

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE SAN MARCOS  
CARRERA DE INGENIERO AGRÓNOMO CON ORIENTACIÓN EN  
AGRICULTURA SOSTENIBLE



TESIS

“EFECTO DE SEIS PRODUCTOS QUÍMICOS Y UN ORGÁNICO PARA EL CONTROL DE TIZÓN TARDÍO -Phytophthora infestans- (Mont.) de Bary EN EL CULTIVO DE PAPA (Solanum tuberosum L), ALDEA SAN ANDRÉS CHÁPIL, SAN PEDRO SACATEPÉQUEZ, SAN MARCOS”.

PRESENTADA POR:  
JEOVANI OSBELÍ TUL LÓPEZ

Previo a optar al título profesional que lo acredita como:  
INGENIERO AGRÓNOMO EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO EN  
CIENCIAS AGRÍCOLAS

Asesor Principal  
Ing. Agr. Osman Cifuentes

Asesor Adjunto  
Ing. Agr. Emmanuel Velásquez Anzueto

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

San Marcos, Marzo 2016.



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**CENTRO UNIVERSITARIO DE SAN MARCOS**  
**INGENIERO AGRÓNOMO CON ORIENTACIÓN EN AGRICULTURA**  
**SOSTENBLE**

**MIEMBROS DEL CONSEJO DIRECTIVO**

Directora	Licda. Eugenia Elizabet Makepeace Alfaro
Representante Docente	Ing. Aldo Mario René Tobar Gramajo
Representante Docente	Lic. Germán Neptalí Castañón Orozco
Representante Graduados	Lic. Mario Roberto Chang Bravo
Representante Estudiantil	Br. Reina Myrea Barrios Solano
Representante Estudiantil	Br. Rafael Antulio Mérida Rodríguez

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**CENTRO UNIVERSITARIO DE SAN MARCOS**

**MIEMBROS DE LA COORDINACIÓN ACADÉMICA**

Coordinador académico.	Lic. Edwin René del Valle López
Coordinador Carrera Técnico en Producción Agrícola e Ingeniero Agrónomo con Orientación en Agricultura Sostenible.	Ing. Jorge Robelio Juárez González
Coordinador Carrera Pedagogía y Ciencias de la Educación. Castillo	Lic. Francisco Leonardo Hernández
Coordinador Carrera Trabajo Social.	Licda. Aminta Esmeralda Guillén Ruiz
Coordinador Carrera Administración de Empresas.	Lic. German Neptalí Castañón Orozco
Coordinador Carrera Abogado y Notario y Licenciatura en Ciencias Jurídicas y Sociales.	Lic. Hugo Alfredo Bautista del Cid
Coordinador Carrera Medicina.	Dr. Jorge Gutiérrez Hazbun
Coordinador Extensiones San Marcos.	Lic. Juan Carlos López Navarro
Coordinador Extensión Malacatán.	Ing. Edgar Ronaldo de León Cáceres
Coordinador Extensión Tejutla.	Lic. Víctor Hugo Orozco Godínez
Coordinador Extensión Tacaná.	Lic. Lisandro Dagoberto de León Gómez
Coordinador Área de Extensión.	Lic. Byron Lionel Orozco García
Coordinador del Instituto de Investigación.	Ing. Rubén Francisco Ruiz Mazariegos

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE SAN MARCOS**

**COMITÉ DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**

Coordinador	Ing. Agr. Rodolfo Raquel Carredano
Secretario	Ing. Agr. Fredy Roberto Pérez
Vocal	Ing. Agr. Leonel Alfredo Orozco

**ASESORES**

Ing Agr. Osman Cifuentes

Ing Agr. Enmanuel Velásquez Anzueto

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE SAN MARCOS**

**TRIBUNAL EXAMINADOR**

Directora	Licda Eugenia Elizabet Makepeace Alfaro
Coordinador Académico	Lic. Edwin René del Valle López
Coordinador de Carrera	Ing. Jorge Robelio Juárez González
Asesor Principal	Ing. Agr. Osman Cifuentes
Asesor adjunto	Ing. Agr. Enmanuel Velásquez Anzueto

## **ACTO QUE DEDICO**

- A DIOS** Ser Supremo por excelencia, gracias por brindarme la vida y llenarme de Sabiduría y entendimiento para lograr uno de mis sueños que hoy se ve reflejado con éxito. A ti Señor Jesucristo sea toda la Gloria, la Honra y el Honor.
- A MIS PADRES** Felipe U. Tul Míncez (Q.E.P.D)  
Thelma A. López y López (Q.E.P.D)  
Gracias por haberme brindado cariño, amor, paciencia, consejos y apoyo incondicional. A ti querida madre muchas gracias por ese sacrificio y esfuerzo que hoy se ve premiado. Sé que están en un lugar muy especial y hoy aunque no están presentes, se sienten satisfechos y felices por este logro alcanzado. Les dedico este triunfo con mucho amor.
- A MIS HERMANOS** Carlos Roberto y Aura Guadalupe Tul López muchas gracias por su apoyo, confianza, consejos y ese amor que nos une siempre.
- A MI ESPOSA** Imelda Marleni González Fuentes, muchas gracias por ser la mujer idónea en mi vida, eres muy especial y sobre todo te agradezco por el apoyo, confianza, paciencia y amor que me has brindado. Te amo mi vida y te dedico este triunfo.
- A MIS HIJAS** Catherine Stefanie y Mélany Franchesca Tul González Precioso regalo que Dios nos dio, Gracias por ser cariñosas, amorosas y comprensivas. Las amo mis princesas, les dedico este triunfo y que sea un ejemplo en sus vidas.
- A MIS FAMILIARES** Gracias por el apoyo brindado y por sus sabios consejos.
- A MIS CUÑADOS Y CUÑADAS** Gracias por el apoyo brindado.
- A MIS AMIGOS** Por cada momento compartido.
- A MIS CATEDRÁTICOS** Gracias por ser parte del proceso de mi formación y que hoy se ve culminado con éxito, siendo un profesional.

## **AGRADECIMIENTOS**

**A MIS ASESORES:** Ing. Agr. Osman Cifuentes e Ing. Agr. Enmanuel Velásquez Anzueto, por la orientación técnica y apoyo en la realización del presente trabajo de investigación.

**A ING. CARLOS SOLIS:** Por su apoyo técnico y personal en la elaboración del presente trabajo de investigación.

**A ICTA (Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas)** Por su valiosa colaboración al brindarme la asesoría técnica para la realización de la presente investigación, así mismo con los productos que se aplicaron a los diversos tratamientos.

**AL SEÑOR MIGUEL GARCÍA:** Por su apoyo al proporcionarme el área para la realización de la investigación.

**A LA GLORIOSA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA:** Por el tiempo que me permitió ser formado como profesional en tan distinguido centro de estudios superiores. Que viva La San Carlos.

**A LOS DOCENTES:** Por la enseñanza y amistad que compartimos.

## **TÍTULO**

**EFFECTO DE SEIS PRODUCTOS QUÍMICOS Y UN ORGÁNICO PARA EL CONTROL DE TIZÓN TARDÍO -*Phytophthora infestans*- (Mont.) de Bary EN EL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum* L), ALDEA SAN ANDRÉS CHÁPIL, SAN PEDRO SACATEPÉQUEZ, SAN MARCOS”.**

## INDICE

1.	RESUMEN .....	1
2.	INTRODUCCIÓN .....	3
3.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
4.	JUSTIFICACION .....	6
5.	MARCO TEÓRICO .....	7
5.1	MARCO CONCEPTUAL .....	7
5.1.1	CULTIVO DE PAPA (Solanum tuberosum L.) .....	7
5.1.2	TIZON TARDIO .....	13
5.1.3	CONTROL QUÍMICO .....	22
5.1.4	ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	25
5.2	MARCO REFERENCIAL.....	26
5.2.1	Localización.....	26
5.2.2	colindancias.....	26
5.2.3	Topografía .....	26
5.2.4	Situación ecológica:.....	26
6.	OBJETIVOS.....	28
6.1	GENERAL:.....	28
6.2	ESPECIFICOS:.....	28
7.	HIPOTESIS.....	28
8.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	29
8.1	Características del material experimental .....	29
8.2	Diseño experimental.....	32
8.3	Manejo del experimento.....	34
8.4	Manejo agronómico del experimento .....	35
8.5	Variables de respuesta.....	36
8.6	Análisis estadístico.....	38
9.	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	39
9.1	Incidencia (% de plantas enfermas) .....	39
9.2	Severidad (Porcentaje de tejido dañado) .....	42
9.3	Rendimiento kg/ha. ....	45
9.4	Relación de la tasa de incremento de la severidad y el rendimiento de papa (Solanum tuberosum L.) .....	48

9.5	Análisis económico.....	49
10.	CONCLUSIONES.....	54
11.	RECOMENDACIONES.....	55
12.	BIBLIOGRAFÍA.....	56
13.	ANEXOS.....	62

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Ventajas de la papa con respecto a otros cultivos que se siembran en el mismo hábitat. ....	8
Cuadro 2	Requerimientos nutricionales del cultivo de papa en kg/ha .....	13
Cuadro 3.	Tratamientos aplicados para el control de tizón tardío. ....	35
Cuadro 4.	Promedios de incidencia del patógeno <i>Phytophthora infestans</i> sobre las plantas de papa, con los tratamientos aplicados.....	39
Cuadro 5.	Análisis de varianza de la incidencia del patógeno <i>Phytophthora infestans</i> sobre las plantas de papa, con los tratamientos aplicados. ....	40
Cuadro 6.	Promedios del % de severidad del patógeno <i>Phytophthora infestans</i> sobre las plantas de papa, con los tratamientos aplicados. ....	43
Cuadro 7.	Análisis de varianza de la severidad del patógeno <i>Phytophthora infestans</i> sobre las plantas de papa, con los tratamientos aplicados. ....	43
Cuadro 8.	Análisis de varianza del rendimiento total en ton/ha de tubérculos en el cultivo de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> L).....	46
Cuadro 9.	Análisis de regresión lineal y varianza entre rendimiento y severidad. .	49
Cuadro 10.	Presupuesto parcial de los tratamientos evaluados.....	50
Cuadro 11.	Análisis de dominancia de los tratamientos evaluados.....	50
Cuadro 12.	Tasa marginal de retorno de los tratamientos evaluados. ....	51
Cuadro 13.	Presupuesto total del ensayo experimental en el cultivo de papa .....	65
Cuadro 14.	Costo total de fungicidas. ....	66
Cuadro 15.	Rendimiento total en kg/ha de tubérculos en el cultivo de papa.....	67
Cuadro 16.	Cronograma de actividades.....	67
Cuadro 17.	Clave de campo de James para estimar el porcentaje de daño causado por la enfermedad tizón tardío. ....	68
Cuadro 18.	Producción Nacional de Papa .....	76
Cuadro 19.	Datos mensuales de precipitación. ....	77
Cuadro 20.	Datos mensuales de días lluviosos.....	77
Cuadro 21.	Producción anual de papa en C.A y Sudamérica (millones de ton)....	77

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Prueba de Tukey de la incidencia del patógeno <i>Phytophthora infestans</i> sobre las plantas de papa, con los tratamientos aplicados. ....	40
Tabla 2. Prueba de Tukey del % de severidad del patógeno <i>Phytophthora infestans</i> sobre las plantas de papa, con los tratamientos aplicados. ....	43
Tabla 3. Prueba de Tukey del rendimiento total en kg/ha de tubérculos en el cultivo de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> L).....	46
Tabla 4. Hoja para toma de datos. ....	64
Tabla 5. AUDPC Y rAUDPC de incidencia en el cultivo de papa. ....	66
Tabla 6. AUDPC Y rAUDPC de severidad en el cultivo de papa.....	66

## INDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Prueba de Tukey de la incidencia del patógeno <i>Phytophthora infestans</i> , sobre las plantas de papa, con los tratamientos aplicados. ....	41
Gráfica 2. Incidencia acumulada del patógeno <i>Phytophthora infestans</i> sobre las plantas de papa, con los tratamientos aplicados.....	41
Gráfica 3. AUDPC incidencia del patógeno <i>Phytophthora infestans</i> sobre las plantas de papa, con los tratamientos aplicados.....	42
Gráfica 4. Prueba de Tukey de la severidad del patógeno <i>Phytophthora infestans</i> , sobre las plantas de papa, con los tratamientos aplicados. ....	44
Gráfica 5. Severidad acumulada del patógeno <i>Phytophthora infestans</i> sobre las plantas de papa, con los tratamientos aplicados.....	44
Gráfica 6. AUDPC de severidad del patógeno <i>Phytophthora infestans</i> sobre las plantas de papa, con los tratamientos aplicados.....	45
Gráfica 7. Prueba de Tukey del rendimiento total en kg/ha de tubérculos en el cultivo de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> L).....	47
Gráfica 8. Rendimiento total en kg/ha de tubérculos en el cultivo de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> L). ....	47
Gráfica 9. Línea de regresión de la tasa de incremento de severidad sobre el rendimiento en el cultivo de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> L.). ....	48
Gráfica 10. Relación AUDPC de severidad y rendimiento en kilogramos de tubérculos en el cultivo de papa. ....	67

## INDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Tarjeta del porcentaje de severidad de “James” para Phytophthora infestans Mont. de Bary en papa.....	68
Imagen 2. Ciclo de vida de Phytophthora infestans (Mont) de Bary.....	69
Imagen 3. Semilla certificada de papa de segunda.....	69
Imagen 4. Ensayo experimental con sus trazos respectivos.....	70
Imagen 5. Tallos de papa afectados por el tizón tardío se tornan frágiles y quebradizos.....	70
Imagen 6. Tallos de papa muestran progreso de la enfermedad causada por el tizón tardío (Phytophthora infestans Mont. de Bary). ....	70
Imagen 7. Lesiones del tizón (Phytophthora infestans) en una hoja. ....	71
Imagen 8. Manchas necróticas en el haz y envés de hojas de papa, causadas por el tizón tardío.....	71
Imagen 9. Zoosporas producidas por recombinación sexual de diferentes tipos de tizón (Phytophthora infestans).....	72
Imagen 10. Tizón Tardío en hojas formando un borde amarillo pálido alrededor de la lesión. ....	72
Imagen 11. Identificación de plantas seleccionadas para toma de datos.....	73
Imagen 12. Plantas de papa mostrando evolución en su desarrollo fenológico. ...	73
Imagen 13. Preparación y aplicación de fungicidas en el ensayo experimental....	74
Imagen 14 Utilización de mayas de nylon para evitar deriva de productos. ....	74
Imagen 15. Previo a la defoliación. ....	74
Imagen 16. Cosecha y selección de categorías de tubérculos de papa.....	75

## INDICE DE MAPAS

Mapa 1. Ubicación geográfica del Municipio de San Pedro Sacatepéquez, S.M. .	62
Mapa 2. Ubicación del ensayo experimental, Aldea San Andrés Chápil. ....	63
Mapa 3. Ubicación del ensayo experimental, Aldea San Andrés Chápil. ....	63

## 1. RESUMEN

El Tizón Tardío causado por el oomiceto *Phytophthora infestans* Mont de Bary es una de las enfermedades más importantes en el cultivo de papa en el mundo y también en Guatemala.

La presente investigación presenta la evaluación del efecto de seis productos químicos y un orgánico para el control de Tizón Tardío (*Phytophthora infestans* Mont de Bary) en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.), Aldea San Andrés Chápil, San Pedro Sacatepéquez, San Marcos; se estableció un ensayo experimental de papa variedad Loman a 2468 msnm y se llevó a cabo en los meses de agosto a diciembre del año 2014. El diseño fue el de bloques al azar con ocho tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos evaluados fueron: T1 Cymoxanil + Mancozeb, T2 Programa (Propamocarb + Fenamidone, Propamocarb + Fluopicolide y Fluopicolide + Propineb), T3 Propamocarb + Fenamidone, T4 Propamocarb + Fluopicolide, T5 *Bacillus subtilis*, T6 *Bacillus subtilis* + Propineb, T7 Fluopicolide + Propineb y T8 Testigo absoluto. La toma de datos y aplicación de tratamientos fue con intervalos de 7 días, efectuando 9 aplicaciones. Se determinaron los mejores productos para el control del patógeno *Phytophthora infestans* Mont de Bary, siendo los compuestos a base de: Propamocarb + Fluopicolide, (1.89 %), Propamocarb + Fenamidone (2.40 %), Programa (2.65%) y *Bacillus subtilis* (2.74%). Los tratamientos con mayor rendimiento fueron los compuestos a base de Propamocarb + Fluopicolide (43.69 ton/ha), *Bacillus subtilis* + Propineb (39.93 ton/ha), Propamocarb + Fenamidone (39.76 ton/ha), Programa (38.89 ton/ha) y *Bacillus subtilis* (38.48 ton/ha). En el análisis económico, según el presupuesto parcial el que mayor beneficio neto obtuvo, fue el compuesto a base de Propamocarb + Fluopicolide (Q 161,115.51), seguidos por *Bacillus subtilis* + Propineb (Q 149,237.17) y *Bacillus subtilis* (Q 145, 447.40). De acuerdo a la tasa de retorno marginal los tratamientos con mayor porcentaje de retorno marginal son los compuestos a base de *Bacillus subtilis* (30.05%), Propamocarb + Fluopicolide (4.47%) y *Bacillus subtilis* + Propineb (2.10%). Se concluye que el tratamiento a base de *Bacillus subtilis* es el mejor para el control del patógeno *Phytophthora infestans* Mont de Bary, con relación a severidad, rendimiento y análisis económico, bajo las condiciones climáticas del Municipio de San Pedro Sacatepéquez, San Marcos.

Palabras clave: Tizón tardío, Propamocarb, Fluopicolide, Fenamidone, *Bacillus subtilis*, Tasa de retorno marginal.

## SUMMARY

Late Blight caused by the oomycete *Phytophthora infestans* Mont de Bary is one of the most important diseases in the potato crop in the world and also in Guatemala.

This research presents the evaluation of the effect of six chemicals and organic control late blight (*Phytophthora infestans* Mont de Bary) in potato crop (*Solanum tuberosum* L.), Chapil Aldea San Andres, San Pedro Sacatepequez, San Marcos; experimental potato variety trial at 2468 meters Loman was established and took place in the months of August to December 2014. The design was a randomized block with eight treatments and four repetitions. The treatments were: T1 Cymoxanil + Mancozeb, T2 Programme (Propamocarb + Fenamidone, Propamocarb Fluopicolide + + Fluopicolide and Propineb) + Fenamidone Propamocarb T3, T4 + Fluopicolide Propamocarb, T5 *Bacillus subtilis*, *Bacillus subtilis* + Propineb T6, T7 Fluopicolide + Propineb T8 and absolute control. Data collection and application of treatment was 7 days intervals, making 9 applications. The best products to control pathogen *Phytophthora infestans* Mont de Bary were determined, being based compounds: Fluopicolide Propamocarb + (1.89%), Fenamidone Propamocarb + (2.40%), Programme (2.65%) and *Bacillus subtilis* (2.74 %). The treatments were more performance-based compounds Propamocarb + Fluopicolide (43.69 t / ha), *Bacillus subtilis* + Propineb (39.93 t / ha), Propamocarb + Fenamidone (39.76 t / ha), Program (38.89 t / ha) and *Bacillus subtilis* (38.48 t / ha). In the economic analysis, according to the partial budget that increased net income obtained, it was based compound Propamocarb + Fluopicolide (Q 161,115.51), followed by *Bacillus subtilis* + Propineb (Q 149,237.17) and *Bacillus subtilis* (Q 145, 447.40). According to the marginal return rate higher percentage treatments marginal return are compounds from *Bacillus subtilis* (30.05%) + Propamocarb Fluopicolide (4.47%) and *Bacillus subtilis* + Propineb (2.10%). We conclude that treatment with *Bacillus subtilis* is the best to control the pathogen *Phytophthora infestans* Mont de Bary, regarding severity, yield and economic analysis, under the climatic conditions of the municipality of San Pedro Sacatepéquez, San Marcos.

Keywords: Late blight, Propamocarb, Fluopicolide, Fenamidone, *Bacillus subtilis*, marginal rate of return.

## 2. INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es el tercer cultivo en importancia a nivel mundial después del arroz y el trigo (Ritter, E. y Galarreta, R., 2008). Es un tubérculo básico de la dieta de la población y fuente de ingresos económicos para las familias campesinas de la Sierra (Pumisacho Y Sherwood, 2002).

El Tizón Tardío causado por el pseudo-hongo oomiceto (*Phytophthora infestans* Mont de Bary) es la enfermedad más importante de la papa a nivel mundial (Pérea, W., Forbes, G. 2008). El patógeno afecta principalmente al follaje reduciendo significativamente la capacidad fotosintética de la planta, pudiendo causar la pérdida completa del cultivo en pocos días. (Flier, 2001).

Hace una década, el costo económico anual causado por la aplicación de fungicidas y las pérdidas económicas en el rendimiento fue valuado en más de 287 millones de dólares y una cuarta parte de ese costo correspondió al uso de fungicidas (Guenthner et al., 2001)

Actualmente el cultivo de la papa en Guatemala ocupa un lugar de importancia económica, pues además de cubrir la demanda interna se exporta un 34% de su producción total hacia países como el Salvador, Honduras y Nicaragua constituyéndose como una fuente de divisas para el país. Su área de siembra ocupa alrededor de 10,000 hectáreas, con un promedio de 15 a 20 toneladas por hectárea (INE 2003).

