Hoyos y E. P. González. 2008. Factores que inciden en la liberación de zoosporas de *Spongospora subterranea* (Wallroth) Lagerheim f.sp. *subterranea* Tomlinsonl. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 61(2): 4503-4510.
- Anonymous. 1981. *Powdery scab of potatoes*. London: Her Majesty's Stationery Office. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Leaflet No. 99.
- Arce, F. A. 2002. *El cultivo de la patata*. Mundi-Prensa, España. 492 p.
- Arcila, A. I. M., E. P. González J., C. M. Zuluaga A., M. Marín M. y J. Cotes T. 2014. Efecto de la Infeción de *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea* en Hospederos Alternos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín* 67 (2): 7261-7269.
- Blatný, C. 1935. Prispěvek k poznání Bramborové. *Rec. inst. rech. agron. Rép. tchécosl* No. 137, 21-5. Sumary in: *Review of Applied Mycology* 15, 393.
- Braselton, J. P. 2007. Generalized Plasmodiophorid life cycle based on several sources. Recuperado el 8 de agosto de 2014, de <http://oak.cats.ohiou.edu/braselto/plasmos/>
- Brierley, J. L., L. Sullivan, S. J. Wale, A. J. Hilton, D. T. Kiezebrink and A. K. Less. 2013. Relationship between *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea* soil inoculum level, host resistance and powdery scab on potato tubers in the field. *Plant Pathology* 62: 413–420.
- Bulman, S. R. and J. W. Marshall. 1998. Detection of *Spongospora subterranea* in potato lesions using the polymerase chain reaction (PCR). *Plant Pathology* 47: 759–766.
- Cao, W., and T. W. Tibbitts. 1995. Leaf emergence on potato stems in relation to thermal time. *Agronomy Journal* 87: 474-477.

- Cásseres, H. E. 1986. Papa, Yuca y Camote. Cultivo y Aprovechamiento. Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Santiago de Chile, 75 .
- Christ, B. J. and R. J. Weidner. 1988. Incidence and severity of powdery scab on potatoes in Pennsylvania. *American Potato Journal* 65: 583-8.
- Cooper, J. L., A. C. Jones R. and B. D. Harrison. 1976. Field and glasshouse experiments on the control of potato mop-top virus. *Annals of Applied Biology* 83: 215-30.
- Corales, P. C., C. Zuluaga A., J. M. Cote T. y E. González-Jaimes. 2012. Determinación de las condiciones óptimas para la liberación de zoosporas de *Spongospora subterranea* en bioensayos. *Tropical Plant Pathology* 37(4): 239-245.
- Córtez, M. R. y G. Hurtado. 2002. Guía Técnica. Cultivo de papa. Centro Nacional De Tecnología Agropecuaria Y Forestal (CENTA).
- de Boer, R. F. 2000. Research into the biology and control of powdery scab of potatoes in Australia. In: Merz U, Lees AK, eds. *Proceedings of the First European Powdery Scab Workshop, 2000*. Aberdeen, Scotland, July 20–22. Aberdeen, UK: SAC, 79-83.
- Doorenbos, J. y A. Kassam. 1979. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Estudio FAO: Riego y Drenaje No. 33. FAO. Roma: 212.
- Eguillor, R. P. 2010. El mercado de la papa 2009 - 2010. Chile: Oficina de Estudios y Políticas Agrarias - Odepa.
- Fallon, R. E. 2008. Control of Powdery Scab of Potato: Towards Integrated Disease Management. *American Journal of Potato Research* 85: 253-260.
- Falloon, R. E., D. Curtin, R. A. Lister, and R. C. Butler. 2005. Root function and growth of potato plants reduced by *Spongospora subterranea* infection. *American Journal Potato Research* 82(1): 68.
- Falloon, R. E., D. Curtin, R. A. Lister, and R. C. Butler. 2004. The obligate pathogen *Spongospora subterranea* affects host (*Solanum tuberosum*) root function. In *Proceedings of the 3rd Australasian Soilborne Diseases Symposium*. eds. KM Ophel-Keller and BH Hall, 30–31. Adelaide: South Australian Research and Development Institute.
- Falloon, R. E., A. G. Russell, A. R. Wallace, and R. C. Butler. 2003. Susceptibility of potato (*Solanum tuberosum*) cultivars to powdery scab

(caused by *Spongospora subterranea*), and relationships between tuber and root infection. *Australasian Plant Pathology* 32: 377-385.