En la actualidad, existen en el mercado productos alternativos recomendados para el control de tizón tardío, por lo que es preciso conocer la eficiencia de estos, para disponer de alternativas modernas que permitan conjuntamente con la resistencia genética, hacer un manejo integrado de la enfermedad, por tal razón se implementó la siguiente investigación.

La investigación se llevó a cabo en los meses de agosto a diciembre del año 2014, en Aldea San Andrés Chápil, a 255 km de la ciudad capital, a 4.5 km de la cabecera de San Marcos y a 6 km del municipio de San Pedro Sacatepéquez. En las coordenadas siguientes: Latitud: 14° 99' 25" y Longitud: 91° 78' 04". Se ubica a una altura de 2468 msnm, precipitación pluvial de 1587 mm, humedad relativa del 75% y una temperatura media anual de 12 °C.

Para el ensayo experimental, se utilizó un diseño de bloques al azar, con ocho tratamientos y cuatro repeticiones (incluido el testigo absoluto); utilizando la variedad de papa Loman, según Monterroso, 2007, es altamente susceptible al Tizón Tardío (*Phytophthora infestans* Mont de Bary).

El ensayo experimental se realizó en un área total de 345.60 m<sup>2</sup>, distribuidos en 32 unidades experimentales de 43.20 m<sup>2</sup>, El distanciamiento de siembra entre surcos fue de 0.90 metros y 0.30 metros entre plantas, ubicando un total de 40 plantas por unidad experimental.

El objetivo general de la investigación fue evaluar el efecto de seis productos químicos y un orgánico en el control de tizón tardío (*Phytophthora infestans* Mont de Bary) en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad loman.

En esta investigación se evaluaron 8 tratamientos siendo: T1 Cymoxanil + Mancozeb, T2 Programa (Propamocarb + Fenamidone, Propamocarb + Fluopicolide y Fluopicolide + Propineb), T3 Propamocarb + Fenamidone, T4 Propamocarb + Fluopicolide, T5 Bacillus subtilis, T6 Bacillus subtilis + Propineb, T7 Fluopicolide + Propineb y T8 Testigo absoluto.

Se evaluaron las variables de incidencia, severidad y rendimiento, incluyendo un análisis de regresión correlación y un análisis económico.

De acuerdo a los datos recabados, estos se tabularon en el Software InfoStat versión 2015e. Y con base a los análisis de varianza, pruebas múltiples de medias de Tukey y AUDPC de incidencia, severidad y rendimiento; los resultados determinaron satisfactoriamente el tratamiento más eficiente para el control de la epifitía *Phytophthora infestans* y en el rendimiento, así como el más rentable para el productor.

En base a los resultados se dieron las conclusiones de la investigación y las recomendaciones pertinentes en el uso de los fungicidas evaluados para el control del patógeno *Phytophthora infestans* Mont de Bary.

### 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Actualmente, el Tizón Tardío producido por el oomiceto *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary es una de las enfermedades más conocidas y continúa siendo uno de los principales factores de estrés biótico más importante y limitante de la producción de papa (Hijmans et al, 2000). Durante la década de 1840, este patógeno causó epidemias en los Estados Unidos y Europa que culminó en la famosa hambruna de la papa irlandesa de 1845 (Abad, Z. G.; Abad, J. A., 1997).

El Centro Internacional de la papa (CIP) estimó que las pérdidas de producción anual de papa causadas por este patógeno son del 41% para tubérculos comerciales y del 34 % para el rendimiento total (Mantecón, 2006).

Para el altiplano central y occidental de Guatemala el daño es muy severo, debido a las condiciones medioambientales que favorecen para que esta enfermedad se desarrolle, lo que produce en los cultivos síntomas muy severos como el ennegrecimiento de las hojas, manchas necróticas en los tallos y en algunos casos con la pérdida total del follaje y el resultado está relacionado con la mala calidad de los tubérculos, siendo responsable de pérdidas a nivel mundial y baja productividad de los tubérculos por hectárea. (Pérez; Forbes, 2008).

La variedad Loman es cultivada en más del 90% en la zona, esta es totalmente susceptible al tizón tardío, reduciendo el rendimiento al 100% cuando no se controla eficazmente. (Montejo 2009).

La reproducción del patógeno es asexual –se puede seguir la aplicación de los distintos productos- y sexual –aquí existe variabilidad genética, según Andrivon (1995) sugiere en base a estudios realizados, que la mutación y la migración del patógeno son los factores que más influyen en la evolución de las razas. Por tal razón hay que aplicar productos que no creen resistencia, no dañen al ser humano y al ambiente.

Es importante conocer el comportamiento del hongo y sus condiciones favorables para poder ejercer un control eficiente, porque la peligrosidad de este agente se basa en la fuerte acción citopática y en la capacidad de propagarse en los cultivos en forma de epidemia, esto lleva con frecuencia en unos pocos días a la pérdida total de la cosecha. Si no se realiza un control puede ocasionar una pérdida en un 100%, pero si se controla se logran buenos rendimientos. (Castañeda, 2000; Chávez Guillermo ICTA 2014).

En la actualidad los agricultores usan una gama de productos que son perecederos, tóxicos y sobre todo bajos en su efectividad; pero hoy en día existen productos de última generación, amigables con el ambiente y con alta capacidad de control.

El patógeno está evolucionando más rápido que las medidas de control que se emplean para combatirlo, y la presente investigación es un factor clave en el planeamiento de estrategias de controles efectivos y durables.

#### 4. JUSTIFICACION

La papa (*Solanum tuberosum* L.) se ubica entre los 10 cultivos más importantes en los países en desarrollo y el cuarto alimento más importante del mundo en cuanto a producción y consumo, superado únicamente por el arroz, el trigo y el maíz en términos de producción total de alimento. (Scott et al. 2000)

La producción de papa en el país se ve limitada por varias razones, una muy importante es la enfermedad conocida como Tizón Tardío, causada por el oomiceto *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, que es un problema difícil de controlar en los cultivos de papa, especialmente en la región central y el occidente del país. (Castañeda et al. 2000)

A pesar de la importancia alimentaria y socio-económica de la papa, en Guatemala se hacen pocas investigaciones sobre las enfermedades y no se tienen estimaciones de las pérdidas debidas al Tizón Tardío *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. No obstante, si las condiciones climáticas son favorables para el desarrollo de la enfermedad, y las variedades empleadas son susceptibles, las pérdidas pueden alcanzar el 100% si no se realiza ningún tipo de protección. (Brenes, et al 2005)

Al ser el Tizón Tardío el factor limitante más importante en la producción de papa, se hace necesaria la investigación en el campo, ya que en la actualidad se han fabricado nuevos fungicidas con características protectivas, curativas y erradicativas, con el fin de brindar una opción más eficiente en el control del tizón tardío.(Barquero, et al 2005 ).

La búsqueda de opciones para el control del Tizón Tardío es la parte fundamental de la presente investigación y los productos a evaluar son objetos de estudio ya que no se conoce la capacidad de control bajo las condiciones climáticas del Municipio de San Pedro Sacatepéquez, San Marcos.

Por ello es absolutamente importante y necesario encontrar una apropiada solución al ataque del “Tizón Tardío” *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, ya que esta enfermedad ataca a los tallos, hojas y tubérculos limitando su desarrollo y si una planta no tiene una área foliar grande, vigorosa y sana se verá influenciada en la productividad y calidad de los tubérculos. (Harrison, 1995), (Huilcapi, 2012).

En la actualidad el uso de fungicidas de síntesis química es muy intenso para el control de las enfermedades en el cultivo de papa, por lo que se trató de buscar un producto eficiente entre las alternativas propuestas en la investigación, con el fin de dar al productor de papa un fungicida de fácil manejo, disponibilidad, bajo costo y lo principal un buen control de esta enfermedad.

## **5. MARCO TEÓRICO**

### **5.1 MARCO CONCEPTUAL**

#### **5.1.1 CULTIVO DE PAPA (SOLANUM TUBEROSUM L.)**

##### **HISTORIA**

El lugar de origen de la papa (*Solanum tuberosum* L), es en la cordillera de los Andes en América del Sur, de donde fueron llevadas por los españoles a Europa distribuyéndose luego por todo el mundo. (Quinatoa, E. 2010)

La enfermedad -Tizón Tardío- fue probablemente reportada por primera vez en 1590 por el padre Acosta, quien mencionó que en el sur de Perú, la papa cultivada por los indios, era afectada por el añublo (rancha). Abad y Abad (1995)

Informes publicados en Colombia en 1762 y en el Perú en 1845, confirman que la enfermedad estuvo presente en la zona andina mucho antes de 1845, fecha en la que se presentó con carácter de epifitía en los cultivos de papa sembrados en los diferentes países de Europa. Sin embargo, a pesar de estas evidencias, la presencia de la enfermedad en EUA y en Europa se atribuye a papas silvestres enfermas introducidas desde México (Fryet al., 1992; Fryet al., 1993; Niederhauser, 1991; French et al., 1994).

Entre 1845 y 1847, todos los campos de papa cultivados especialmente en Irlanda y en los otros países fueron destruidos por esta devastadora enfermedad, ocasionando en Europa la hambruna más grande de todos los tiempos, donde murieron aproximadamente un millón de personas y otro millón emigró a EUA. A partir de esta fecha, la enfermedad es conocida por todos los agricultores que siembran papa y está presente en la gran mayoría de las zonas paperas del mundo.

La mayor diversidad genética de papa (*Solanum tuberosum* L.) cultivada y silvestre se encuentra en las tierras altas de los Andes de América del Sur (Pumisacho Y Sherwood, 2002).

En el continente americano hay unas 200 especies de papas silvestres, pero en realidad, lo que hoy se conoce como "papa" (*Solanum* especie *tuberosum*) contiene apenas un fragmento de la diversidad genética de las siete especies reconocidas de papa y las 5,000 variedades que se siguen cultivando en los Andes. (Agrytec.com 2010),

La papa en Guatemala está considerada como una hortaliza y constituye el tercer cultivo en importancia después del maíz y frijol. Actualmente en Guatemala, se produce en ocho de los 23 departamentos, por eso es que en el país se puede cultivar todo el año. (Christiansen J. 1980)

##### **IMPORTANCIA DEL CULTIVO**

La papa es el cuarto cultivo alimenticio en orden de importancia a nivel mundial, después del trigo, el arroz y el maíz. La producción anual de papa representa aproximadamente la mitad de la producción mundial de todos los tubérculos y raíces (infoagro.com, 2007).

Más de mil millones de personas en el mundo consumen papa. Este cultivo también representa una parte importante en la dieta de más de 500 millones de consumidores de los países en desarrollo. A pesar que los europeos han reducido su consumo en los últimos 30 años, Europa todavía es considerado el continente con el mayor consumo per cápita, seguido por América del Norte y América Latina, según un estudio preparado por el Centro Internacional de la Papa y Food and Agriculture Organization -CIP/FAO-, sobre las tendencias de las décadas 60, 70 y 80 y su proyección para el año 2,004 (IDC, 1999).

Para Guatemala el área cultivada según diferentes fuentes oscila entre 10 a 15 mil hectáreas, el rendimiento promedio es de 15 a 20 toneladas por hectárea (INE 2003). Otros de los aspectos importantes del cultivo para el país, lo constituye que es fundamental para pobladores de áreas marginales (arriba de 3000 msnm), ya que en su explotación utiliza una media de 320 jornales/ha-1 en 1995 ocupaba el 4to. Lugar en prioridad a nivel nacional. (Chávez, G. ICTA 2013)

Con relación a la comercialización de la papa, del total de la producción, el 92 % se consume a nivel nacional, y es la variedad Loman la preferida, ya que de ésta variedad se siembra el 74 % del área total, FAO (2008). Con respecto al consumo de papa, el promedio nacional por persona por año es de 22.8 kg (50.22 lbs), (FAO ,2008) Otros de los aspectos importantes del cultivo, lo constituye su ventaja de productividad con otros cultivos que se siembran en el mismo hábitat.

Cuadro 1 Ventajas de la papa con respecto a otros cultivos que se siembran en el mismo hábitat.

Cultivo	Productividad t/ha	Ingresos Q/ha
Papa	20	26,349.00
Maíz	3	3,109.00
Trigo	3	3,960.00

Fuente: ICTA,

El Altiplano occidental de Guatemala, es una región que ofrece ventajas comparativas para el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.). El cultivo enfrenta una importante limitante en el uso de la semilla, la cual es obtenida en los propios campos de los agricultores, aproximadamente el 95 % de la demanda de la semilla, es satisfecha de esta manera, sin embargo le crea problemas, en cuanto al rendimiento y calidad, y por lo tanto le afecta la competitividad en el mercado y por consiguiente la rentabilidad.

Estos problemas son factibles de solución, si se promueve el cambio de la semilla tradicional por la semilla mejorada. La semilla mejorada presenta altos niveles de pureza fitosanitaria y varietal, además de ofrecer un alto potencial de rendimiento, (arriba de las 25 t / ha), los riegos de contaminación del suelo (por hongos y bacterias) son prácticamente inexistentes.

## **VARIEDADES DE PAPA**

Las distintas variedades se pueden diferenciar por el color de la epidermis y de la pulpa, la resistencia a enfermedades, el ciclo del cultivo y los requerimientos nutritivos, entre otras características de relevancia productiva. Rasgos irrelevantes para la producción, pero que sirven para identificar cultivares, son el color de las flores, la rugosidad de la epidermis y la profundidad de los ojos (Villafuerte, O. 2008).

En el caso de Guatemala, destacan algunas variedades, entre las cuales se pueden citar: a) Loman, b) Tollocan, c) Icta Xalapán, d) Ictafrit, e) Atzimba, entre otras. En el caso de Loman, se prefiere por ser una variedad conocida en la región y la que más se cultiva para el consumo fresco, además porque puede ser almacenada hasta períodos de seis meses. Produce tubérculos alargados y se cosecha a los 90 días después de sembrada. Se adapta a alturas entre 1700 a 2500 msnm., las plantas alcanzan longitudes de 60 a 70 centímetros y sus rendimientos promedios entre 180 a 385 quintales/manzana. (Jaramillo, A. 1989; Icta, 1980; Océano, MX. 2002)

### **RESISTENCIA AL TIZÓN TARDÍO *Phytophthora infestans* Mont de Bary.**

Las plantas resistentes pueden presentar dos tipos de resistencia al tizón tardío:

#### **Resistencia vertical**

Llamada también resistencia cualitativa. Las plantas de papa con resistencia vertical son resistentes solamente a un número determinado de razas del patógeno. Este tipo de resistencia está dirigida contra razas específicas del patógeno y se debe a la condición hiper sensitiva del protoplasma originada por la presencia de genes mayores. Es un tipo de resistencia temporal (en tanto el patógeno genera nuevas razas). (Monterroso, 2008)

#### **Resistencia horizontal**

Conocida también como resistencia cuantitativa o de campo, está gobernada por genes menores (r) y por otros factores como ciertas características de la planta, por ejemplo, el grosor de la cutícula de la hoja y/o la presencia de sustancias que inhiben el desarrollo del patógeno. Las plantas que tienen este tipo de resistencia se infectan en el campo, pero los daños y el porcentaje del área infectada son mucho menores que en plantas susceptibles.

La resistencia horizontal es estable en el tiempo y en el espacio. Cuando una variedad con resistencia horizontal es expuesta en el campo a condiciones muy favorables para el patógeno y a una alta presión de inóculo, la resistencia se pierde y la variedad se comporta como susceptible, pero la resistencia se mantiene y la variedad vuelve a comportarse como resistente en ambientes menos favorables para *P. infestans* (Mont.) de Bary.

Este tipo de resistencia no favorece la formación y desarrollo de nuevas razas del patógeno sobre una planta susceptible; no hay selección natural para el hongo,

sino que todas las razas existen y compiten, esto limita su desarrollo (Jacobs, 1986).

### **CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA**

Reino: Plantae  
División: Magnoliophyta  
Clase: Magnoliopsida  
Subclase: Asteridae  
Orden: Solanales  
Familia: Solanaceae  
Género: Solanum  
Especie: tuberosum L.  
Nombre científico: Solanumtuberosum L.  
Citado por (Trujillo, L. NBCI 2003)

### **DESCRIPCIÓN BOTÁNICA**

La papa es una planta dicotiledónea, pertenecientes a la familia de las solanáceas, de la cual se conocen especies tanto silvestres como cultivadas.

El número cromosómico básico de la papa es  $X=12$  y se encuentra en la naturaleza con diferentes niveles de ploidía. Las especies silvestres sudamericanas son en su mayoría diploides ( $2n=2x=24$ ) y raramente poliploides (Hawkes; Hijerting, 1969; Wastie, 1991).

América del Sur es el principal centro de diversidad taxonómica de las Solanáceas, donde existen cerca de 50 géneros y más de 400 especies (D'Arcy, 1991). Dentro de estos géneros se encuentra Solanum. La mayoría de las variedades de papa que existen derivan de Solanum tuberosum subespecie andígena aunque las variedades cultivadas más extendidas pertenecen a la subespecie tuberosum.

En Europa se cultiva la subespecie tuberosum, que tuberiza bajo condiciones de días largos, mientras que en las regiones andinas de Sudamérica la subespecie más cultivada es la andígena ya que está más adaptada a formar tubérculos bajo los días cortos propios de las latitudes tropicales (Alonso, 2002).

En Guatemala, las variedades que se cultivan, son Solanum tuberosum L., la cual se caracteriza por ser tetraploide (48 cromosomas).

La papa es una planta herbácea, vivaz, dicotiledónea, provista de un sistema aéreo y otro subterráneo de naturaleza rizomatosa del cual se originan los tubérculos (Villafuerte, O. 2008).

### **Raíz**

Son fibrosas, muy ramificadas, finas y largas. Las raíces tienen un débil poder de penetración y sólo adquieren un buen desarrollo en un suelo mullido (Villafuerte, O. 2008).

### **Tallo**

Son aéreos, gruesos, fuertes y angulosos, siendo al principio erguido y con el tiempo se van extendiendo hacia el suelo. Se originan en la yerma del tubérculo, siendo su altura variable entre 0.5 y 1 metro (Villafuerte, O. 2008). Son huecos o medulosos, excepto en los nudos que son sólidos y por lo general verdes o rojo púrpura (Pumisacho Y Sherwood, 2002).

### **Rizomas**

Son tallos subterráneos de los que surgen las raíces adventicias. Producen unos hinchamientos denominados tubérculos, siendo éstos ovales o redondeados (Villafuerte, O. 2008).

### **Tubérculos**

Son los órganos comestibles de la papa. Están formados por tejido parenquimático, donde se acumulan las reservas de almidón (Villafuerte, O. 2008).

Se forma en el extremo del estolón o rizoma como consecuencia de la proliferación del tejido de reserva que resulta de un rápido desarrollo y división celular. (Sánchez, C., 2003).

### **Hojas**

Las hojas adultas son pinnadas compuestas, aunque las hojas primarias de la planta así como las primeras hojas provenientes del tubérculo pueden ser simples. Las hojas están compuestas por pequeños pelos de diversos tipos los cuales también se encuentran presentes en las demás partes de la planta. (Sánchez, C., 2003).

La nerviación de las hojas es reticulada, con una densidad mayor en los nervios y en los bordes del limbo (Villafuerte, O. 2008).

### **Inflorescencias**

Las flores nacen en racimos y por lo regular son terminales. Cada flor contiene órganos masculino (androceo) y femenino (gineceo). Son pentámeras (poseen cinco pétalos) y sépalos que pueden ser de variados colores, pero comúnmente blanco, amarillo, rojo y púrpura. Muchas variedades dejan caer las flores después de la fecundación. La autopolinización se realiza en forma natural. En los tetraploides la polinización cruzada es relativamente rara. (Pumisacho Y Sherwood, 2002).

### **Fruto**

Es una baya pequeña y carnosa que contiene las semillas sexuales, es de forma redonda u ovalada, de color verde amarillento o castaño rojizo, de 1 a 3 cm de diámetro. Posee dos lóculos con un promedio de 200 a 300 semillas. Cultivos comerciales de papa pueden ser obtenidos a partir de híbridos provenientes de

semilla sexual, pero la semilla sexual se usa generalmente con propósitos de mejoramiento. (Pumisacho Y Sherwood, 2002).

## **REQUERIMIENTOS EDAFOCLIMÁTICOS**

Antes de iniciar la explotación del cultivo, es necesario conocer las condiciones agras climáticas de las diferentes regiones donde se establecerá la producción.

### **Temperatura**

El cultivo de la papa requiere para su crecimiento, una variación de temperatura ambiental, de la siguiente manera: después de la siembra, la temperatura debe subir hasta 20 grados centígrados para que la planta se desarrolle bien. Luego, necesita una temperatura más alta para un buen crecimiento del follaje, aunque no debe pasar los 27 grados centígrados. Durante el desarrollo de los tubérculos, es importante que la temperatura se encuentre entre 16 y 20 grados. Según Parson, en cita de (FAO, 1987)

En Guatemala en los lugares donde se cultiva papa, la altitud está comprendida entre los 1600 y 3600 msnm (ICTA 1993).

### **Luz**

El tubérculo no requiere luz para brotar, sin embargo, cuando la planta ha emergido necesita bastante luz para su desarrollo, un sol fuerte durante mucho tiempo (canícula) reduce la producción.

### **Humedad**

La planta de papa necesita agua continua durante la etapa de crecimiento. Durante la etapa de su desarrollo la planta requiere poca agua, pero después hasta la cosecha el consumo de agua es alto. Así mismo para facilitar la cosecha el campo debe estar seco. Cuando existe deficiencia de agua durante la época de crecimiento de la planta, el rendimiento disminuye y puede deformar los tubérculos. Cuando existe mucha agua y humedad alta, provoca el rápido desarrollo de las enfermedades. Así también cuando se dan fuertes lluvias después de un periodo de sequía, provoca cambios en el crecimiento y el desarrollo del tubérculo, lo que disminuye su calidad.

### **Heladas**

Es un cultivo bastante sensible a las heladas tardías, ya que produce un retraso y disminución de la producción. Si la temperatura es de 0°C la planta se hiela, acaba muriendo aunque puede llegar a rebrotar. Los tubérculos sufren el riesgo de helarse en el momento en que las temperaturas sean inferiores a -2°C. (Villafuerte, O., 2008)

### **Suelo**

Es una planta poco exigente a las condiciones edáficas, sólo le afectan los terrenos compactados y pedregosos. (Villafuerte, O., 2008)

El suelo debe proveer de agua, nutrientes y oxígeno a las raíces. Además, la estructura del suelo debe facilitar las labores de preparación de la tierra, del manejo del cultivo y de la cosecha. (Parsons, D. 1999)

Los terrenos con excesiva humedad, afectan a los tubérculos ya que se hacen demasiado acuosos, poco ricos en fécula, poco sabrosos y conservables. Prefiere los suelos ligeros o semiligeros, silíceo-arcillosos, ricos en humus y con un subsuelo profundo. Soporta el pH ácido entre 5.5 - 6, ésta circunstancia se suele dar más en los terrenos arenosos. (Villafuerte, O., 2008).

### **Necesidad de riego**

Las alternancias de períodos secos y húmedos dan lugar a modificaciones en la velocidad de engrosamiento de los tubérculos, ya que son el origen de ciertos defectos como: grietas, surcos, estrechamientos, etc. Antes de la suberización un ligero déficit hídrico favorece el desarrollo de las raíces. Durante el período de suberización las necesidades hídricas pueden llegar hasta 80 metros cúbicos por hectárea y día (Infoagro.com, 2007).

### **pH**

Soporta pH ácido entre 5.5 - 6, ésta circunstancia se suele dar más en los terrenos arenosos. Es considerada como una planta tolerante a la salinidad (Infoagro.com, 2007).

### **REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES**

En el presente cuadro se muestran las extracciones de nutrientes en kilogramos por hectárea de papa:

Cuadro 2 Requerimientos nutricionales del cultivo de papa en kg/ha

Rendimiento (Ton/ha)	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
25	103	47	211	-	-
40	235	50	392	-	-
35	175	60-70	300	150	28

Fuente: Infoagro.com 2007

### **5.1.2 TIZON TARDIO**

#### **IMPORTANCIA**

El Tizón Tardío de la papa, ocasionado por el hongo *Phytophthora infestans* Mont de Bary, es la enfermedad más importante del cultivo de papa. (Henfling, J. 1987).

*P. infestans* Mont de Bary afecta la papa, el tomate y algunas otras plantas solanáceas, infectando la planta en los diferentes órganos, raíces, tubérculos, tallos, hojas, flores y fruto, siendo las hojas y el tallo los que presentan las

mayores lesiones necróticas. La fase de infección foliar provoca la disminución en la capacidad fotosintética debido a la destrucción de los tejidos, resultando una reducción del rendimiento en la producción del tubérculo. (Trujillo, L. NCBI. 2003).

En varias oportunidades, la enfermedad ha alcanzado proporciones desastrosas. Bien documentada es la hambruna de Irlanda de más o menos 1845 a 1850 cuando, como consecuencia de una distribución amplia de la enfermedad (epifitía), murieron un millón de personas de un total de ocho millones de habitantes, y otro millón y medio emigro del país.

La población de Irlanda dependía completamente de la papa que constituía virtualmente su única fuente de alimento. La biología de la enfermedad y los métodos de su control eran totalmente desconocidos. En otras partes de Europa y en América del Norte, la enfermedad fue tan severa como en Irlanda, pero en esas áreas se evitó la hambruna gracias a la existencia de una mayor variedad en los alimentos. (Henfling, O. 1987).

## **ORIGEN**

Se cree que el Tizón Tardío evolucionó en el centro de México y se difundió por todas las áreas paperas de América del Norte y Sur, Europa, Asia y África. A partir de los años 1950`s, se estableció en el Valle de Toluca (México) como centro de origen de *Phytophthora infestans* Mont. de Bary en *Solanum tuberosum* L, dado que allí se reportó inicialmente la presencia de dos tipos de apareamiento A1 y A2, lo cual permite la propagación sexual y conduce a una mayor diversidad genética de *P. infestans* Mont. de Bary (Jaramillo, S. 2003).

## **TAXONOMÍA**

Reino: Cromista (grupo Stramenophyle)  
Phylum: Oomycota  
Clase: Oomycete  
Subclase: Peronosporomycetidae  
Orden: Pythiales  
Familia: Pythiaceae  
Género: *Phytophthora*  
Especie: *infestans* - (Mont.) de Bary 1876  
Nombre científico: *Phytophthora Infestans* Mont. de Bary 1876  
Citado por: (Jaramillo, S. 2003).

## **BIOLOGÍA**

La mayoría de los aspectos de la biología de *P. infestans* (Mont.) de Bary sólo pueden ser vistos por medio de un microscopio. De esta manera pueden observarse fácilmente los hilos fungosos (micelio). Estos se caracterizan por la ausencia de tabiques transversales (septas). El micelio se desarrolla entre las

células (intercelularmente) y sólo sus extensiones (haustorios) entran a las células. (Henfling, J. 1987).

Las estructuras somáticas (talos) de *Phytophthora* son llamadas micelio y están compuestos de filamentos, "hialinos" (hifas) ramificados y cenocíticos. El diámetro del micelio (5-8 micras) es variable y depende de la naturaleza física y química del medio, el micelio esta sobre la superficie aérea, sumergido o dentro de las células huéspedes. En ocasiones el micelio se esponja, se vuelve nudoso o tuberculado y rara veces crece simétricamente. (Erwin y Ribeiro, 1996).

Los esporangios son esporas asexuales que se producen sobre pedúnculos llamados esporangióforos, los cuales difieren ligeramente de las hifas vegetativas, su desarrollo es indeterminado y se ramifican simpodialmente, lo cual es propio de *P. infestans* Mont. de Bary (Sansome, 1976 citado por Abad, 1983).

La diferencia de tamaño puede estar afectada por la luz, los esteroides y los medios nutritivos. Los esporangios miden entre 29x19 a 59x31 micras (Waterhouse, 1963 citado por Erwin y Ribeiro, 1996).

El aparato flagelar típico de las zoosporas posee dos flagelos uno de forma de látigo y el otro en forma de pluma. La zoospora está conformada por varias partes: el kinetosoma (cuerpo basal de la zoospora), la zona de transición que une el flagelo con el Kinetosoma, y el sistema del microtúbulo, que permite anclar el flagelo a la zoospora.

Los anclajes (como raicillas) de los flagelos de *P. infestans* (Mont.) de Bary, son significativamente diferentes, pues sólo tienen cinco "raicillas", una de las raicillas de la zoospora de *P. infestans* Mont. de Bary contiene seis microtúbulos. (Erwin y Ribeiro, 1996).

## **SEXUALIDAD**

La reproducción ocurre tanto de manera asexual (vegetativa) como sexual (generativa). (Henfling, J. 1987).

Reproducción asexual: De 3 a 10 días después de la infección los órganos portadores de esporangios emergen a través de los estomas en la superficie de las hojas. Los esporangios se desarrollan en el extremo de los esporangióforos. Cuando están maduros los zoosporangios se desprenden fácilmente y son diseminados por el viento, estos pueden germinar directa o indirectamente. Germinan directamente a temperaturas por encima de los 15°C comportándose como una simple spora que emite un tubo germinativo que puede entrar en el tejido de la planta. Los zoosporangios germinan a temperaturas de 12 a 15°C, cada esporangio suelta 3 a 8 esporas móviles las que bajo ciertas condiciones pierden los flagelos, forman una pared celular y a continuación un tubo germinativo el cual puede penetrar directamente en la epidermis de las hojas y los tallos; en el caso de los tubérculos el hongo ingresa a través de las lenticelas o de lesiones. Las zoosporas mueren si no encuentran un tejido hospedante apropiado (Agrios, G. 2004).

Reproducción sexual: Cuando el micelio de diferentes tipos de apareamiento A1 y A2 crecen juntos, uno de ellos puede formar gametos masculinos (anteridio) y el

otra forma gametos femeninos (oogonios). El anteridio crece a través del oogonio permitiendo la fertilización. El oogonio fertilizado se convierte en una “espora de descanso” de paredes gruesas (oosporas). Las oosporas a diferencia de los zoosporangios y las zoosporas, pueden resistir condiciones desfavorables, tales como sequía y bajas temperaturas. Las oosporas del *P. Infestans* (Mont.) de Bary germinan mediante la formación de un esporangio. Después de producirse la infección en un hospedero, las zoosporas resultantes pueden iniciar un nuevo ciclo de vida. (Henfling, J. 1987).

## **SINTOMATOLOGÍA**

El Tizón Tardío afecta a las hojas, tallos y tubérculos de la planta de papa (Thurston and Schultz (1981). Los síntomas que muestran las plantas enfermas en sus distintos órganos son los siguientes:

### **En hojas**

La enfermedad se inicia mostrando pequeñas manchas irregulares de color verde pálido a verde oscuro. En condiciones ambientales óptimas de temperatura (12 a 15°C) y humedad relativa (100%), estas pequeñas manchas irregulares que se desarrollan generalmente en los bordes y en el ápice de los folíolos crecen rápidamente, dando lugar a lesiones necróticas grandes de color marrón a negro, rodeadas de un halo amarillento.

En el envés de las hojas, coincidente con las manchas que se observan en el haz, se desarrolla un mildiú blanquecino, constituido por esporangióforos y esporangios.

Si la presión de inóculo es alta en una determinada zona, se pueden presentar varias manchas en un mismo foliolo debido a diferentes puntos de infección, los cuales al desarrollarse se unen y abarcan toda la superficie de la hoja, hasta ocasionarle la muerte. Posteriormente, el follaje muere entre los 10 y 15 días; cuando esto ocurre, las pérdidas pueden ser totales. En cambio, cuando la presión de inóculo es baja, las manchas son escasas y grandes.

### **En tallos**

Los síntomas se presentan como lesiones oscuras continuas, ubicadas generalmente en el tercio medio o superior de la planta y alcanzan en algunos casos, más de 10 cm de longitud. Estas lesiones son frágiles y de consistencia vidriosa, se quiebran fácilmente con la fuerza del viento o por contacto con la maquinaria (tractor) o las personas que transitan por el campo durante las labores culturales.

### **En tubérculos**

En la parte externa de los tubérculos infectados se observan depresiones muy superficiales e irregulares, de tamaño variable y de consistencia dura. Al hacer un ligero raspado (con un cuchillo o con la uña), debajo de la piel afectada el tejido es de color marrón. Cortando transversalmente un tubérculo afectado, se observa en la superficie de corte una necrosis de forma irregular, de color marrón, de apariencia granular que avanza de la periferia hacia el centro de la médula.

En los tubérculos afectados que aparentemente se muestran sanos al momento del almacenamiento, la enfermedad desarrolla lentamente y el patógeno esporula, sin embargo, los tubérculos infectados pueden destruirse completamente, debido a que las lesiones son puerta de entrada de bacterias patógenas como *Erwinia* spp. y hongos como *Fusarium* spp. que se encuentran en la superficie de los tubérculos y causan pudrición.

## **EPIDEMIOLOGÍA**

La infección de las plantas de papa en el campo se realiza por medio de los esporangios que se producen en las diferentes fuentes de infección. Estos esporangios se encuentran en el medio ambiente y son transportados por la neblina, las nubes y el viento a distancias considerables. Cuando los esporangios llegan a un campo de cultivo de papa, se posan y establecen en las hojas y/o en el lugar de inserción de la hoja con el tallo.

Generalmente, la infección en las hojas se produce en el ápice y en los bordes de los folíolos, donde casi siempre existe una película de agua. Dependiendo de la presión de inóculo existente en una zona, los puntos de infección en un folíolo pueden variar entre uno y 20. Por otro lado, aunque la infección en el campo normalmente ocurre bajo condiciones de temperatura fría y humedad relativa alta, no siempre sigue esta regla sin que se produzca en un rango amplio de condiciones ambientales.

La producción de los esporangios es más rápida a 100% de humedad relativa y a 21°C de temperatura. La penetración del patógeno ocurre entre 10 a 29°C y el desarrollo de la enfermedad es más rápido a 21°C. Después de una mañana lluviosa y la presencia del sol en la tarde se crea un ambiente propicio para el desarrollo del tizón. La explicación es simple, la mañana lluviosa y fría es una condición favorable para que los esporangios produzcan y liberen zoosporas y la tarde con sol favorece una mayor producción y diseminación de esporangios del patógeno.

Cuando existen las condiciones ambientales óptimas de temperatura (12 a 15°C) y humedad relativa (95 a 100%), se producen hasta 20 zoosporas (estructuras propagativas) en el interior de los esporangios. Las zoosporas tienen 2 flagelos con los cuales se movilizan nadando en la película de agua existente en la superficie de las hojas o de los tallos.

Después de un tiempo, pierden los flagelos, se enquistan, producen un tubo germinativo, forman apresorios y finalmente, los tubos germinativos ingresan a la hoja a través del estoma o directamente por la cutícula. Una vez que el patógeno se encuentra en el interior de los tejidos forma los haustorios que ingresan dentro de las células para extraer los nutrientes que se encuentran en el protoplasma. Como consecuencia, las células mueren, los tejidos se necrosan y las hojas infectadas muestran manchas negras o marrones.

El desarrollo del patógeno continúa dentro de los tejidos a lo largo de los espacios intercelulares y también dentro de las células. En inoculaciones artificiales realizadas en hojas bajo condiciones de laboratorio, al cuarto día después de la inoculación se observan una decoloración verde clara en el haz de las hojas; al

quinto día las manchas se oscurecen. Al mismo tiempo, los esporangióforos y esporangios empiezan a emerger a través de los estomas a manera de pelusillas en el envés de las hojas.

Si la humedad relativa del medio ambiente se mantiene alta, pero, la temperatura fluctúa entre 20 y 24°C (óptima 24°C), los esporangios emiten un tubo germinativo que ingresa a los tejidos en forma similar al tubo germinativo producido por las zoosporas. Cuando este tipo de infección ocurre, el desarrollo de la enfermedad es más limitado que cuando la infección se realiza por medio de zoosporas, porque la infección producida por un esporangio da lugar solamente a un punto de infección, mientras que cuando un esporangio produce hasta 20 zoosporas, se producen muchos puntos de infección (cada zoospora al germinar es un punto de infección) y lógicamente, cuando esto sucede, el desarrollo de la enfermedad es más violento.

La infección de los tubérculos se realiza por medio de los esporangios que se encuentran en el envés de las hojas enfermas. Estos esporangios son desprendidos o lavados por las gotas de lluvia y son transportados de las hojas hacia el suelo, donde infectan a los tubérculos que se encuentran cerca de la superficie, especialmente aquellos de las plantas que no han sido adecuadamente aporcadas. Otros factores como la humedad del suelo, la cantidad de esporangios viables que caen, la temperatura del suelo y probablemente la condición supresiva de los suelos y la susceptibilidad de la variedad, favorecen la infección de tubérculos en el campo.

Finalmente, la infección de los tubérculos también ocurre, cuando se realiza la cosecha en días lluviosos. Los esporangios que se encuentran en el medio ambiente (con lluvia o con neblina) infectan los tubérculos cosechados mientras se encuentran amontonados en el campo, observándose posteriormente el desarrollo de la enfermedad en los tubérculos almacenados.

### **CICLO DE LA ENFERMEDAD**

El patógeno sobrevive de una campaña a otra, por medio del micelio presente en los tubérculos infectados que han sido eliminados y/o abandonados en el campo o que no fueron cosechados por el agricultor porque el campo fue destruido por la enfermedad.

El micelio presente en los tubérculos infectados bajo condiciones ambientales favorables, produce esporangios, los cuales se diseminan por el aire o con la neblina a otros campos de papa en desarrollo.

Cuando se almacenan tubérculos infectados (aparentemente sanos) junto con tubérculos cosechados en días lluviosos, el patógeno inicia su desarrollo y produce esporangios que pueden infectar los tejidos suculentos de los tubérculos sanos. Los esporangios que se incrementan bajo estas condiciones son llevados por el aire y diseminados hacia los campos de papa en desarrollo.

Si el agricultor siembra tubérculos infectados (aparentemente sanos), el micelio del patógeno que se encuentra en el interior de los tubérculos, paralelamente al crecimiento de las plantas, invade el interior de los tallos. En este caso, aun

cuando las condiciones ambientales no sean favorables para el desarrollo del patógeno, los síntomas se observan en algunas plantas dentro de un campo de cultivo y se presentan solamente en uno o algunos tallos de una planta.

El patógeno se incrementa en las plantas infectadas, luego invade plantas del mismo campo y posteriormente, constituyen un foco de infección para otros campos de cultivo.

Finalmente, se asume que las oosporas (estructuras sexuales del patógeno), las cuales se encuentran en los residuos vegetales y/o en el suelo y tienen una viabilidad de 2 años (Niederhauser, 1991), constituyen otra fuente de infección. En este caso, el agricultor que siembra papa en suelos infestados podría correr el riesgo de que las plantas de su cultivo se infecten en el primer estado de desarrollo, con consecuencias económicas desastrosas.

### **AGENTE CAUSAL**

El Tizón Tardío es causado por el patógeno *Phytophthora infestans* Mont. de Bary. El nombre de *Phytophthora* deriva de dos voces griegas: Phyto = planta y phthora = destructor, por lo tanto *Phytophthora*, significa destructor de plantas. Inicialmente y hasta hace poco, el patógeno fue considerado como un hongo, pero en la actualidad, se ha propuesto que *P. infestans*, sea considerado dentro del Reino de los Chromista. Los patógenos que se encuentran dentro de esta clasificación se caracterizan porque la pared celular tiene celulosa, son diploides, el micelio no tiene septas y son bisexuales; en cambio los hongos tienen quitina en la pared celular, son haploides y el micelio tiene septas. Además, el patógeno, se caracteriza por tener esporangióforos decrecimiento ilimitado, esporangios papilados en forma de limón, zoosporas biflageladas (producidas en condiciones ambientales de temperatura 12 a 15°C y humedad relativa 95 a 100%) y oosporas anfígenas (el anteridio se encuentra debajo del oogonio).

### **CENTRO DE ORIGEN**

Dos son las teorías propuestas para explicar el centro de origen de *P. infestans* Mont. de Bary.

#### **México, centro de origen de *P. infestans* Mont. de Bary**

(Reddick, 1928) encontró plantas de la especie silvestre de papa *Solanum antivoczii* afectadas con racha en una localidad situada a 59 Km de la ciudad de México. Basándose en el hecho de que la enfermedad se encontraba en forma natural en especies silvestres, Reddick en 1932, reportó que la enfermedad se encuentra en esa área desde tiempos muy remotos y por lo tanto, en 1939, postuló que el centro de origen era México. Además, apoyado por otros científicos de esa época, asumió que la enfermedad fue introducida a EUA en la década de 1840, a través de tubérculos enfermos de papa de especies silvestres. Esta tesis es apoyada también porque en México se encontró por primera vez la fase sexual y porque los grupos de apareamiento A1 y A2 se encuentran en una proporción de 1 a 1.

**Los Andes del Perú.-** (Abad et al. 1995), argumentaron que el Tizón Tardío estuvo presente en los países de la región andina, mucho antes de 1845. Ellos

refieren que la enfermedad fue descrita en Perú, Bolivia y Colombia, en manuscritos o informes publicados en años anteriores a 1845, como el del padre jesuita Acosta en 1590. Otras evidencias científicas, como la resistencia encontrada en variedades nativas y en especies silvestres de papa, resistencia en especies silvestres de tomate; amplio rango de hospedantes entre los cuales se encuentran muchas especies silvestres de papa infectadas naturalmente en su hábitat, así como también tomate (*L. esculentum*) y pepino (*S. muricatum*); la presencia de la raza 1,4,10,11, una forma especial del patógeno en pepino; patotipos encontrados en tomates y pepino, 6 DNA mitocondriales diferentes (de A - F) y una diversidad simple de marcadores moleculares similares a los encontrados en las poblaciones de EUA y Europa, son evidencias más que suficientes, para afirmar que el centro de origen del *P. infestans* (Mont.) de Baryson los Andes del Perú.

### **VARIABILIDAD DE *P. infestans* Mont. De Bary**

La presencia de 13 razas de *P. infestans* (Mont.) de Bary, hasta ahora identificadas, la diseminación (alrededor del mundo) de los aislamientos del grupo A2 iniciada a partir de 1980, la unión de los dos grupos de apareamiento A1 y A2 para formar estructuras sexuales, han dado lugar a la aparición de aislamientos más agresivos tanto del grupo A1 como del A2.

Además, los estudios llevados a cabo por (Andrison, 1995), sugieren que la mutación y la migración del patógeno son los factores que más influyen en la evolución de las razas; así, las razas encontradas en Francia y Holanda en la década de 1980 y comienzos de 1990 fueron muy similares a las encontradas en las Islas Británicas, en los últimos años de la década de 1960 y comienzos de 1970.