Falloon, R. E., S. L. Viljanen-Rollinson, D. Coles G., and D. Poff J. 1995. Disease severity keys for powdery and downy mildews of pea, and powdery scab of potato. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 23: 31-37.

FAO. 2008. Organización de las Naciones Unidas Para la Alimentación y la Agricultura. Producción de tubérculos semilla libres de enfermedades. Recuperado el 8 de marzo de 2014, de <http://www.potato2008.org/pdf/IYP-9es.pdf>

Foxe, M. J. 1980. An investigation of the distribution of potato mop top virus in Country Donegal. *Journal of Life Sciences, Royal Dublin Society* 1: 149-55.

García, C., y E. Navia. 2001. Subproyecto 1: Estudios de biología y patología de *Spongospora subterranea* en la Sabana de Bogotá. En: RedePapa. Recuperado el 8 de agosto de 2014, de <http://www.redepapa.org/celsa.pdf>

García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen. Tercera edición. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 217 p.

Ghassan, A. S., S. Russell, and H. Heidi. 2000. Ways to increase tuber number. *Australian Potato Research*. Adelaide, Australia.

Harrison, J. G., J. Searle R. and A. Williams N. 1997. Powdery scab disease of potato-a review. *Plant Pathology* 46(1): 1-25.

Hollander, M., and A. Wolfe D. 1999. *Nonparametric Statistical Methods*. Second Edition. Wiley Series in Probability and Statistics: United States of America.

Hooker, W. J. 1980. Compendio de enfermedades de la papa. Centro Internacional de la papa (CIP): Lima, Perú.

Horton, D. 1987. Potatoes. Production marketing and programs for developing countries. USA: Westview Press Inc. Winrock Development Oriented literature Series.

Hoyos, L., M. Villegas y P. González E. 2009. Observaciones histológicas de estructuras celulares asociadas a *Spongospora subterranea* f sp. *subterranea* en papa. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 62(2): 5039-5045.

- Hughes, I. K. 1980. Powdery scab (*Spongospora subterranea*) of potatoes in Queensland: occurrence, cultivar susceptibility, time of infection, effect of soil pH, chemical control and temperature relations. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 20: 625–32.
- Jackson, S. D. 1999. Multiple signaling pathways control tuber induction in potato. *Plant Physiology* 119: 1-8.
- Janke, C. 1963. Untersuchungen zur Ökologie des Pulverschorfes der Kartoffel (*Spongospora subterranea* Wallr. Johns). *Nachrichtenblatt für den Deutschen Pflanzenschutzdienst (Berlin)* 17: 65-75.
- Jaramillo, V. S. y J. M. Botero H. 2007. Respuesta de diferentes poblaciones de *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea* a la rotación entre dos variedades de papa (*Solanum tuberosum* ssp. *andigena*). *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín* 60(2): 3859-3876.
- Jones, R. A. C. and B. D. Harrison. 1972. Ecological studies on potato mop-top virus in Scotland. *Annals of Applied Biology* 71: 47-57.
- Kirk, H. G. 2008. Mop-top virus, relationship to its vector. *American Journal of Potato Research*, DOI 10.1007/s12230-008-9021-7.
- Kirkham, R. P. 1986. Screening for resistance to powdery scab disease of potatoes. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 26, 245-7.
- Landis, M. L. 1990. Manual de viveros para la producción de especies forestales en contenedor. Vol. 2: Contenedores y medios de crecimiento. Departamento de Agricultura: Oregón, E. U. A. 52 p.
- Lees, A. K., P. van de Graaf and S. Wale. 2008. The Identification and detection of *Spongospora subterranea* and factors affecting infection and disease. *American Journal Potato Research* 85(4): 247–252.
- Less, A. K. 2000. Powdery scab: Past and present research. En: *Proceedings of the First European Podery Scab Workshop*. Aberdeen Scotland, 55-57.
- Lister, R. A., R. E. Falloon, D. Curtin and R. C. Butler. 2004. *Spongospora subterranea* reduces host (*Solanum tuberosum*) growth. In *Proceedings of the 3rd Australasian Soilborne Diseases Symposium*, eds. KM Ophel-Keller and BH Hall, 135–136. Adelaide: South Australian Research and Development Institute.