La variabilidad se encuentra inclusive entre aislamientos que genotípicamente muestran pequeñas diferencias, como por ejemplo la presencia de una banda de restricción diferente de ADN (ácido desoxirribonucleico), a estos aislamientos diferentes se les conoce como variantes. En EUA están presentes las variantes identificadas como US-7, la cual es más patogénica en tomate que en papa, mientras que US-8 afecta a papa y no a tomate.

Toda esta variabilidad ha influido para que los científicos del mundo intensifiquen los estudios relacionados con el conocimiento del patógeno, cuyos resultados y técnicas desarrolladas permitirán la búsqueda de variedades resistentes y por otra parte, ayudarán para plantear una estrategia de control integrado más eficiente.

### **GRUPOS DE APAREAMIENTO**

La formación de oosporas (estructuras sexuales de *P. infestans* Mont. de Bary) se produce por unión de los grupos de apareamiento conocidos como A1 y A2. *P. infestans* Mont. de Bary es un patógeno heterotálico, es decir, que para la formación de la estructura sexual (oospora), tienen que estar presentes necesariamente dos aislamientos, uno perteneciente al A1 y el otro al A2 y para fecundarse, uno de ellos actúa como gameto femenino y el otro como gameto masculino.

**Diseminación de los grupos de apareamiento.-** El grupo de apareamiento A1 está presente en todas las zonas paperas del mundo, fue introducido por medio de tubérculos enviados a Europa y EUA, desde México (Teoría de Reddick) o de Sud América (Teoría de Abad et al.). La presencia del A2, fue descubierta por primera vez en México en 1954 y su diseminación hacia el resto del mundo, ocurrió aparentemente por una exportación de papa (25 mil toneladas) que se realizó de México a Europa en 1976, debido a una fuerte sequía que se produjo en Europa (French, et al.,1994; Niederhauser, 1991). Posteriormente, el A2 fue reportado en Alemania oriental en 1980 y en Suiza, Gran Bretaña y Holanda en 1981. En la actualidad se encuentra distribuido en todo el mundo con excepción de algunos países como Perú, Chile, Australia, Filipinas y Taiwán. La presencia del A2 en Bolivia y Ecuador fue reportada afectando variedades nativas y especies silvestres de papa, respectivamente.

**Significado de la presencia del grupo de apareamiento A2.-** La importancia que tiene el grupo A2 es que al unirse con el A1 forma las oosporas (estructuras sexuales), las cuales dan lugar a nuevas combinaciones genéticas que pueden ser más agresivas. Las oosporas pueden cambiar la epidemiología de la enfermedad, debido a que la nueva fuente de inóculo puede mantenerse en el suelo de un año a otro (en los residuos de cosecha) e infectar las hojas inferiores de la planta de papa (Drenth *et al.*, 1993). Por otra parte, los aislamientos correspondientes al A2 son resistentes al fungicida ridomil (metalaxil), pero se desconoce o no se pueden cuantificar los daños que ocasionaría la agresividad de algunos aislamientos de A2, en el supuesto caso que infecten a especies silvestres de papa y de tomate.

## **CONTROL**

La forma más adecuada para enfrentar el Tizón Tardío de la papa, es mediante la utilización de todas las técnicas que conducen al manejo integrado de la enfermedad, como las medidas de prevención mediante el cumplimiento de las normas de sanidad para el transporte de material vegetal, erradicación, las cuarentenas cuando se requiere, variedades resistentes, semillas sanas. (Jaramillo, S. 2003).

Las prácticas culturales bien ejecutadas y oportunas como la calidad sanitaria de la semilla, la siembra, fertilización, control de malezas y aporques, recolección de residuos de cosechas, riegos y drenaje si se requieren, cosecha oportuna y finalmente acudir a un control químico del patógeno, para lo cual es conveniente hacer un diagnóstico temprano del patógeno en los tejidos. Por la importancia de la resistencia genética. (Jaramillo, S. 2003).

En el largo plazo, es más exitosa la integración de todos los factores, con variedades más resistentes y nuevos fungicidas, acoplados con un mayor entendimiento del impacto de la epidemiología y la variedad genética de las poblaciones, por efectos del tiempo de apareamiento A2, sobre el control de la enfermedad. (Egan, 1995), dado que la recombinación sexual, permite que el patógeno se adapte más fácilmente a las condiciones adversas y las oosporas pueden sobrevivir en el suelo, de manera independiente a sus plantas huéspedes y actuar como una fuente extra de inóculo (Govers, 2001).

### 5.1.3 CONTROL QUÍMICO

#### HISTORIA

El primer compuesto en usarse como fungicida fue el sulfato de cobre en el siglo XVII para controlar el mildiu de la vid en Europa. Luego el caldo bordelés se generalizó como fungicida a partir de 1882. Aunque esta mezcla sea eficaz, por la dificultad de su preparación y por las dosis altas de aplicación fue desplazado en 1930 cuando se desarrollaron los ditiocarbamatos, que hoy en día siguen siendo importantes fungicidas preventivos. (Pumisacho Y Sherwood, 2002).

La era de los fungicidas sistémicos se inició en 1966 con el desarrollo de las oxantinas, que son eficientes principalmente para el control de los carbones y de las royas. En 1984 se introdujeron las fenilamidas, que son específicas para ficomicetes. En 1988 aparecieron los benzimidazoles, fungicidas eficientes contra hongos de los grupos deuteromicetes, ascomicetes y basidiomicetes. En 1988 se desarrollaron también los inhibidores de ergosterol, que controlan los mismos grupos de hongos que los benzimidazoles. A fines de los ochenta se sintetizan las estrobilurinas que se derivan de compuestos naturales producidos por hongos del orden agaricales, los cuales son fungicidas que controlan la mayoría de los grupos de hongos. Al momento, hay mucho interés en la síntesis de fungicidas orgánicos derivados de plantas. (Pumisacho Y Sherwood, 2002).

#### CLASES DE FUNGICIDAS

##### **Fungicidas de contacto o protectantes (preventivos)**

La mayoría de los fungicidas modernos, que se encuentran dentro de esta categoría, han sido diseñados para prevenir la infección por parte del patógeno; entonces, los fungicidas protectantes de superficie actúan solamente contra estructuras fungosas que se hallan sobre la superficie foliar de la planta hospedera, especialmente antes y durante la germinación de las esporas (COOK, L. 1998). Cuando el patógeno ha penetrado la pared epidermal queda fuera del alcance de estas moléculas. En otras palabras, los fungicidas de contacto pueden prevenir una infección pero no pueden erradicar una ya existente (Cremllyn, R. 1990) y (Schwinn, F. 1991).

Una limitación de los productos protectantes es que para ser completamente efectivos se requiere una cobertura total del follaje para evitar puntos de entrada del patógeno, lo que en la práctica es imposible de alcanzar aun con el mejor equipo de aplicación (Cremllyn, R. 1990) y (Schwinn, F. 1991).

**a. Compuestos de cobre:** Estos fungicidas inactivan las proteínas (enzimas) (Pumisacho Y Sherwood, 2002).

**b. Compuestos de azufre:** Se caracterizan por inhibir la síntesis del ATP (transporte de electrones). Son de amplio espectro, pero se les utiliza mayormente para el control de los mildius. Son fitotóxicos a altas temperaturas. (Pumisacho Y Sherwood, 2002).

**c. Compuestos estañados:** Este compuesto exhibe un importante efecto anti esporulante. El modo de acción bioquímico no ha sido bien aclarado; sin embargo,

Stockdale citado por Egan manifiesta que se cree que estos productos inhiben la fosforilación oxidativa en las esporas y el micelio (Schwinn, F. 1991).

**d. Ditiocarbamatos:** Se caracterizan por inhibir diferentes enzimas y por lo tanto simultáneamente tienen efecto en funciones celulares (Pumisacho Y Sherwood, 2002).

**e. Compuestos aromáticos o Phthalonitrilos:** El modo de acción de estos fungicidas no es muy claro (Pumisacho Y Sherwood, 2002).

**f. Compuestos heterocíclicos o Phthalamidas:** Inhiben la respiración y generalmente se usan para la desinfección del suelo (Pumisacho Y Sherwood, 2002).

**g. Dicarboximidas:** El mecanismo de acción no es muy claro. Tienen acción selectiva para las familias del hongo Moniliaceae y Sclerotiniaceae (Pumisacho Y Sherwood, 2002).

### **Fungicidas sistémicos (curativos)**

Es importante anotar que técnicamente no existen fungicidas "curativos" para muchas enfermedades, en particular para el Tizón Tardío. En estos casos los fungicidas operan en forma sistémica, es decir solo detienen el avance de infección. Pueden eliminar el patógeno, pero el tejido infectado muere. (Pumisacho Y Sherwood, 2002).

Un fungicida sistémico es aquel compuesto que al ser absorbido y transferido al interior de la planta la protege del ataque de hongos patógenos, limita o erradica una infección existente, razón por la cual son llamados quimioterapéuticos vegetales (Cremllyn, R. 1990)

**a. Oxantinas:** Son los primeros fungicidas sistémicos que se desarrollaron. Inhiben la enzima ácido succinico deshidrogenasa. Tienen transporte apoplástico, y son eficientes para el control de basidiomicetes. (Pumisacho Y Sherwood, 2002).

**b. Phenylamidas:** Inhiben la enzima RNA polimerasa y son específicos y eficaces para el control de ficomicetes (Phytophthora, Pythium y los hongos que producen mildius). Estos fungicidas tienen transporte apoplástico (Pumisacho Y Sherwood, 2002).

**c. Benzimidazoles:** Inhiben la síntesis del túbulin en la mitosis. Son fungicidas de amplio espectro, y actúan sobre ascomicetes y deuteromicetes. Los ficomicetes (Phytophthora y Pythium) son insensitivos (Pumisacho Y Sherwood, 2002).

**d. Inhibidores de la biosíntesis de ergosterol:** Inhiben la biosíntesis del ergosterol. Tienen acción preventiva y curativa. Son de amplio espectro como grupo y actúan sobre los ascomicetes, basidiomicetes y deutoromicetes, pero individualmente pueden ser específicos. Por su especificidad, dosis de aplicación baja, niveles bajos de toxicidad para mamíferos y su acción terapéutica, estos fungicidas son ideales para ser usados en programas de manejo integrado de enfermedades (Pumisacho Y Sherwood, 2002).

**e. Estrobirulinas:** Son de origen natural que se derivan de compuestos producidos por hongos del orden agaricales. Estos inhiben la formación de ATP en la respiración. Son productos que tienen niveles de toxicidad bajos para los mamíferos, son aplicados en dosis bajas y tienen acción terapéutica, por lo que son adecuados para ser usados en programas de manejo integrado de enfermedades. (Pumisacho Y Sherwood, 2002).

**f. El fosetil aluminio o fosfitos:** Es de acción indirecta que estimula la síntesis de fenol y de las fitoalexinas (productos naturales que inhiben a los hongos) en la planta, aunque también se ha observado cierta acción fungistática. Es un fungicida específico para ficomicetes (*Phytophthora* y *Pythium*) y es el único hasta el momento que tiene movimiento apoplástico y simplástico. (Pumisacho Y Sherwood, 2002).

**g. Acetamidas:** Tienen un espectro de acción muy selectivo, es eficaz para el control del Tizón Tardío (Schwinn, F. 1991). Se caracteriza por tener un sistema local o translocación translaminar. El modo de acción no ha sido bien aclarado, aunque estudios sobre *Botrytis cinerea* mostraron una acción sobre la síntesis del ácido ribonucleico (ARN). (Egan, A. 1995) y (Schwinn, F. 1991)

**h. Carbamatos:** Presenta un movimiento translaminar en las hojas, dentro del follaje, tiene poca actividad contra la germinación de los esporangios y limitada actividad curativa. El modo de acción es desconocido pero se presume que es un fungistático que interfiere en las funciones de la membrana celular (Egan, A. 1995).

**i. Derivados del ácido cinnámico:** Presenta una traslación translaminar y sistemicidad local. Además reportan que tiene una excelente actividad antiesporulante y es efectivo previniendo la producción de esporangios y oosporas. (Egan, A. 1995) y (Schwinn, F. 1991).

En cuanto a su modo de acción; algunos estudios han demostrado que no afecta la síntesis de ADN, ARN, proteínas y lípidos, tampoco inhibe la producción de energía, sin embargo, interrumpe la formación de la pared celular y promueve la lisis de la misma provocando la muerte de la célula. (Egan, A. 1995).

## **RESISTENCIA A FUNGICIDAS**

Cepas resistentes a fungicidas se desarrollan espontáneamente en baja frecuencia en la naturaleza. La utilización de un fungicida específico actúa como medio de selección y cuando se abusa de la utilización de este fungicida la cepa resistente se vuelve predominante. La resistencia a fungicidas se presenta básicamente para los fungicidas que tienen mecanismos de acción muy específicos como el caso de las benzimidazoles y fenilamidas. Para evitar el establecimiento de cepas resistentes se debe monitorear el desarrollo de la resistencia, alternar el uso de fungicidas de diferente modo de acción, evitar el uso de fungicidas en forma curativa y manejar las enfermedades bajo el concepto del manejo integrado. (Pumisacho Y Sherwood, 2002).

## **LA PRODUCTIVIDAD**

El crecimiento de la planta, la producción de los tubérculos y la calidad de la cosecha, está en función del suelo, clima, variedad y manejo del cultivo donde mantener a la planta libre de enfermedades (“Tizón Tardío”) garantiza un 75% de la producción.

El “Tizón Tardío” afecta a las hojas, tallos, tubérculos de las plantas de papa; La lesión puede matar el foliolo y extenderse a través de los pecíolos hacia el tallo. Los síntomas en los tallos se presentan como lesiones oscuras continuas, ubicadas generalmente en el tercio medio o superior de la planta y en algunos casos, más de 10 cm de longitud. (Thurson y Schultz, 1981)

#### **5.1.4 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS**

(Benalcázar, D. 2007), menciona que en el ensayo de control químico de “Tizón Tardío”, realizado en 2007, se observó que la estrategia constituida por los fungicidas Dimetomorph + Metalaxyl + Cymoxanil + Metalaxyl + Fosetyl Al, es la que mejor que había controlado la enfermedad que es provocada por *Phytophthora infestans* Mont. de Bary, relacionando el control de la enfermedad, el rendimiento y el beneficio costo, se determina que la mejor estrategia es la que está conformada por productos sistémicos. Con respecto a las posibilidades de que, el hongo cree resistencia a productos sistémicos puede ser mínima o ninguna ya que se ha utilizado fungicidas con diferentes ingredientes activos, familias y por lo tanto diferente mecanismo de acción.

(Quinatoa, E. 2010), establece que en la investigación que realizó en el control químico en condiciones moderadas, el fosfito de cobre fue eficiente para el control de “Tizón Tardío” *Phytophthora infestans* Mont. de Bary, en el cultivo de papa en dosis alta y media más Mancozeb. La eficiencia de la dosis de fosfito de cobre está relacionada a la resistencia o susceptibilidad del genotipo cultivado.

(Faber y Downer, 2007), evaluaron productos que se venden como fungicidas o fertilizantes foliares para medir su eficacia contra (*Phytophthora infestans*) en la variedad “Topa Topa”. En los resultados no hubo diferencias entre la eficacia de los materiales ni siquiera con los tratamientos que recibieron dos aplicaciones. Sin embargo, las plantas tratadas con fosfato mostraron un peso de raíces significativamente mayor que en las que no fueron tratadas pero sí inoculadas y un peso menor que las que no fueron tratadas ni inoculadas.

(Kodera, Y. 1990), afirma que las fitoalexinas son metabolitos secundarios sintetizados a partir de un re direccionamiento de precursores del metabolismo primario, son compuestos antimicrobianos que se acumulan en algunas plantas en altas concentraciones, después de infecciones bacterianas o fúngicas y ayudan a limitar la dispersión del patógeno. Se sintetizan muy rápido, en pocas horas después del ataque microbiano. Su formación está restringida a una zona local alrededor del sitio de infección son tóxicas a un espectro amplio de hongos y bacterias patógenas en plantas.

Navia, O. et, al. El Tizón Tardío es una de las enfermedades más importantes de la papa en el mundo. Para la integración de resistencia sistémica inducida por *Bacillus subtilis* con estrategias de manejo integrado del Tizón se establecieron dos ensayos en la zona de Colomi (3200 msnm) del Departamento de

Cochabamba, con los cultivares Waych'a (susceptible) y Robusta (resistente). El diseño fue el de bloques completos al azar con seis tratamientos. En ambos ensayos los tratamientos fueron: T1= Bacillus subtilis + estrategia (Acrobat-polyram), T2 = estrategia (Acrobat-polyram), T3= bacillus subtilis + estrategia (Cabrio top-polyram), T4 = estrategia (Cabrio top-polyram), T5 = estrategia (Ridomil-dithane), T6 = Testigo.

La bacteria se aplicó a la siembra por aspersión a surco abierto, sobre el estiércol. En ambos ensayos, las estrategias de control del Tizón mostraron un control eficiente de la enfermedad. El control más eficiente se obtuvo con los tratamientos T1 y T3 (Bacillus subtilis + estrategia), mostrando significativamente una mayor emergencia, desarrollo más uniforme, plantas más altas, más sanas, mayor vigor, y mayores rendimientos y beneficios económicos. El uso de la bacteria con las estrategias con fungicidas permite controlar la enfermedad, incrementar los rendimientos y reducir el número de aplicaciones y el costo de producción, entre otros beneficios, haciendo posible una producción más sustentable de la papa.

## **5.2 MARCO REFERENCIAL**

### **UBICACIÓN DEL ENSAYO**

#### **5.2.1 LOCALIZACIÓN**

La investigación se llevó a cabo en Aldea San Andrés Chápil, ubicada en la región occidente del país, Municipio de San Pedro Sacatepéquez, Departamento de San Marcos.

Latitud: 14<sup>0</sup> 99' 25''

Longitud: 91<sup>0</sup> 78' 04''

#### **5.2.2 COLINDANCIAS**

El ensayo experimental limitó de la siguiente manera:

Al norte colinda con el municipio de San Lorenzo.

Al sur colinda con San Pedro Sacatepéquez.

Al este colinda con Aldea La Grandeza.

Al oeste colinda con Aldea Piedra Grande.

#### **5.2.3 TOPOGRAFÍA**

Las pendientes del terreno van del 5% al 45%.

#### **5.2.4 SITUACIÓN ECOLÓGICA:**

##### **Climatología**

Las características climáticas de acuerdo a Thornthwaite son del tipo húmedo y semi-frío (BB'3), con 64 a79 días de calor. (INSIVUMEH, 2014)

##### **Altitud**

El ensayo experimental se ubicó a una altura aproximada de 2468 msnm, tomando como punto de referencia el centro de la estación meteorológica INSIVUMEH.

### **Temperatura**

La temperatura de la región varía dependiendo de la época del año, teniendo una máxima de 22.3 °C y una mínima de 5.0 °C, obteniendo una media anual de 12.0°C (INSIVUMEH, 2014)

### **Precipitación pluvial**

La precipitación anual promedio registrada en la región en el año 2014 fue de 1587.5 mm al año. Distribuidos generalmente en los meses de abril a octubre, con un promedio anual de 155 días de lluvia. (INSIVUMEH, 2014)

### **Vientos**

Los vientos van de moderados a fuertes. Generalmente se presentan en dirección norte a este, con una velocidad promedio anual de 10.3 km/h, encontrándose en los meses de noviembre y a principios de abril una mayor intensidad con una media de 12.4 km/h. La velocidad máxima registrada es de 14.4 km/h.

### **Zonas de vida**

Según Holdridge, las zonas de vida de esta región se clasifican dentro de: un bosque muy húmedo montano subtropical (bmh-MS) que se caracteriza por: Relieve ondulado a accidentado, la vegetación natural está representada por Abies religiosa y Pinus ayacahuite, Quercus sp. Y bosque muy húmedo montano bajo subtropical (bmh-MB), esta zona se caracteriza por tener un relieve accidentado, la vegetación natural es Cupressus lusitánica (ciprés común), Alnus Jorullensis y Quercus sp (roble, encino).

### **Suelos:**

Según Simmons C.C. Tarando y Pinto J.H., los suelos de San Pedro Sacatepéquez son de origen volcánico de texturas arena franca, franco arenosa y franco turbosa, color gris y café oscuro; de la series Ostuncalco (Os), Totonicapán (Tp), Quetzaltenango (Qe), Patzité (Pz) y Camancha erosionada (Cme).

De acuerdo al uso actual del suelo, las clases agrologicas que existen dentro del territorio son IV, VII y VIII.

### **Humedad relativa**

EL rango de humedad relativa que se enmarca en la estación experimental es de 75-77 %.

### **Vías de acceso**

El ensayo experimental distó a 255 km de la ciudad capital, a 4.5 km de la cabecera de San Marcos y a 6 km del municipio de San Pedro Sacatepéquez. (Camas Figueroa, D, Y. 2008)

## **6. OBJETIVOS.**

### **6.1 GENERAL:**

Evaluar el efecto de seis productos químicos y un orgánico en el control de tizón tardío *Phytophthora infestans* Mont. de Bary, en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.). Aldea San Andrés Chápil, San Pedro Sacatepéquez, San Marcos.

### **6.2 ESPECIFICOS:**

1. Determinar que tratamiento tiene un mejor control del Tizón Tardío *Phytophthora infestans* Mont. de Bary.
2. Determinar la correlación que existe entre la severidad de la enfermedad y el rendimiento del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*.).
3. Determinar que tratamiento produce el mayor rendimiento.
4. Determinar que tratamiento será favorable económicamente para el agricultor.

## **7. HIPOTESIS**

1. Al menos uno de los tratamientos a evaluar presentará diferencia significativa en el control de Tizón Tardío.
2. La severidad de la enfermedad tendrá una correlación inversamente proporcional con el rendimiento.
3. Al menos uno de los tratamientos presentará diferencia significativa en el rendimiento.
4. Al menos uno de los tratamientos será económicamente favorable para el agricultor.

## 8. MATERIALES Y MÉTODOS

### 8.1 Características del material experimental

#### VARIEDAD

Se utilizó la variedad Loman, debido a que más del 90% de los productores la utilizan y es la preferida en toda la zona productora de papa del altiplano occidental del país.

Se adapta bien a altitudes entre 1,700 a 2,500 msnm. La planta alcanza alturas entre 0.60 a 0.70 metros, con tallos erectos, follaje verde oscuro y por lo regular no florea. Gudiel (1987), citado por Blanco Pineda.

Los tubérculos son alargados y ligeramente planos, de color amarillo crema en su exterior y crema en su interior. El ciclo de cultivo es de 90 a 100 días. Es susceptible al ataque de tizón tardío (*Phytophthora infestans* Mont. de Bary) y rinde de 20 a 30 ton/ha. Es la variedad más cultivada en Guatemala.

#### PRODUCTOS QUÍMICOS Y PRODUCTO BIOLÓGICO A UTILIZAR

##### Propineb 70WP

Descripción clase: Fungicida

Clasificación toxicológica: IV

Formulación: Polvo mojable (WP)

Concentración: 70%

Grupo químico: Ditiocarbamato.

Ingrediente activo: Propineb

Dosis 1.5 -.2.5 kg/300 a 600 lts agua/ha.

Intervalo de aplicación: de 5 a 10 días.

Intervalo entre la última aplicación y la cosecha: 7 días.

Intervalo de reingreso al área tratada: 12 horas después de la aplicación.

Modo de acción: Fungicida protectante de acción multisitio.

Mecanismos de acción: Inhibe la germinación de esporas y con ello evita el desarrollo del hongo.

Banda toxicológica: Verde

Compatibilidad: Puede mezclarse con otros productos fitosanitarios de uso común.

Ecotoxicidad: Tóxico para peces, tóxico para ganado.

Fitotoxicidad: Aplicado en las dosis recomendadas no es fitotóxico.

Antídoto: No tiene antídoto específico.

Tratamiento: Aplicar tratamiento sintomático.

### **Propamocarb (37.5%) + Fenamidone (7.5%)**

Descripción clase: Fungicida

Clasificación toxicológica: III (Cuidado)

Formulación: Suspensión concentrada (SC)

Grupo químico: Imidazolinona + Carbamato

Nombre químico: propyl 3-(dimethyl amino) propyl carbamate, (S)-1-anilino-4-methyl-2-methylthio-4-phenylimidazolin-5-one (Wood, 2007).

Banda toxicológica: Azul

Dosis 2.0 – 2.5 lts/ha.

Observaciones generales Intervalo de aplicación: 5 a 10 días.

Intervalo entre la última aplicación y la cosecha: 7 días.

Intervalo de reingreso al área tratada: 24 horas.

Modo de acción: Translaminar y sistémico, actúa a nivel preventivo y curativo.

Compatibilidad: Es compatible con la mayoría de plaguicidas. No se recomiendan mezclas con reguladores de crecimiento, con cobre o con fertilizantes foliares que contengan alta concentración de nitrógeno.

Toxicidad eco toxicidad: Tóxico para peces y crustáceos.

Fito toxicidad: No es fitotóxico a las dosis recomendadas.

Antídoto y tratamiento médico antídoto: No tiene antídoto.

Tratamiento: Aplicar tratamiento sintomático.

### **Fluopicolide 6.0% + Propineb 66.7%**

Clase: Fungicida

Grupo químico: Benzamide, dithiocarbamate, floupicolide y propineb

Ingrediente activo: Fluopicolide y propineb

Concentración: 72.7 wp.

Nombre químico: 2,6-dichloro-N-(3-chloro-5(trifluormethyl)-2-pyridilmethyl) benzamide 6% Polymerit zinc propinelevis (ditiocarbamate 66.7%)

Formulación: WP

Banda Toxicológica: Verde

Modo de acción: Preventivo curativo.

Mecanismo de acción: Propineb actúa como inhibidor multisitio y fluopicolide actúa en proteínas específicas, esenciales en las interacciones en la membrana celular.

Dosis: 1.2 – 1.8 kg/ha.

Intervalo de aplicación: 7 días.

Fitotoxicidad: No es fitotóxico.

Compatibilidad: Es compatible con agroquímicos de uso común.

Antídoto: Tratamiento sintomático, no tiene.

### **Cymoxanil (8%) + Mancozeb (64%)**

Descripción clase: Fungicida

Ingrediente activo: Cimoxanilo

Formulación: Polvo mojable (WP)

Grupo químico: Acetamidas + ditiocarbamatos

Nombre químico: 1-[(EZ)-2-cyano-2-methoxyiminoacetyl]-3-ethylurea, manganeso ethylenebis (Ditiocarbamato) (polymeric) completado con sales de Zinc (28)

Banda toxicológica: Verde IV (DuPont, 2007)

Dosis 2.0 – 3.0 kg/ha

Intervalo de aplicación: 5 a 7 días, no más de 8 aplicaciones por temporada.

Intervalo entre la última aplicación y la cosecha: 15 días.

Intervalo de reingreso al área tratada: 24 horas (DuPont, 2007)

Modo de acción: Sistémico y de contacto

Mecanismo de acción: Actividad antiesporulante. Activo sobre todos los estados de desarrollo del hongo.

Compatibilidad: Es incompatible con productos de reacción alcalina. Es compatible con la mayoría de los plaguicidas de reacción neutra o ácida utilizados comúnmente en el cultivo de papa.

Toxicidad: Presenta una toxicidad extremadamente baja para humanos y animales.

Ecotoxicidad: No presenta eco toxicidad

Fito toxicidad: No es fitotóxico siempre y cuando se sigan las instrucciones que del panfleto.

Antídoto: No tiene.

### **Propamocarb (62.50%) y Fluopicolide (6.25%)**

Clase: Fungicida

Formulación: Suspensión concentrada (SC)

Grupo químico: Carbamato, Acylpicolide

Ingrediente activo: Propamocarb, Fluopicolide

Clasificación toxicológica: Ligeramente peligroso (III)

Banda toxicológica: Azul

Dosis: 1.5 lts/ha.

Modo de acción: Es una combinación de los principios activos Propamocarb y Fluopicolide. Es un fungicida que actúa de forma preventiva y curativa, debido a la característica de sus componentes, ofreciendo una actividad traslaminar con efecto antiesporulante, el producto es redistribuido rápidamente vía xilema.

Intervalo de aplicación: 7 días.

Fitotoxicidad: A las dosis recomendadas no hay problemas de foto toxicidad.

Compatibilidad: Es compatible con plaguicidas de uso común. Antes de usar es recomendable realizar pruebas de miscibilidad y Fito compatibilidad. No se recomienda mezclar con reguladores de crecimiento. En caso de realizar mezclas con benzimidazoles, se recomienda agregar primero Propamocarb + Fenamidone 68,75 SC y luego el otro fungicida disuelto previamente. Al agregar se debe agitar la mezcla.

Ecotoxicidad: Tóxico para peces y crustáceos. No contamine ríos, lagos y estanques con este producto o con envases o empaques vacíos.

Antídoto: No tiene antídoto.

Tratamiento: Aplicar tratamiento sintomático.

### **Bacillus subtilis cepa QST 713**

Clase: Fungicida

Formulación: Suspensión concentrada (SC)

Ingrediente activo: Bacillus subtilis cepa QST 713 (1.368 % p/v 13.68 g/l)

Banda toxicológica: Verde.

Dosis: 3lts/ha.

Modo de acción: Es un fungicida bactericida biológico, preventivo de amplio espectro.

Intervalo de aplicación: 7 días.

Fito toxicidad: A las dosis recomendadas no hay problemas de foto toxicidad.

Compatibilidad: Consultar al departamento técnico.

## **8.2 Diseño experimental**

El diseño experimental que se utilizó para la investigación fue bloques al azar, con 8 tratamientos y 4 repeticiones.

El modelo estadístico es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

Siendo:

$Y_{ij}$ = Variable de respuesta de la ij-ésima unidad experimental.

$\mu$ = Media general.

$T_i$  = Efecto del i-ésimo tratamiento.

$\beta_j$ = Efecto de j-ésimo bloque.

$\epsilon_{ij}$ = Error experimental.

### TRATAMIENTOS

Fungicidas utilizados para el manejo de la enfermedad del tizón tardío:

T1: Cymoxanil +Mancozeb

T2: Fluopicolide, Propineb + Propamocarb, Fenamidone + Propamocarb, fluopicolide (programa)

T3: Propamocarb + Fenamidone

T4: Propamocarb +Fluopicolide

T5: Bacillus subtilis

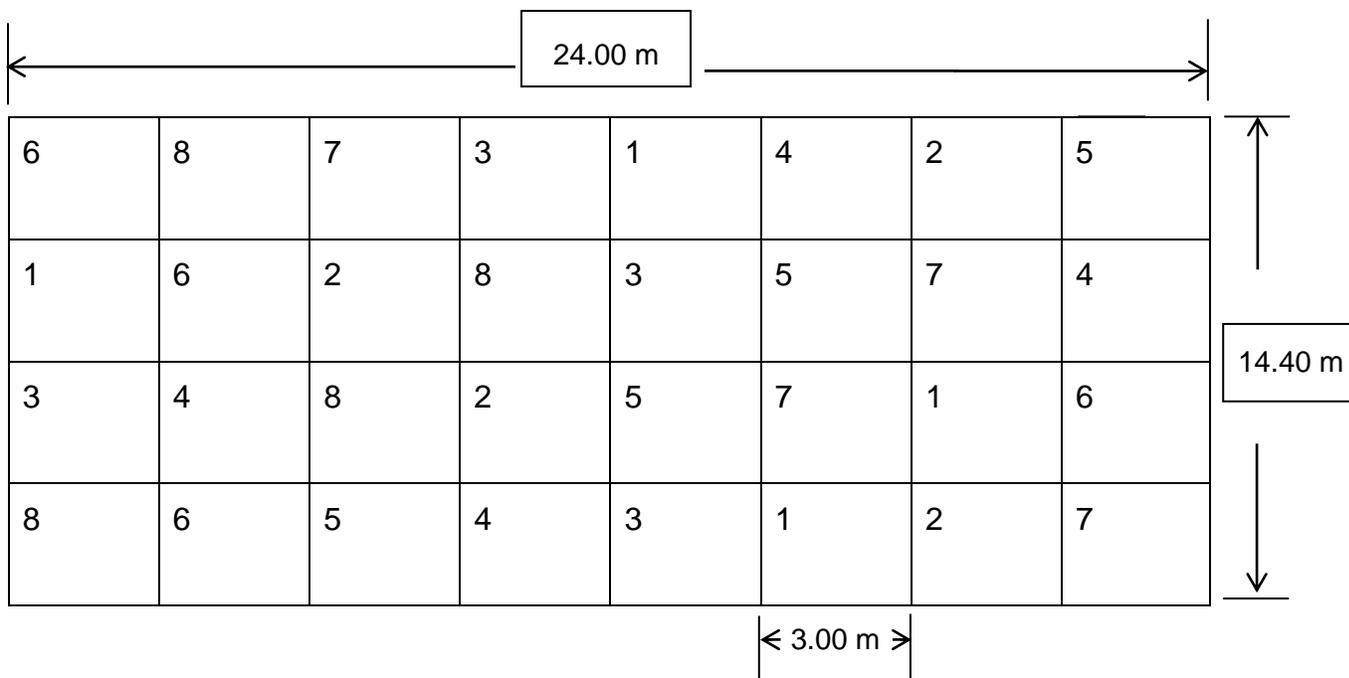
T6: Bacillus subtilis+ Propineb

T7: Fluopicolide + Propineb

T8: Testigo absoluto

### CROQUIS DEL EXPERIMENTO

8 tratamientos y 4 repeticiones.



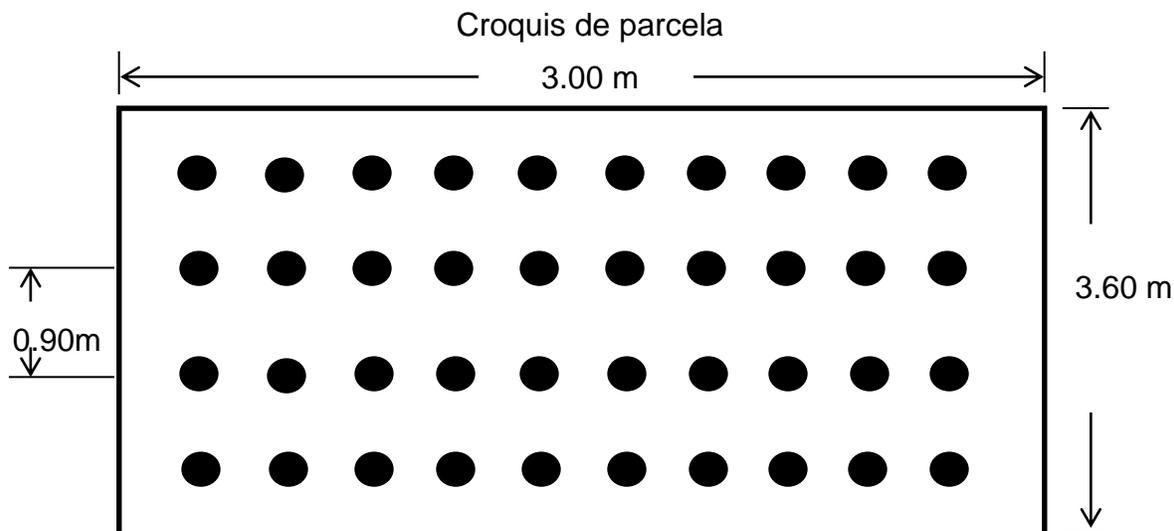
## UNIDAD EXPERIMENTAL

Área total del experimento: 345.60 m<sup>2</sup> de forma rectangular, de 14.40 metros de ancho \* 24.00 metros de largo.

Cada parcela se integró de 40 plantas, distanciadas entre surcos a 0.90 metros y 0.30 metros entre plantas, dando un total de 4 surcos y 10 plantas por surco.

Para evitar el efecto de borde y de cabecera se tomaron los surcos centrales en la toma de datos -8 plantas por surco-

En la siguiente figura se muestra la distribución de las plantas por parcela.



### 8.3 Manejo del experimento

Para evitar la deriva de los productos fúngicos de un tratamiento a otro, se utilizaron pantallas de nylon.

La primera aplicación de los productos fúngicos + adherente fue a los 29 DDS – días después de siembra-, cuando los tubérculos habían germinado. En total fueron 9 aplicaciones con un intervalo de 7 días. La última aplicación a los 86 DDS.

Al testigo absoluto no se le realizó ningún tipo de aplicación de plaguicidas, con el fin de garantizar la presencia del patógeno y el desarrollo de la enfermedad.

El fungicida utilizado con mayor frecuencia por el agricultor es a base de Cymoxanil + Mancozeb –testigo relativo-.

Para medir la severidad y la incidencia se tomaron los dos surcos centrales de cada unidad experimental, eliminando una planta en cada extremo para evitar el efecto de borde. En total 16 plantas -8 plantas por surco-.

Se midió el % de severidad en tallo y en hojas.

Cuadro 3. Tratamientos aplicados para el control de tizón tardío.

No. Trat.	Producto	Dosis	Frecuencia de lecturas	Frecuencia de aplicación
1	Cymoxanil + Mancozeb (C+M)	2.0 kg/ha	7 días	7 días
2	Programa * (Prg)		7 días	7 días
3	Propamocarb + Fenamidone (Pr+Fe)	2.0 l/ha	7 días	7 días
4	Propamocarb +Fluopicolide (Pr+Fl)	1.5 l/ha.	7 días	7 días
5	Bacillus subtilis (BS)	3.0 l/ha	7 días	7 días
6	Bacillus subtilis + Propineb (BS+Pb)	3.0 l/ha – 2.0 kg/ha	7 días	7 días
7	Fluopicolide + Propineb (Fl+Pb)	1.2 kg/ha	7 días	7 días
8	Testigo absoluto (T.A)			

\* Programa: Propamocarb + Fenamidone; Propamocarb + Fluopicolide; Fluopicolide + Propineb.

#### 8.4 Manejo agronómico del experimento

##### Preparación del terreno

Se seleccionó el terreno apropiado, posteriormente se procedió a limpiar el área donde se realizó la investigación.

##### Trazo se surcos

Se utilizaron pitas y estacas para delimitar el área experimental de cada tratamiento.

##### Siembra

Se utilizó semilla certificada, variedad Loman. Realizado el zanjeado se colocaron los tubérculos con brotes a una profundidad de 10 a 12 cm. La distancia de siembra fue de 0.90 metros entre surcos y 0.30 metros entre cada tubérculo semilla, lo que implicó 37,037 plantas/ha.

##### Fertilización

Al momento de la siembra, al fondo del surco se le aplicó 60 libras de una mezcla de 45 libras de 15-15-15 + 15 libras de 10-50-0, + 3 quintales de abono orgánico

(gallinaza procesada). Posteriormente a la aplicación del fertilizante, se recubrió de tierra para que el brote no se quemara.

Se aplicó Alfa Cipermetrina Imidacloprid en dosis de 200 ml/ha, para evitar plagas del suelo como el gusano alambre o la gallina ciega. Al momento del inicio de la formación de los tubérculos, aproximadamente a los 35 días, se aplicó 30 libras de 17 – 0 – 29, esto coincidió con la calza definitiva.

### **Control de plagas**

La protección fitosanitaria del cultivo con respecto a plagas se hizo por medio de seis aplicaciones alternas de productos químicos a base de: Thiacloprid 10% + Beta-cyfluthrin 1.25% a dosis de 0.25 l/ha; Deltametrina 10% a dosis de 75 ml/ha; Permetrin 50 a dosis de 400 ml/ha.

### **Control de enfermedades**

El control de enfermedades se realizó de acuerdo al cuadro 3, haciéndose presente y evaluando la enfermedad de Tizón Tardío –Phytophthora infestans Mont. de Bary- en el ensayo experimental.

### **Malezas**

Para su control se realizó de forma manual y consistió en realizar dos limpiezas, a los 20 y 35 DDS.

### **Defoliación**

Esta práctica se llevó a cabo a los 100 DDS de forma manual.

### **Cosecha**

16 días después de la defoliación se efectuó la cosecha, teniendo el cuidado de no dañar los tubérculos. Los tubérculos se clasificaron de acuerdo a su tamaño en: de primera (150 a 170 g), de segunda (100 a 120 g) y de tercera (80 a 90 g).

### **Datos climáticos**

De las condiciones estudiadas, los datos de precipitación y la temperatura se obtuvieron de la estación meteorológica ubicada en la Escuela de Formación Agrícola –EFA- San Marcos.

## **8.5 Variables de respuesta**

Para interpretar los efectos de los tratamientos con respecto a la enfermedad, se consideraron las siguientes variables de respuesta.

### **1. Incidencia %**

Este parámetro permitió conocer el número de plantas u órganos enfermos con relación al total de plantas inspeccionadas en cada punto de evaluación y se determinó visualmente. De cada parcela neta se tomaron 16 plantas para medir el porcentaje de incidencia en tallos y el porcentaje de incidencia en hojas.

## **2. Severidad %**

Se utilizaron los indicadores de severidad de *Phytophthora infestans* Mont. de Bary en papa. Los datos de la variable se compararon con la escala diagramática de Clive James, para saber el porcentaje de severidad en cada lectura realizada.

### **a. Clave de campo de “James” para medir la severidad del Tizón en el cultivo de papa**

#### **Procedimiento:**

Se utilizó el cuadro 18 y la imagen 1 para determinar el porcentaje de severidad de la enfermedad manifiesta en la planta.

Para realizar los muestreos se seleccionaron los surcos centrales de cada unidad experimental, eliminando una planta por extremo por efecto de borde, en total fueron 16 plantas -8 plantas por surco-. (James, 1971).

Las lecturas se realizaron a intervalos de 7 días después de haber iniciado la epidemia. La primera lectura fue a los 29 DDS y la última a los 86 DDS. Se hizo una selección independiente de las plantas para cada lectura.

Se evaluó el porcentaje de área foliar y área de tallo afectada por el tizón.

### **b. Indicador visual de severidad de James para el Tizón de la papa**

Este indicador visual fue específico para la enfermedad del Tizón Tardío de la papa (*Phytophthora infestans* Mont. de Bary) (James, 1971).

Se utilizó como referencia del cuadro 19, y fue una herramienta de mucha utilidad en la toma de datos de severidad.

Se examinaron las 16 plantas por unidad experimental, tomando nota de la fecha inicial de infección y la fase inicial de la curva de progreso de la enfermedad. Se utilizó la imagen 1 para determinar el grado de infección y de la forma en que se difundió la epidemia.

Los datos de incidencia y severidad se tomaron a partir de la curva del progreso de la enfermedad (AUDPC)

### **Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCDE)**

Al hacer este análisis se identificó como objetivo primordial el efecto entre los tratamientos, siendo la variable el área bajo la curva del progreso de la enfermedad.

Para evaluar esta variable se realizaron lecturas semanales del porcentaje de estimación del área afectada del follaje y tallos desde el apareamiento de los primeros síntomas de la enfermedad, hasta la madurez fisiológica de la planta.