- Lulai, E. C. 2004. Proceedings from the symposium: recent advances in the physiology of tuberization and dormancy. *American Journal of Potato Research* 81: 251-252.
- Manrique, L. A. 1993. Constraints for potato production in the tropics. *Journal of Plant Nutrition* 16: 2075-2120.
- Melhus, I. E., J. Rosenbaum and S. Schultz E.. 1916. *Spongospora subterranea* and *Phoma tuberosa* on the Irish potato. *Journal of Agricultural Research* 7, 213-54.
- Merz, U. 2008. Powdery Scab of Potato—Occurrence, Life Cycle and Epidemiology. *American Journal of Potato Research* 85: 241–246.
- Merz, U. and R. E. Falloon. 2009. Review: powdery scab of potato – increased knowledge of pathogen biology and disease epidemiology for effective disease management. *Potato Research*, 17-37.
- Montaldo, A. 1984. Cultivo y Mejoramiento de la Papa. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José, Costa Rica, 706.
- Montesdeoca, F. 2005. Guía para la producción, comercialización y uso de semilla de papa de Calidad. Quito. PNRT-INIAP- Proyecto FORTIPAPA. 40 p.
- Moorby, J. y F. L. Milthorpe. 1983. Papa. In: *Fisiología de cultivos*. L T Evans (eds). Traducido por Héctor González Idiarte. 1a ed. Edit. Hemisferio Sur. S. A. Buenos Aires Argentina. pp: 245-280.
- Nakayama, T., M. Horita and T. Shimanuki. 2007. *Spongospora subterranea* soil contamination and its relationship to severity of powdery scab on potatoes. *Journal of General Plant Pathology* 73: 229–34.
- Naoumoff, N. A. 1936. Systematic studies of injurious Phycomycetes with particular reference to the causal agent of powdery scab of potato. Summary of the Scientific Research Work of the Year, 1935, 520-3. Summary in: *Review of Applied Mycology* 16, 59.
- Orozco, O. L. F., C. M. Zuluaga A., and J. M. Cotes T. 2012. Selección combinada en un población de *Solanum phureja* para resistencia a *Spongospora subterranea* F. sp. *subterranea* y *Phytophthora infestans*. *Facultad de Ciencias Básicas* 8(1): 56-69.

- Osorio-Giraldo, I., M. Orozco V., P. Gutiérrez S., P. González J. y M. Marín M. 2012. Variabilidad Genética de *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea* en Colombia. *Bioagro* 24(3): 151-162.
- Palmer, R. G. and F. R. Troeh. 1989. *Introductory Soil Science-laboratory Manual*. AGT. Iowa. Traducción del Dr. Fidel Márquez Sánchez. Colegio de Postgraduados: Texcoco, México. 158 p.
- Parsons, D. B. 1995. *Papas*. Novena reimpresión. Ed. Trillas.: México, D. F. 87 p.
- Qu, X. and B. Christ. 2006. The host range of *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea* in the United States. *American Journal of Potato Research* 83: 343-347.
- Rendón, C. V. A., E. P. González J. y J. M. Cotes T. 2012. Heredabilidad de la resistencia a *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea* en una población de *Solanum phureja* a través de bioensayos. *Facultad de Ciencias Básicas* 8(1): 70-83.
- Restrepo, D. A. F., S. Jaramillo V. y J. Cotes T. 2009. Efecto de dos microorganismos y un consorcio de micorrizas en combinación con viruta de pino sobre el control de sarna polvosa (*Spongospora subterranea*) en papa. *Fac. Nal. Agr. Medellín* 62(2): 5047 - 5054.
- Robinson, R. A. 1987. Manejo del hoppedante en patosistemas agrícolas. R. Garcia E. (Trat). Montecillos, México. 281: Colegio de Postgraduados.
- Rousselle, P., Y. Robert y J. Crosnier. 1999. *La patata. Producción, mejora, plagas y enfermedades, utilización*. España: Mundi-Prensa. pp. 607.
- Rousselle, P., Y. Robert y J. Crosnier. 1996. *La pomme de terre*. Instituto National de la Recherche Agronomique. París, Francia. pp. 25-154.
- Rowe, R. C. 1993. Managing potato health from emergence to harvest. In: *Potato Health Management*. R C Rowe (edit). APS-Press. Saint Paul, minn. pp: 35-40.
- Rubio, C. O. A., J. A. Rangel G., R. Flores L., J. V. Magallanes G., C. Díaz H., T. E. Zavala Q., Telésforo E; A. Rivera P., M. Cadena H., R. Rocha R., C. Ortiz T., H. López D., M. Díaz V. y A. Paredes T. 2000. *Manual para la producción de papa en las sierras y valles altos del centro de México*. Libro técnico No. 1. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pcuarias (INIFAP).