Ese método consiste en hacer una sumatoria de los promedios de la enfermedad registrados en el tiempo de evaluación, obteniendo la integración de todos los rectángulos formados bajo la curva y para obtener un área total de la enfermedad. Se hace con la ecuación:

$$\text{AUDPC} = \frac{\Sigma (y_2 + y_1) * (t_2 - t_1)}{2}$$

Donde:

y<sub>1</sub>= severidad de la enfermedad en el tiempo 1 (t<sub>1</sub>)

y<sub>2</sub>= severidad de la enfermedad en el tiempo 2 (t<sub>2</sub>)

Según Reynolds (1997) el área bajo la curva del progreso de la enfermedad es el parámetro más consistente asociado con resistencia a la mayoría de patógenos.

Esta es una medida cuantitativa de intensidad de epidemia que incorpora la incidencia de tiempo del ataque de la enfermedad y el nivel final de intensidad de la misma.

Los valores obtenidos de AUDPC en los tratamientos evaluados se sometieron a un análisis de varianza donde se encontraron diferencias significativas, por tal razón se realizó una prueba de tukey.

### **3. Rendimiento**

El rendimiento se determinó por cada tratamiento realizando la recolección de los tubérculos del ensayo experimental. El producto se clasificó en papa de primera, segunda y tercera; con una relación de peso a kg/ha.

Para el análisis de los resultados se hizo una suma de la papa de primera, la papa de segunda y la papa de tercera de cada tratamiento; luego se le realizó un análisis de varianza que mostró diferencias significativas, por tal razón se realizó una prueba de tukey.

### **8.6 Análisis estadístico**

Los resultados obtenidos para cada variable de estudio, se sometieron a un análisis de varianza (ANDEVA)  $P \leq 0,05$ ; se realizó la prueba de comparación múltiple de tukey, para ello se utilizó el programa estadístico InfoStat versión 2015e.

#### **Análisis de correlación**

Se hizo un análisis de correlación regresión para establecer la relación entre la variable severidad y variable rendimiento. Se utilizó el programa InfoStat.

#### **Análisis económico**

Se evaluaron los costos de cada tratamiento a través de la metodología de presupuestos parciales y rentabilidad, para determinar que tratamiento o producto representa mayor tasa marginal de retorno a capital para el productor.

## 9. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos en la evaluación de los tratamientos para el control del patógeno *Phytophthora infestans* causal de la enfermedad del Tizón Tardío en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L).

Las variables evaluadas fueron: Incidencia, severidad y rendimiento; incluyen el análisis de correlación entre el % de severidad y el rendimiento y un análisis económico. Todo ello para determinar que fungicida fue más efectivo en el control de la enfermedad y el más favorable para el productor.

Esta investigación se efectuó en los meses de agosto a diciembre del año 2014, con una siembra establecida en época lluviosa, donde las condiciones ambientales de precipitación, humedad y temperatura, favorecieron el desarrollo de la enfermedad.

### 9.1 Incidencia (% de plantas enfermas)

La evaluación de esta variable se inició con el apareamiento de los primeros síntomas típicos de Tizón Tardío ocasionado por el patógeno *Phytophthora infestans* Mont. de Bary y se manifestó en el testigo absoluto a 30 DDS.

La toma de datos se inició con un intervalo de 7 días a los 37 DDS efectuándose en total 9 lecturas; al realizar la primera lectura todos los tratamientos tenían síntomas manifiestos. A continuación se presenta el análisis de varianza – ANDEVA- correspondiente al porcentaje de incidencia sobre los ocho tratamientos evaluados para el control de tizón tardío.

Cuadro 4. Promedios de incidencia del patógeno *Phytophthora infestans* sobre las plantas de papa, con los tratamientos aplicados.

	C+M	PRG	PR+FE	PR+FL	BS	BS+PB	FL+PB	T.A	
R1	4.46	4.26	3.93	3.57	4.13	4.52	3.75	7.27	35.89
R2	3.96	3.57	3.43	3.05	4.34	3.77	4.98	6.84	33.94
R3	3.35	3.57	3.05	1.00	3.77	4.66	4.72	6.80	30.92
R4	4.66	3.26	2.62	2.42	2.41	3.26	4.66	6.77	30.06
	16.43	14.66	13.03	10.04	14.65	16.21	18.11	27.68	130.81

Fuente: Jeovaní Tul López, 2015.

Nota: Datos transformados en arco seno y  $\sqrt{x+1}$

C+M= Cymoxanil + Mancozeb  
 Prg= Programa  
 Pr+Fe= Propamocarb + Fenamidone  
 Pr+Fl= Propamocarb + Fluopicolide  
 BS= Bacillus subtilis  
 BS+Pb= Bacillus subtilis + Propineb  
 FL+Pb= Fluopicolide + Propineb  
 T.A= Testigo absoluto.

Cuadro 5. Análisis de varianza de la incidencia del patógeno *Phytophthora infestans* sobre las plantas de papa, con los tratamientos aplicados.

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Incidencia	32	0.86	0.79	15.14

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	Fcal	p-valor	Ftab
Modelo.	49.79	10	4.98	13	<0.0001	
Repeticiones	2.74	3	0.91	2.38	0.0982	
Tratamientos	47.05	7	6.72	17.55	<0.0001	2.49
Error	8.04	21	0.38			
Total	57.83	31				

Fuente: Jeovaní Tul López, 2015\_Software InfoStat.

Los resultados del análisis de varianza indican que para el caso de los tratamientos evaluados en la variable incidencia, existieron diferencias significativas. La F calculada (17.55) es mayor que la F tabulada (2.49).

Para determinar cuáles tratamientos difieren significativamente y seleccionar a los mejores, fue necesario hacer una comparación de medias, mediante la prueba de tukey.

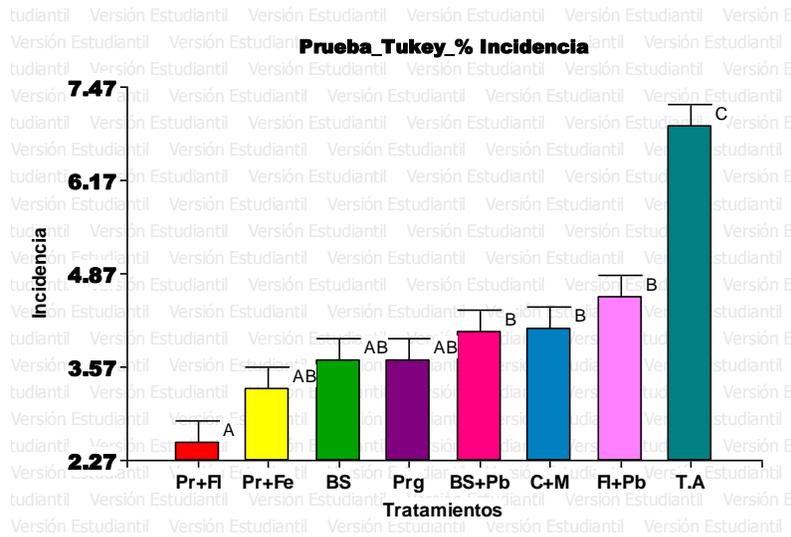
Tabla 1. Prueba de Tukey de la incidencia del patógeno *Phytophthora infestans* sobre las plantas de papa, con los tratamientos aplicados.

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.46779						
Error: 0.38	gl: 21					
Tratamientos	Medias	n	E.E.			
Pr+Fl	2.51	4	0.31	A		
Pr+Fe	3.26	4	0.31	A	B	
BS	3.66	4	0.31	A	B	
Prg	3.67	4	0.31	A	B	
BS+Pb	4.05	4	0.31		B	
C+M	4.11	4	0.31		B	
Fl+Pb	4.53	4	0.31		B	
T.A	6.92	4	0.31			C
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)						

Fuente: Jeovaní Tul López, 2015\_Software InfoStat.

De acuerdo con la prueba de Tukey los mejores tratamientos fueron Propamocarb + Fluopicolide, Propamocarb + Fenamidone, Bacillus subtilis y Programa. Los tratamientos que difieren estadísticamente son Propamocarb + Fluopicolide, Fluopicolide + Propineb y Testigo absoluto.

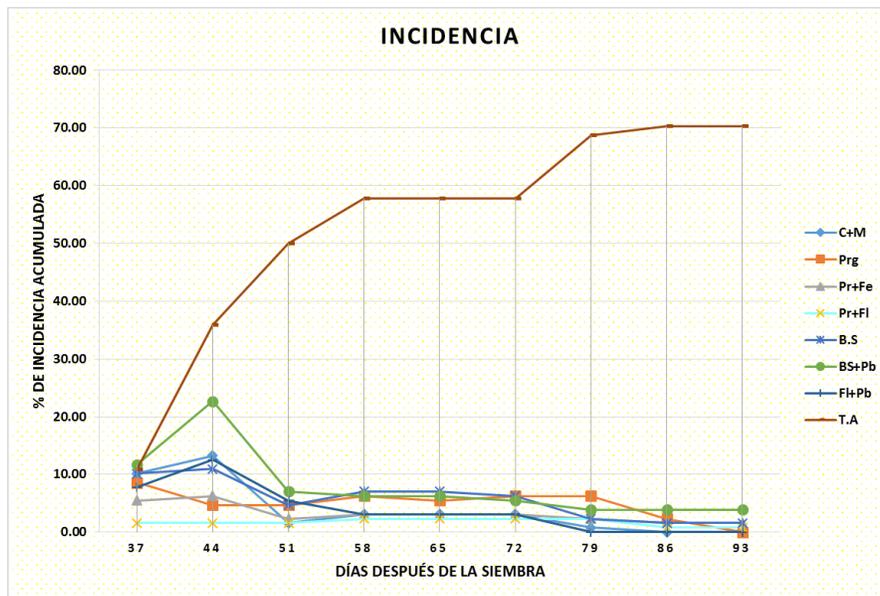
Gráfica 1. Prueba de Tukey de la incidencia del patógeno *Phytophthora infestans*, sobre las plantas de papa, con los tratamientos aplicados.



Fuente: Jeovaní Tul López, 2015\_Software InfoStat.

Los mejores tratamientos según % de incidencia son a base de Propamocarb + Fluopicolide, Propamocarb + Fenamidone, Bacillus subtilis y el Programa

Gráfica 2. Incidencia acumulada del patógeno *Phytophthora infestans* sobre las plantas de papa, con los tratamientos aplicados.



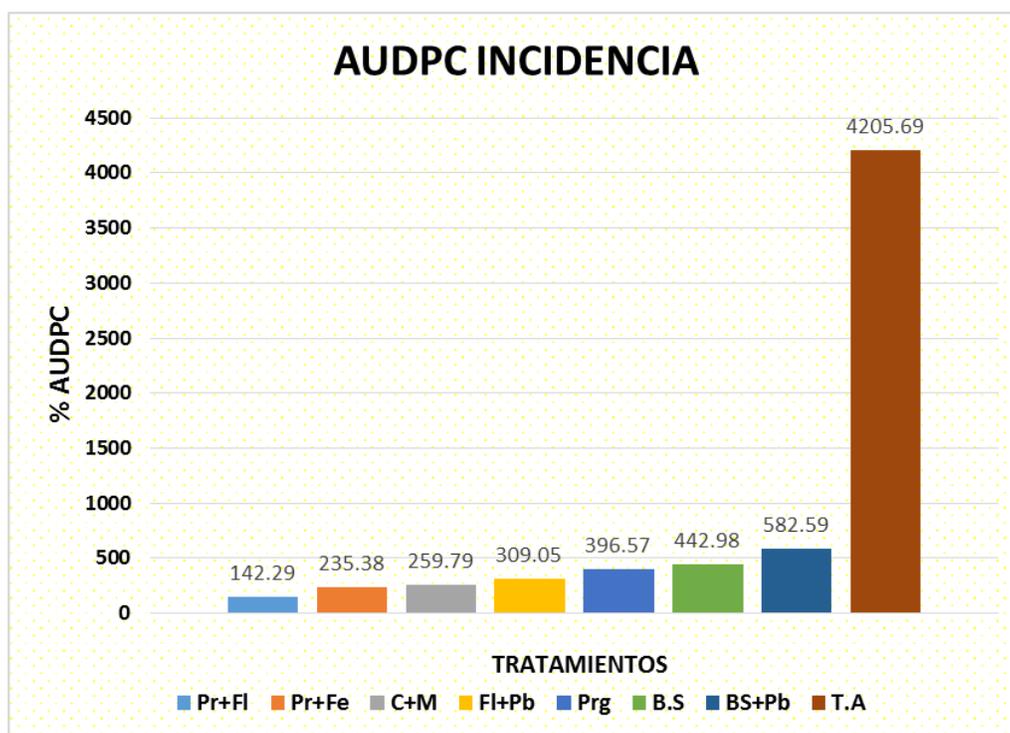
Fuente: Jeovaní Tul López, 2015

La mayor incidencia acumulada se observó en el testigo absoluto y las menores se evidenciaron en los tratamientos a base de: Propamocarb + Fluopicolide, Propamocarb + Fenamidone, Programa y Basillus subtilis.

Los porcentajes de incidencia acumulada aumentaron desde los 37 hasta los 93 DDS en el tratamiento Testigo Absoluto (10.94 a 70.32 %).

Inicialmente las curvas de los siete tratamientos restantes se mantuvieron hasta los 44 DDS, a partir de ese momento la enfermedad empezó su descenso hasta los 93 días. Se observó que los tratamientos aplicados tuvieron un efecto en el control del patógeno *Phytophthora infestans*.

Gráfica 3. AUDPC incidencia del patógeno *Phytophthora infestans* sobre las plantas de papa, con los tratamientos aplicados.



Fuente: Jeovaní Tul López, 2015.

Según análisis del área bajo la curva del progreso de la enfermedad (AUDPC) se determinó que la mayor incidencia del patógeno fue sobre el testigo absoluto, seguida por el tratamiento compuesto por *Bacillus subtilis* + Propineb, reduciéndose significativamente al tratamiento compuesto por Propamocarb + Fluopicolide.

## 9.2 Severidad (Porcentaje de tejido dañado)

La toma de datos de la variable severidad fue con un intervalo de 7 días, inició a los 37 DDS con un total de 9 lecturas; al realizar la primera lectura todos los tratamientos tenían síntomas manifiestos. A continuación se presenta el análisis de varianza –ANDEVA- del porcentaje de severidad sobre las plantas de papa con los ocho tratamientos aplicados para el control de Tizón Tardío.

Cuadro 6. Promedios del % de severidad del patógeno *Phytophthora infestans* sobre las plantas de papa, con los tratamientos aplicados.

	C+M	PRG	PR+FE	PR+FL	BS	BS+PB	FL+PB	T.A	
R1	1.62	1.92	1.81	1.47	1.94	1.83	1.41	3.68	15.68
R2	1.81	1.55	1.75	1.35	2.02	1.62	2.03	3.53	15.66
R3	1.41	1.65	1.35	1.00	2.02	2.68	1.47	3.48	15.06
R4	1.62	1.41	1.25	1.25	1.25	1.55	1.41	3.35	13.09
	6.46	6.53	6.16	5.07	7.23	7.68	6.32	14.04	59.49

Fuente: Jeovaní Tul López, 2015

Cuadro 7. Análisis de varianza de la severidad del patógeno *Phytophthora infestans* sobre las plantas de papa, con los tratamientos aplicados.

Análisis de la varianza				
Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Severidad	32	0.9	0.85	14.73

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F <sub>tab</sub>	p-valor	F <sub>tab</sub>
Modelo.	14.05	10	1.41	18.73	<0.0001	
Repeticiones	0.56	3	0.19	2.49	0.0881	
Tratamientos	13.49	7	1.93	25.69	<0.0001	2.49
Error	1.58	21	0.08			
Total	15.63	31				

Fuente: Jeovaní Tul López, 2015\_Software InfoStat

Los resultados del ANDEVA indican que existieron diferencias significativas. La F calculada (73,45) es mayor que la F tabulada (2,49).

Tabla 2. Prueba de Tukey del % de severidad del patógeno *Phytophthora infestans* sobre las plantas de papa, con los tratamientos aplicados.

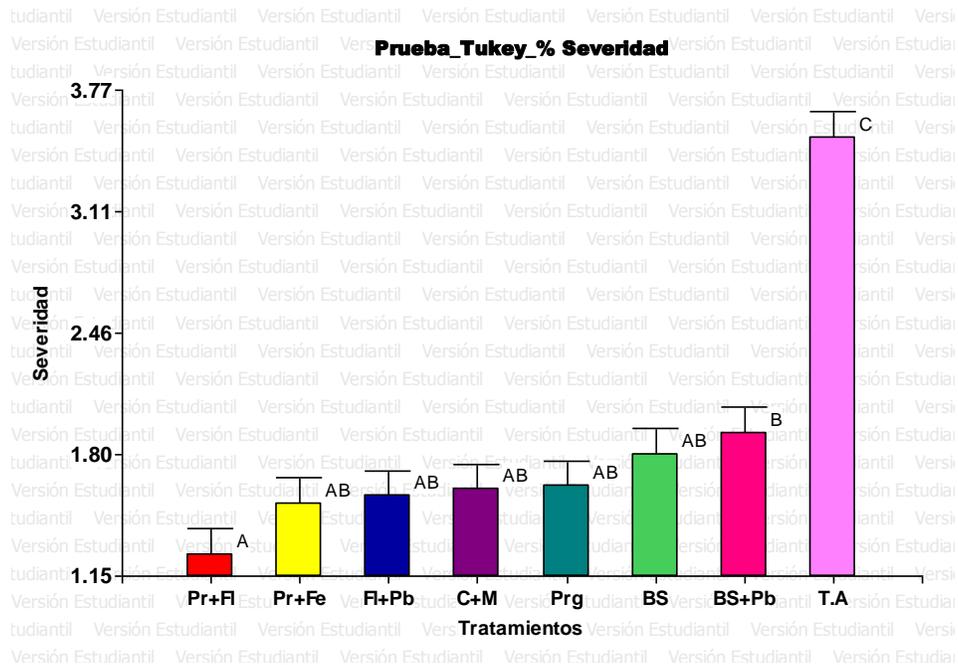
Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.64956						
Error: 0.0750	gl: 21					
Tratamientos	Medias	n	E.E.			
Pr+Fl	1.27	4	0.14	A		
Pr+Fe	1.54	4	0.14	A	B	
Fl+Pb	1.58	4	0.14	A	B	
C+M	1.62	4	0.14	A	B	
Prg	1.63	4	0.14	A	B	
BS	1.81	4	0.14	A	B	
BS+Pb	1.92	4	0.14		B	
T.A	3.51	4	0.14			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Fuente: Jeovaní Tul López, 2015\_Software InfoStat

Los mejores tratamientos para el control de la severidad son: Propamocarb + Fluopicolide, Propamocarb + Fenamidone, Cymoxanil + Mancozeb, Programa, Fluopicolide + Propineb, *Basillus subtilis* de acuerdo con la prueba de Tukey.

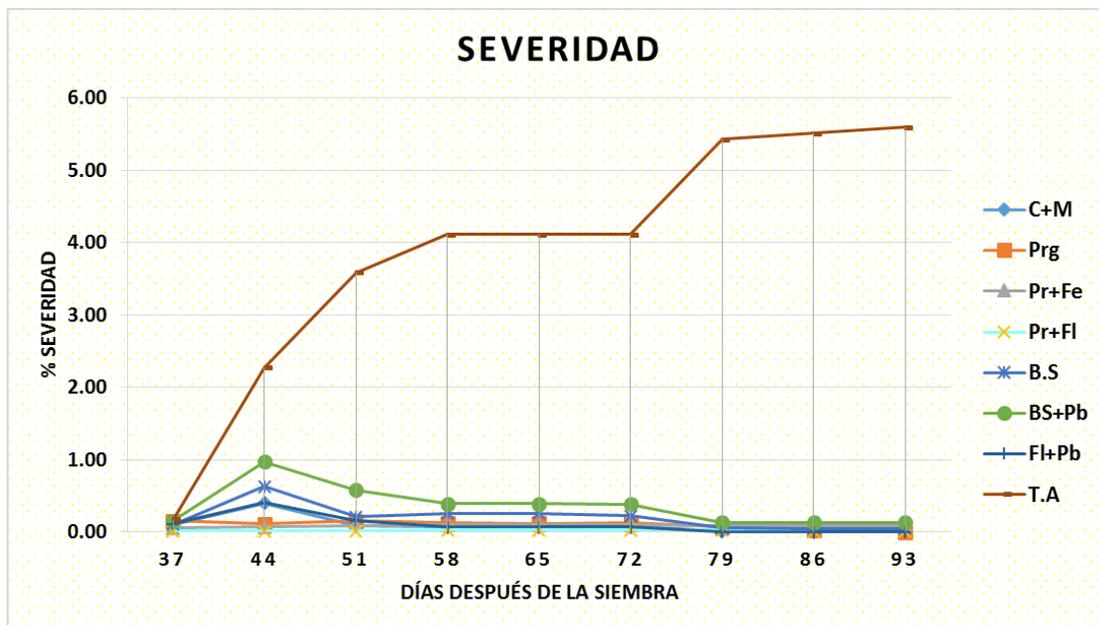
Gráfica 4. Prueba de Tukey de la severidad del patógeno *Phytophthora infestans*, sobre las plantas de papa, con los tratamientos aplicados.



Fuente: Jeovaní Tul López, 2015\_Software InfoStat.

Los tratamientos con mayor grado de severidad son: *Bacillus subtilis* + Propineb y el testigo absoluto.

Gráfica 5. Severidad acumulada del patógeno *Phytophthora infestans* sobre las plantas de papa, con los tratamientos aplicados.



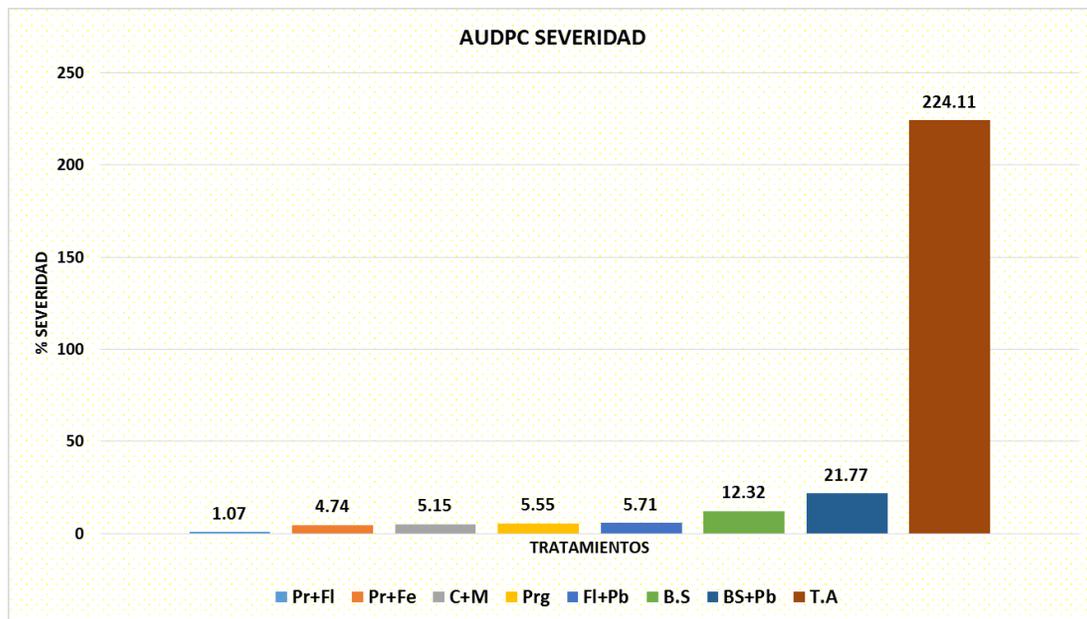
Fuente: Jeovaní Tul López, 2015.

El comportamiento biológico real de la severidad acumulada del patógeno *Phytophthora infestans* se observó en el testigo absoluto. Los porcentajes de severidad acumulada aumentaron desde los 37 hasta los 93 DDS en el tratamiento testigo absoluto.

Inicialmente las curvas de los siete tratamientos restantes se mantuvieron hasta los 44 DDS, a partir de ese momento la enfermedad empezó su descenso hasta los 93 días. Demostrando que los tratamientos aplicados tienen un efecto en el control del patógeno *Phytophthora infestans*.

El aumento de la severidad se debe a que hubo una mayor precipitación en los meses de septiembre -330.8 mm- y octubre -236.6 mm- INSIVUMEH 2014.

Gráfica 6. AUDPC de severidad del patógeno *Phytophthora infestans* sobre las plantas de papa, con los tratamientos aplicados.



Fuente: Jeovaní Tul López, 2015.

Al hacer el análisis del área bajo la curva del progreso de la enfermedad (AUDPC) se determinó que el testigo absoluto alcanzó valores elevados de severidad del patógeno, seguido por el tratamiento *Basillus subtilis* + Propineb.

### 9.3 Rendimiento kg/ha.

En la investigación se establecieron tres categorías de tubérculos de papa (primera, segunda y tercera). Los resultados del rendimiento total se sometieron al análisis de varianza (ANDEVA) y los datos se tabularon en el programa de InfoStat versión 2015e.

Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos y se procedió a realizar una prueba de tukey, determinando el mejor tratamiento con relación al rendimiento (kg/ha).

## Rendimiento total de tubérculos de papa

Cuadro 8. Análisis de varianza del rendimiento total en ton/ha de tubérculos en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L).

Análisis de la varianza				
Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Rendimiento kg/ha	32	0.63	0.45	11.53

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F cal	p-valor	Ftab
Modelo.	640.18	10	64.02	3.55	0.0069	
Repeticiones	26.34	3	8.78	0.49	0.695	
Tratamientos	613.84	7	87.69	4.86	0.0022	2.49
Error	378.59	21	18.03			
Total	1018.76	31				

Fuente: Jeovaní Tul López, 2015\_Software InfoStat.

Los resultados del análisis de varianza indican que para el caso de los tratamientos evaluados existen diferencias significativas. El coeficiente de variación fue de 11,53 %. La F calculada (4,86) es mayor que la F tabulada (2,49). Por lo tanto al menos uno de los tratamientos fue diferente a los demás.

Tabla 3. Prueba de Tukey del rendimiento total en kg/ha de tubérculos en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L)

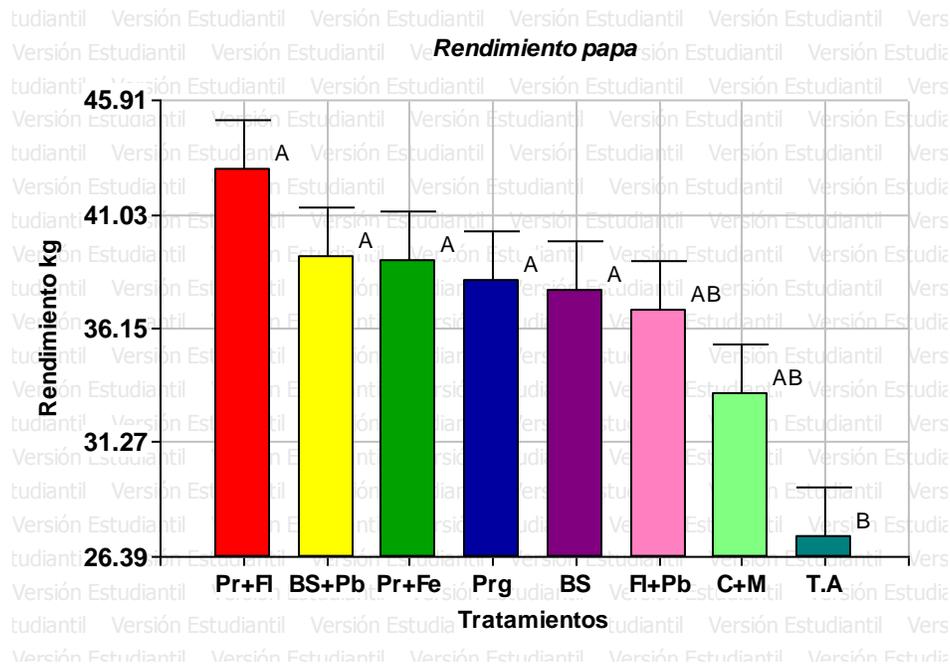
Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=10.07024						
Error: 18.0279	gl: 21					
Tratamientos	Medias	n	E.E.			
Pr+Fl	42.9	4	2.12	A		
BS+Pb	39.21	4	2.12	A		
Pr+Fe	39.03	4	2.12	A		
Prg	38.18	4	2.12	A		
BS	37.79	4	2.12	A		
Fl+Pb	36.93	4	2.12	A		B
C+M	33.35	4	2.12	A		B
T.A	27.27	4	2.12			B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Fuente: Jeovaní Tul López, 2015\_Software InfoStat

Los mejores tratamientos en la producción de rendimiento son los compuestos a base de Propamocarb + Fluopicolide, Bacillus subtilis + Propineb, Propamocarb + Fenamidone, Programa, Bacillus subtilis, Fluopicolide + Propineb y Cymoxanil + Mancozeb. El tratamiento que menor rendimiento obtuvo fue el Testigo absoluto.

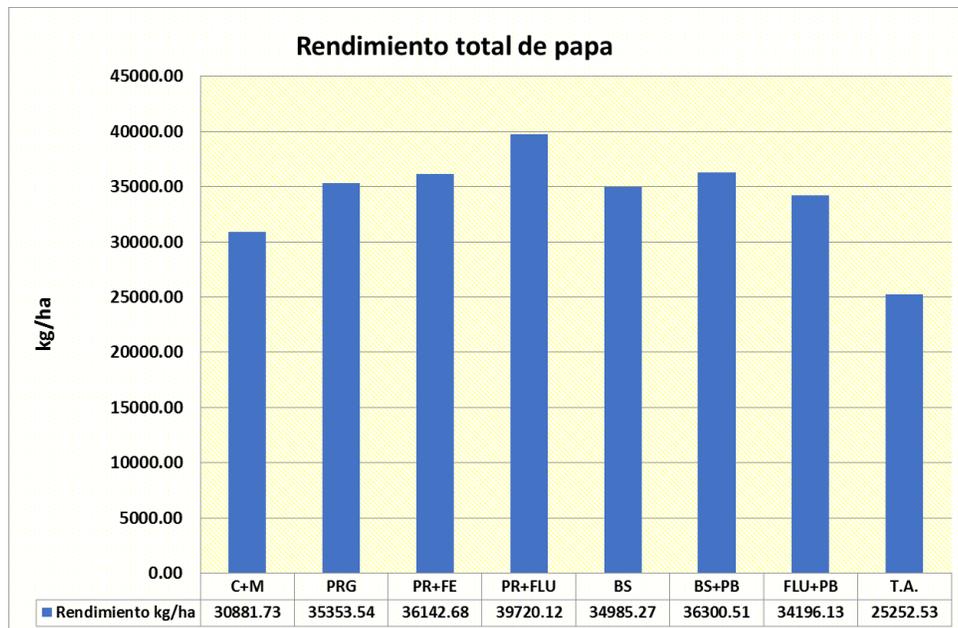
Gráfica 7. Prueba de Tukey del rendimiento total en kg/ha de tubérculos en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L).



Fuente: Jeovani Tul López, 2015\_Software InfoStat

En el análisis de la prueba de tukey de los tratamientos evaluados, el que menor rendimiento obtuvo fue el testigo absoluto con 27.78 ton/ha.

Gráfica 8. Rendimiento total en kg/ha de tubérculos en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L).



Fuente: Jeovani Tul López, 2015.

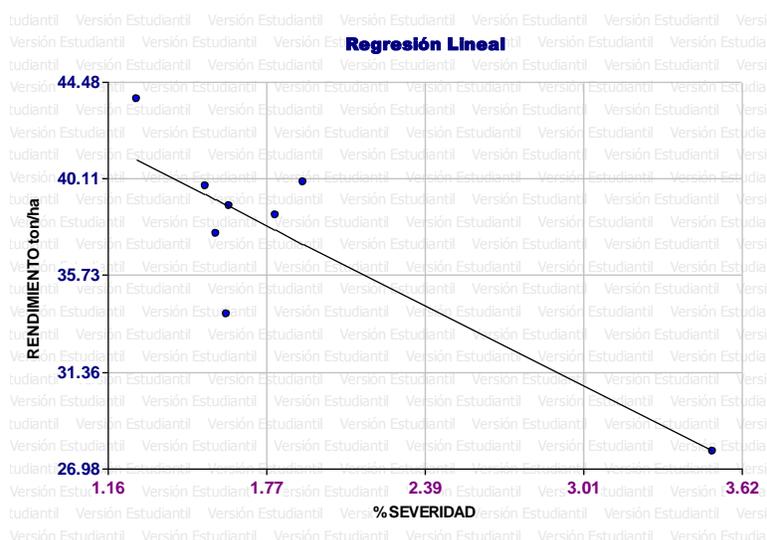
A través del análisis estadístico del rendimiento, se amplió la confiabilidad de los resultados y fue una opción que permitió estabilizar la varianza de los valores porcentuales del rendimiento dentro de los tratamientos.

Se determinó que en el promedio de las tres categorías de tubérculos de papa, el tratamiento a base de Propamocarb + Fluopicolide alcanzó el mayor rendimiento (39,720.12 kg/ha) el testigo absoluto alcanzó el menor rendimiento (25,252.53 kg/ha).

#### 9.4 Relación de la tasa de incremento de la severidad y el rendimiento de papa (*Solanum tuberosum* L.)

El ensayo experimental se condujo bajo las condiciones adecuadas del triángulo de la enfermedad (Patógeno - planta hospedera – ambiente) y en función del porcentaje de severidad y el promedio de rendimiento de los tratamientos, se asevera que existe una estrecha relación entre la tasa de incremento de la severidad del patógeno *Phytophthora infestans* y el rendimiento de papa. Es decir que la enfermedad interviene en la cantidad de producción que se obtiene.

Gráfica 9. Línea de regresión de la tasa de incremento de severidad sobre el rendimiento en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.).



$$Y = -5.88x + 39,30 \quad R^2 = 0,68$$

Fuente: Jeovani Tul López, 2015\_Software InfoStat.

El objetivo del análisis de regresión fue encontrar la recta de regresión o mínimos cuadrados que mejor se ajustara a la nube de datos en el sentido que minimizara la distancia entre los puntos observados y los valores ajustados con la recta.

Al dividir los cuadrantes con base a las medias muestrales de x e y, los productos del sumatorio fueron negativos porque no tuvieron el mismo comportamiento, por lo tanto los puntos se ubicaron en los cuadrantes II y IV.

Cuadro 9. Análisis de regresión lineal y varianza entre rendimiento y severidad.

Análisis de regresión lineal						
Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC
RENDIMIENTO ton/ha	8	0.73	0.69	9.98	42.06	42.3

Coeficientes de regresión y estadísticos asociados								
Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
constante	48.46	2.86	41.47	55.45	16.96	<0,0001		
% SEVERIDAD	-5.89	1.45	-9.43	-2.34	-4.06	0.0067	15.26	1

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	116.67	1	116.67	16.47	0.0067
% SEVERIDAD	116.67	1	116.67	16.47	0.0067
Error	42.51	6	7.08		
Total	159.17	7			

Coeficientes de correlación		
Correlación de Pearson: Coeficientes\probabilidades		
	% SEVERIDAD	RENDIMIENTO ton/ha
% SEVERIDAD	1	0.01
RENDIMIENTO ton/ha	-0.86	1

Fuente: Jeovani Tul López, 2015\_Software InfoStat.

Según el análisis de varianza de la regresión la significancia que existe entre los valores de las variables dependiente e independiente reafirma la correlación entre ambos datos.

El coeficiente de correlación es un índice que mide la relación lineal entre dos variables cuantitativas, según el cuadro 9 existe una correlación lineal entre la tasa de incremento de la severidad y el rendimiento, el coeficiente de determinación fue de -86 %. Por lo tanto se dice que hay una correlación o asociación negativa de y (rendimiento) respecto de x (severidad).

De acuerdo al valor numérico del coeficiente de correlación, existe una correlación negativa moderada entre el % de severidad (0.10 a 3.88 %) de *Phytophthora infestans* y las ton/ha de rendimiento (27.78 a 43.69) de papa (*Solanum tuberosum* L.)

## 9.5 Análisis económico

Los tratamientos más productivos y menos afectados por el patógeno *Phytophthora infestans* en cuanto a incidencia y severidad, son los que proporcionan la mejor rentabilidad desde el punto de vista económico.

El análisis económico se realizó con base en un presupuesto parcial según el CIMMYT, 1988. El cuadro 10 establece que en el tratamiento a base de Propamocarb + Fluopicolide se obtuvo el mayor beneficio neto (Q/ha 161115.51), seguido de *Bacillus subtilis* + Propineb (Q/ha 149237.17) y Propamocarb + Fenamidone (Q/ha 14766.39) y *Bacillus subtilis* (Q/ha 145447.40).

Cuadro 10. Presupuesto parcial de los tratamientos evaluados.

PRESUPUESTO PARCIAL DE LOS TRATAMIENTOS EVALUADOS.								
DESCRIPCIÓN	TRATAMIENTOS							
	C+M	PRG	PR+FE	PR+FLU	BS	BS+PB	FLU+PB	T.A
Rendimiento medio (kg/ha)	30881.74	35353.54	36142.68	39720.12	34985.27	36300.51	34196.13	25252.31
Rendimiento ajustado (kg/ha)	26249.48	30050.51	30721.28	33762.10	29737.48	30855.43	29066.71	21464.46
Beneficios brutos de campo (Q/ha)	131247.40	150252.55	153606.39	168810.51	148687.40	154277.17	145333.55	107322.32
Costo de los fungicidas (Q/ha)	3780.00	5598.90	5940.00	7695.00	3240.00	5040.00	3132.00	0.00
Totales costos que varían (Q/ha)	3780.00	5598.90	5940.00	7695.00	3240.00	5040.00	3132.00	0.00
Beneficios netos (Q/ha)	127467.40	144653.65	147666.39	161115.51	145447.40	149237.17	142201.55	107322.32

Fuente: Jeovani Tul López, 2015.

Cuadro 11. Análisis de dominancia de los tratamientos evaluados.

ANÁLISIS DE DOMINANCIA DE LOS TRATAMIENTOS			
TRATAMIENTO	BENEFICIO NETO Q/HA.	COSTOS QUE VARÍAN	ANÁLISIS DE DOMINANCIA
T.A	107322.32	0.00	ND
Fl+Pb	142201.55	3132.00	ND
BS	145447.40	3240.00	ND
C+M	127647.40	3780.00	D
BS+Pb	149237.17	5040.00	ND
Prg	144653.65	5598.90	D
Pr+Fe	147666.39	5940.00	D
Pr+Fl	161115.51	7695.00	ND

Fuente: Jeovani Tul López, 2015.

Según el análisis de dominancia, nos indica que los tratamientos a base de Cymoxanil + Mancozeb, Programa y Propamocarb + Fenamidone fueron dominados por los tratamientos en comparación.

En el análisis de dominancia (cuadro 11), los tratamientos no dominados son Propamocarb + Fluopicolide, Bacillus subtilis + Propineb, Bacillus subtilis y Fluopicolide + Propineb, esto quiere decir que presentaron menos costo y mayor beneficio; destacando al tratamiento a base de Propamocarb + Fluopicolide con el mayor beneficio neto Q/ha 161,115.51, sin embargo la tasa de retorno marginal es apenas del 4.47 %, siendo la segunda tasa de los tratamientos no dominados, esto se debe a que su costo es el más elevado.

Cuadro 12. Tasa marginal de retorno de los tratamientos evaluados.

TASA MARGINAL DE RETORNO DE LOS TRATAMIENTOS					
TRATAMIENTOS	BENEFICIO NETO Q/HA.	BENEFICIO NETO MARGINAL	COSTOS QUE VARÍAN	COSTOS QUE VARÍAN_MARGINAL	TASA MARGINAL DE RETORNO %
T.A.	107322.32		0.00		
FLU+PB	142201.55	3245.85	3132.00	108.00	3005.42
BS	145447.40	3789.77	3240.00	1800.00	210.54
C+M	127467.40		3780.00	DOMINADO	
BS+PB	149237.17	11878.34	5040.00	2655.00	447.40
PRG	144653.65		5598.00	DOMINADO	
PR+FE	147666.39		5940.00	DOMINADO	
PR+FLU	161115.51		7695.00	DOMINADO	

Fuente: Jeovaní Tul López, 2015.

Los tratamientos con mayor porcentaje de retorno marginal son los que están a base de *Bacillus subtilis*, *Bacillus subtilis* + Propineb y Propamocarb + Fluopicolide.

El tratamiento que obtuvo la mayor tasa de retorno marginal es el compuesto a base de *Bacillus subtilis* con 30.05 % seguido por Propamocarb + Fluopicolide con 4.47%.

## Discusión de resultados

### Incidencia

La tabla 1 indica que los mejores tratamientos son los compuestos a base de Propamocarb + Fluopicolide, Propamocarb + Fenamidone, *Bacillus subtilis* y el programa y la mayor incidencia acumulada se observó en el testigo absoluto.

Los porcentajes de incidencia acumulada aumentaron desde los 37 hasta los 93 DDS en el tratamiento Testigo Absoluto que va del 0.18% al 5.60%.

Inicialmente las curvas de los siete tratamientos restantes se mantuvieron hasta los 44 DDS, a partir de ese momento la enfermedad empezó su descenso hasta los 93 días. Demostrando que los tratamientos aplicados tienen un efecto en el control del patógeno *Phytophthora infestans*.

### Severidad

Según Jorge Romero, 2010 en la investigación denominada Inductores químicos y biológicos de resistencia para el control de *Phytophthora infestans* en papa cultivar Yungay, Lima, Perú. Concluyó que el tratamiento a base de *Bacillus subtilis* tuvo el mayor nivel de enfermedad y el rendimiento más bajo (6,3 ton/ha). En esta investigación el tratamiento a base de *Bacillus subtilis* obtuvo un % de severidad

de 5,73 y un rendimiento total de 38,48 ton/ha ubicándolo como uno de los que menos rendimiento alcanzó.

Según Giovani García, et, al. 2008. En la investigación denominada Sensibilidad de aislamientos colombianos de *Phytophthora infestans* a cuatro fungicidas sistémicos, se evidenció el alto nivel de sensibilidad de 14 de los 15 aislamientos estudiados al ingrediente activo Propamocarb y se obtuvo una reducción promedio de severidad del 26%. En el caso de esta investigación el Propamocarb + Fluopicolide controló el ascenso de la enfermedad y se redujo del 01.47 al 1.25 % de severidad.