- Salazar, L. F. and A. C. Jones R. 1975. Some studies on the distribution and incidence of potato mop-top virus in Peru. *American Potato Journal* 52: 143-50.
- Salisbury, F. B. y W. Ross C. 1994. *Fisiología Vegetal*. Traducción al español de V. González. Grupo Editorial Iberoamericana. S. A. de C. V.: México. D. F. 759 p.
- Santibáñez, F. 1994. Crop requirements: Temperate crops. In: *Handbook of agricultural meteorology*. J. F. Griffiths Editor: Oxford Univ. Press. New York., USA. pp. 174-188.
- SAS Institute Inc. 2002. *SAS/STAT User's Guide*, Version 9.1. SAS Institute Inc., Cary NC.
- Scott, R. K. and S. J. Willockson. 1982. Application of physiological and agronomic principles to the development of the potato industry. In: *The Potato Crop: The Scientific Basis for Improvement*. P. M. Harris (ed): J. Wiley, New York. pp: 11-42.
- Scott, G., M. Rosegrant and C. Ringler. 2000. Raíces y tubérculos para el siglo 21; tendencias, proyecciones y opciones políticas. International Food Policy Research Institute.
- Shah, F. A., R. E. Falloon and R. C. Butler. 2012. Low amounts of *Spongospora subterranea* sporosorus inoculum cause severe powdery scab, root galling and reduced water use in potato (*Solanum tuberosum*). *Australasian Plant Pathology* 41:, 219-228.
- Shah, S. F. A., R. C. Butler, W. Marshall J. and S. Keenan. 2004. Relationships between *Spongospora subterranea* inoculum, powdery scab severity and potato tuber yield. In Ophel Keller KM, Hall BH. (eds) *Proceedings of the 3rd Australasian Soilborne Diseases Symposium*. South Australian Research and Development Institute, Adelaide, pp 172–173.
- Shaw, R. H. 1988. Climate requirement. In: *Corn and Corn Improvement*. G F Sprague, J W Dudley (eds). *Agronomy, Monograph Series No. 18*, 3rd edition. Madison, Wisconsin, U.S.A. pp: 609-638.
- Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). *Panorama mundial de la papa*. 2008. Recuperado el 8 de marzo de 2014, de <http://www.siea.sagarpa.gob.mx>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (SIAP). *Panorama internacional de la papa*. 2012. Recuperado el 6 de febrero de 2014, de <http://www.siea.sagarpa.gob.mx>

- Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP-SAGARPA). 2014. Panorama mundial de la papa. Recuperado el 8 de marzo de 2016, de <http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Panoramas/Ficha%20Papa.pdf>
- Soboh, G. A., R. Sully and H. Hopkins. 2000. Ways to increase tuber number. In: Australian Potato Research, Development and Technology Transfer Conference, Adelaide, Australia.
- Torres, H. 2002. Roña (*Spongospora subterranea*). Torres H (ed.) Manual de las enfermedades más importantes de la papa en Perú. Lima Perú: Centro Internacional de la Papa.
- Urrestarazu, G. M. 2000. Manual de cultivo sin suelo. Universidad de Almería, España. Ediciones Mundi-Prensa. Almería, España. 137-182 p.
- Van de Graaf, P., A. K. Less, S. J. Wale and M. J. Duncan. 2005. Effect of soil inoculum level and environmental factors on potato powdery scab caused by *Spongospora subterranea*. Plant Pathology 54(1): 22-28.
- Van de Graaf, P., S. J. Wale and A. K. Less. 2007. Factors affecting the incidence and severity of *Spongospora subterranea* infection and galling in potato roots. Plant Pathology 56(6): 1005-1013.
- Velásquez, J. 2006. Producción de tubérculo-semilla de papa en la estación experimental "Santa Catalina" del INIFAP y su relación con el sector semillero nacional. En: Memorias del II Congreso ecuatoriano de la papa. Ambato, Ecuador 17 al 19 de mayo del 2006. 7 p.
- Wenzl, H. 1962. Beitrage zur Ökologie des Kartoffelschorfes (*Spongospora*- und *Actinomyces*-Schorf). Pflanzenschutzberichte (Wien) 29, 33-64.
- Wheeler, R. M., T. W. Tibbitts and A. H. Fitzpatrick. 1989. Potato growth in response to relative humidity. Hort Science 24: 482-484.
- Wilson, D. R., R. C. Muchow and C. J. Murgatroyd. 1995. Model analysis of temperature and solar radiation limitations to maize potential productivity in cool climate. Field Crops Research 43: 1-18.