Según Oscar Navia, et, al. 1,996. En la investigación Tizón de la papa (*Phytophthora infestans*) y agricultura sostenible: integración de resistencia sistémica inducida y estrategias de manejo integrado, concluyeron que en el cultivar susceptible Waych`a se obtuvo el control más eficiente con los tratamientos a base de *Bacillus subtilis* + Mancozeb, mostrando significativamente una mayor emergencia, un cultivo más uniforme con plantas más altas, vigorosas y sanas, con mayores rendimientos. En el caso de esta investigación se utilizó un tratamiento a base de *Bacillus subtilis* + Propineb, mostrando un cultivo uniforme con plantas altas y vigorosas, no así sanamente. Según la tabla 7 obtuvo un rendimiento de 39.93 ton/ha, siendo una alternativa en el uso para el control de la enfermedad ocasionada por *Phytophthora infestans*.

A través del comportamiento del patógeno *Phytophthora infestans* en los tratamientos evaluados, se diferenciaron tres etapas en la severidad. Estas dependieron de la aplicación de los fungicidas, del triángulo de la enfermedad y de los cambios en el metabolismo de la planta hospedera durante su ciclo fenológico.

Etapa 1: Desde la siembra hasta los 44 DDS.

Durante esta etapa todos los tratamientos tuvieron un incremento de severidad, que varía del 0.02 % al 2.27 % que corresponde a un incremento violento del testigo absoluto.

Etapa 2: De los 51 a los 79 DDS.

Durante esta etapa se puede apreciar un incremento masivo de severidad del patógeno *Phytophthora infestans* en el testigo absoluto (5.43 %), a diferencia del resto de los tratamientos que tuvieron un descenso en la severidad que varía del 0.00 al 0.10 %.

En esta etapa la planta orienta su metabolismo a la formación de tubérculos, por lo que requiere mayor nutrición. Durante todo el ciclo fenológico la planta es susceptible al ataque del patógeno, por lo que es necesario realizar las aplicaciones preventivas y curativas de los fungicidas.

Etapa 3: de los 86 a los 100 DDS.

El comportamiento del patógeno disminuyó hasta la última aplicación de los tratamientos, posteriormente fue muy acelerado el daño de severidad; la papa tiene una dinámica en su ciclo de cultivo y sigue una lógica natural, ya que la planta tiene que morir para que los tubérculos se terminen de formar.

El tratamiento a base de Propamocarb + Fluopicolide es la alternativa óptima para el control de *Phytophthora infestans*, obtuvo un porcentaje del 1.07 de severidad en base a la curva del progreso de la enfermedad.

### **Rendimiento.**

Según Pablo Montejo, 2009. En la investigación realizada en Concepción Chiquirichapa enfocado al manejo del Tizón Tardío causado por *Phytophthora infestans* Mont. de Bary en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.), el tratamiento que mayor rendimiento le produjo fue el fungicida a base de Propamocarb + Fenamidone con una media del 22.17 %.

En el caso de esta investigación el tratamiento a base de Propamocarb + Fenamidone es una de las alternativas a utilizar en cuanto al control del patógeno *Phytophthora infestans* con un rendimiento de 39.76 ton/ha.

El análisis de varianza del cuadro 8, indicó que existió diferencia significativa entre los tratamientos evaluados y para conocer los mejores se realizó una prueba de tukey. Según la tabla 4 los mejores en la producción de rendimiento son los compuestos a base de Propamocarb + Fluopicolide, *Bacillus subtilis* + Propineb, Propamocarb + Fenamidone, *Bacillus subtilis*, Programa, Fluopicolide + Propineb y Cymoxanil + Mancozeb.

Todos los tratamientos a excepción del testigo absoluto presentaron un alto rendimiento en cuanto al control del patógeno *Phytophthora infestans*, siendo los compuestos a base de Propamocarb + Fluopicolide con un rendimiento total de (43.69 ton/ha), *Bacillus subtilis* + Propineb (39.93 ton/ha), Propamocarb + Fenamidone (39.76 ton/ha), Programa (38.89 ton/ha), *Bacillus subtilis* (38.48 ton/ha).

La calidad del tubérculo es proporcional al rendimiento, es decir que el tratamiento con mayor rendimiento produjo la mayor papa de calidad. La razón de este comportamiento se debe a la sanidad de las plantas que mantienen su potencial de producción.

### **Análisis económico**

Según el análisis de retorno marginal de los tratamientos evaluados (cuadro 12) los tratamientos que produjeron el mayor beneficio neto son los compuestos a base de Propamocarb + Fluopicolide con un beneficio neto de Q/ha 161,115.51; *Bacillus subtilis* + Propineb con un beneficio neto de Q/ha 149,237.17; *Bacillus subtilis* con un beneficio neto de Q/ha 145,447.40. Los tratamientos con mayor porcentaje de retorno marginal son los que están a base de *Bacillus subtilis* (30.05 %), Propamocarb + Fluopicolide (4.47%) y *Bacillus subtilis* + Propineb (2.10%).

## 10. CONCLUSIONES

1. El tratamiento a base de Propamocarb + Fluopicolide fue el que obtuvo el mejor control del patógeno *Phytophthora infestans* Mont. de Bary en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad Ioman, bajo las condiciones climáticas de la Aldea San Andrés Chápil, San Pedro Sacatepéquez, San Marcos; presentando un porcentaje de incidencia de 2.41%, un porcentaje de severidad de 1.27% y un rendimiento total de 43,69 ton/ha.
2. Se determinó que existió una correlación lineal negativa moderada entre las variables cuantitativas, tasa de incremento de la severidad (y) y el rendimiento (x) y el coeficiente de determinación fue de -86 %. Por lo que se acepta la hipótesis 2 ya que a mayor grado de severidad es menor el rendimiento.
3. Con respecto al rendimiento de tubérculos, los mejores tratamientos fueron Propamocarb + Fluopicolide, Bacillus subtilis + Propineb, Propamocarb + Fenamidone Bacillus subtilis con un rendimiento total de 43.69 ton/ha, 39.93 ton/ha, 39.76 ton/ha y 38.48 ton/ha respectivamente.
4. Dentro del análisis económico de la tasa de retorno marginal de los tratamientos evaluados (cuadro 12), El mejor tratamiento y más rentable para el productor es el compuesto a base de Bacillus subtilis con un beneficio neto de Q 145,447.40 y un porcentaje de retorno marginal con valor de 30.05%.

## 11. RECOMENDACIONES

1. Realizar investigaciones que incluyan dos o más ensayos experimentales en diferentes localidades, así se podrá determinar a través del análisis económico que tratamiento o fungicida es el más rentable y favorable para el agricultor; así como para el control del patógeno *Phytophthora infestans*.
2. Realizar investigaciones con la mezcla de productos biológicos y químicos – rotar moléculas- para el control del patógeno *Phytophthora infestans* Mont. de Bary. De esta manera se podrían reemplazar a través del tiempo los fungicidas químicos por productos biológicos sustentables que ocasionen menos daño a la naturaleza y la salud de los productores.
3. Al emplear los fungicidas a base de *Bacillus subtilis* + Propineb, los intervalos de aplicación deben de ser de 3 a 4 días, para tener un mejor control de la incidencia y severidad de la enfermedad ocasionada por *Phytophthora infestans* Mont de Bary.
4. En variedades susceptibles de papa como la Loman, se recomienda utilizar como primera opción el tratamiento a base de *Bacillus subtilis*, teniendo como segunda opción los tratamientos a base de Propamocarb + Fluopicolide y *Bacillus subtilis* + Propineb, esto de acuerdo a las condiciones climáticas de la localidad de San Andrés Chápil, San Pedro Sacatepéquez, San Marcos.
5. Las aplicaciones de los fungicidas (9 aplicaciones por ciclo fenológico) deben iniciarse cuando la planta tenga una altura de 15 cm, con intervalos de aplicación de 5 y 7 días, según el daño ocasionado por el patógeno *Phytophthora infestans* y debe de monitorearse con un intervalo de 3 a 7 días de frecuencia.

## 12. BIBLIOGRAFÍA

1. Abad, Gloria and J. Abad. 1995. Historical evidence on the occurrence of late blight of potato, tomato and pearl melon in the Andes of South America. Pages 36-49 in: *Phytophthora infestans* 150. L. J. Dowley, E. Bannan, L.R. Cooke, T. Keane and E. O' Sullivan, eds. Boole Press Ltd., Ireland.
2. Abad Gloria and Abad, J. 1997. Another Look at the Origin of Late Blight of Potatoes, Tomatoes, and Pear Melon in the Andes of South America. *Plant Dis.* 81: 682-688.
3. Agrios. G. 1997. *Plant Pathology*. Fourth Edition. American Press. San Diego California. United States of America. 635 p.
4. Agrios, G.N., 2005. *Plant Pathology (5th Ed.)*. Elsevier-Academic Press. San Diego, CA. 922 p.
5. Agrytec.com. 2010. Cultivo de papa (*Solanum tuberosum*). En línea. Consultado 21 de julio del 2010. Disponible en <http://www.agrytec.com>.
6. Alonzo, F., 2002. *El cultivo de la patata*. 2ª ed. 495. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
7. Andrivon, D. 1995. Comparison of race structure and diversity in populations of *Phytophthora infestans*, 1966-1993. Pages 71-76 in: *Phytophthora infestans* 150. L.J. Dowley, E. Bannan, L.R. Cooke, T. Keane and E. O'Sullivan, eds. Boole Press Ltd., Ireland.
8. Barquero, M.; Brenes, A. & Gómez, L., 2005. Complejidad fisiológica de *Phytophthora infestans*. *Agronomía Costarricense* 29(3): 21-29.
9. Barquero, M.; Gómez, L. & Brenes, A., 2005. Resistencia al Tizón tardío (*Phytophthora infestans*) en clones promisorios de papa en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 29(3): 31-45.
10. BASF, CL. 2004. Características de acrobat MZ: ciclo de vida del tizón tardío (*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary) en papa (en línea). Chile. Consultado 31 mar 2008. Disponible en: [http://www.basf.cl/agro/folletos/acrobat/cont\\_car.html](http://www.basf.cl/agro/folletos/acrobat/cont_car.html).
11. Benalcázar, D. 2007. Control químico de tizón tardío (*Phytophthora infestans*), en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*).
12. Brenes, 2001. Resistencia de aislamientos de *Phytophthora infestans* al Metalaxil en el cultivo de papa en Costa Rica. 13 p.

13. Castañeda, E. 2000. Evaluación de la eficacia del fungicida Positrón Dúo para el control de *Phytophthora infestans*, en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) variedad Ioman en San José Pinula, Guatemala. 61 p.
14. Centro Internacional de la papa. Informe anual 1995. Edición No.25.
15. CIMMYT, 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica. Edición completamente revisada. México D.F. México: CIMMYT.
16. Cuesta, X. (2008). Guía para el manejo y toma de datos de ensayos de mejoramiento de papa. Quito – Ecuador. pp 2 – 24.
17. Christiansen, J. I Curso sobre Tecnología del cultivo de la papa y técnicas de producción de semilla ICTA – PRECODEPA Guatemala. 1980.
18. D’Arcy, W., 1991. The Solanaceae since 1976, with a review of its biogeography. In: Hawkes, J.G.; Lester, R.N.; Nee M and Estrada, N. (Eds) Solanaceae III: Taxonomy, Chemistry, Evolution. The Royal Botanic Gardens Kew, Richmond, Surrey, U.K. Press. Pp. 75-137.
19. Drenth, A.; L.J. Turkensteen, and F. Govers. 1993. The occurrence of the A2 mating type of *Phytophthora infestans* in The Netherlands, significance and consequences. Netherlands Journal of Plant Pathology 99, supplement 3: 57-67.
20. Egan, A.R., A. Murray and S. Mullins. 1995. Past history and future prospects for fungicides for the control of *Phytophthora infestans* on potatoes. Pages 160-170 in: *Phytophthora infestans* 150. L.J. Dowley, E. Bannon, L.R. Cooke, T. Keane and E. O’Sullivan, eds. Boole Press Ltd. Ireland.
21. Erwin, D.; Ribeiro, O. 1996. *Phytophthora Disease Worldwide*. The American Phytopathological Society. p. 562.
22. Erwin, D., and O. Ribeiro. 1996. Introduction to the genus *Phytophthora*. In: *Phytophthora diseases worldwide*. D. Edwin and O. Ribeiro (Eds.). American Phytopathological Society. St. Paul, Minnesota. Pp 1 – 7.
23. Faber, B.; Downer, J. 2007. Evaluación de productos fosforados disponibles comercialmente para el control de *Phytophthora cinamoni*. Chile pp. 25-27.
24. FAO, 2011. Tesoro enterrado: la papa.
25. Flier, W.G.; Turkensteen, L.J.; van den Bosh, G.B.M. 1998. Incremento de la agresividad y variación genética en las poblaciones sexuales de *Phytophthora infestans* en Holanda. En: Compendio de exposiciones XVIII

Reunión de la Asociación Latinoamericana de la papa. Cochabamba, Bolivia. Febrero 9-13, 1998. p. 255-256.

26. Forbes, G. 2001. Aplicación de fungicidas con base a umbrales de la precipitación un ejemplo del papel de la simulación de enfermedades de plantas en el manejo del tizón tardío de la papa. Memorias del taller internacional complementando la resistencia al tizón (*Phytophthora infestans*) en los andes. Editor E. N. Fernández- Northcote. – Gilb, taller Latinoamérica 1 Cochabamba Bolivia – CIP p. 151-155.
27. French, E.R.; G. Forbes y J. Landeo. 1994. Ola migratoria de variantes más agresivas de *Phytophthora infestans* amenazan papa. *Fitopatología* 29: 15-18.
28. Fry, W.E.; S.B. Goodwin, A.T. Dyer, J.M. Matuszak, A. Drenth, P.W. Tooley, L.S. Sujkowskii, Y.J. Oh, B.A. Cohen, L.J. Spielman, K.L. Deahl, D.A. Inglis and K.P. Sandlan. 1993. Historical and recent migrations of *Phytophthora infestans*: Chronology, pathways, and implications. *Plant Dis.* 77: 653-661.
29. Fry, W.E.; S.B. Goodwin, J.M.; Matuszak, L.J.; Spielman and M.J. Milgroom. 1992. Population genetics and intercontinental migrations of *Phytophthora infestans*. *Ann. Rev. Phytopathol.* 30: 107-129.
30. Govers. F. (2001). Misclassification of pest as “fungi” puts vital research on wrong track, *Nature*, pp 411 – 633.
31. Gudiel, VM. 1980. Manual agrícola Superb. 5 ed. Guatemala, Productos Superb. 289 p.
32. Guenther J F, K C Michael, P Nolte (2001) The economic impact of potato late blight on US growers. *Potato Res.* 44:121-125.
33. Harrison, J. 1995. Factors involved in the development of potato late blight disease *Phytophthora infestans*. In: *Potato ecology and modeling of crops under conditions limiting growth.* A. Haverkort, and D. MacKerron (Eds.). Kluwer Academic publishers. Netherlands. p. 216 – 236.
34. Hawkes J.G. & Hjerting J.P, 1969. *The Potatoes of Argentina, Brazil, Paraguay, and Uruguay.* Oxford University Press, Ely House, London. 525 p.
35. Henfling. J. (1987). El tizón tardío de la papa, *Boletín de Información, Técnica cuatro*, Lima – Perú, pp. 4-15.
36. Holdridge, LR. 1959. Mapa de zonas de vida de Guatemala. Guatemala, IICA. 42 p.

37. Holdridge, L, R. Los bosques de Guatemala, Informe General de Silvicultura, manejo y posibilidades industriales de los recursos forestales de Guatemala. San José, Costa Rica. 1950 p.
38. Huilcapi, 2012. Combate de tizón (*Phytophthora infestans*) con activadores de defensas naturales en el cultivo de papa 2 p.
39. Instituto Nacional de Estadística, INE, 2003. Guatemala.
40. ICTA (Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas, GT). 1980. Producción de semilla mejorada. Guatemala. 70 p. [Consulta: 29 de septiembre de 2009].
41. Infoagro.com. 2007. El cultivo de la patata (en línea). España. Consultado 3 feb 2008. Disponible en: <http://www.infoagro.com/hortalizas/patata.htm>.
42. INSIVUMEH, Estación meteorológica sinóptica EFA, San Marcos, Guatemala, 2014.
43. Jacobs Reyes, EF. 1986. Evaluación de resistencia al tizón tardío de 28 materiales clonales de papa y determinación preliminar de los estimadores del monitoreo para la prevención de epidemias causadas por *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. Quetzaltenango. Tesis Ing. Agr. Guatemala, CUNOC - USAC. 91 p.
44. Jaramillo, A. 1989. La papa control de sus enfermedades y plagas en América Latina. Guatemala, Rohm and Haas. 65 p.
45. Jaramillo, S., 2003. Monografía sobre *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary. [en línea] <http://www.reuna.unalmed.edu.co/temporales/memorias/Monografia.pdf>.
46. Koderá, Y. 1990. Fitoalexina. En línea. Consultado 22 de sep. Del 2011. Disponible en [es.wikipedia.org/wiki/fitoalexina](http://es.wikipedia.org/wiki/fitoalexina).
47. Madrigal. A. (2001). Fundamentos del control biológico de plagas, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Bogotá – Colombia, pp.1.
48. Mantecón, J.D., 2006. Pérdidas potenciales causadas por el tizón tardío de la papa (*Phytophthora infestans*) en Argentina durante la última década. Resumen 12º Jornadas fitosanitarias argentinas 28 al 30 de Junio de 2006. Pag 2.
49. Montejo, 2009. Evaluación de 5 programas calendarizados para el manejo de *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary en el sistema de papa (*Solanum tuberosum*) 188 p.

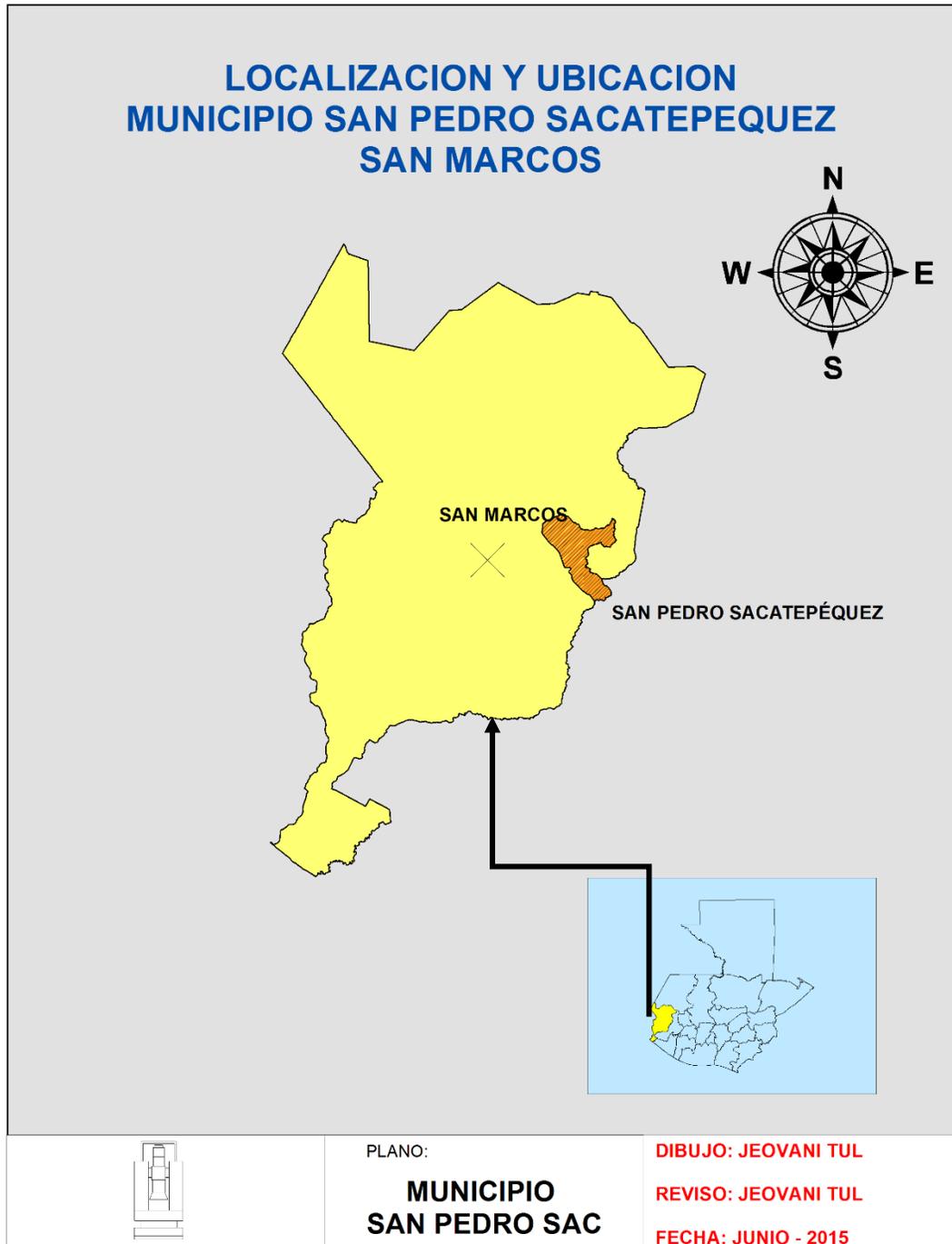
50. Monterroso S, D. 2007. Modelos generales usados para la interpretación de la dinámica de las enfermedades en plantas r. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 8 p.
51. Navia, O.; Equize H. y Fernández-Northcote E.N. 1996. Estrategias para el control químico del Tizón. Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria; Programa de Investigación de la Papa y Cooperación Suiza para el Desarrollo. Serie Ficha Técnica 2. 4 pp.
52. Navia, O., Ortuño, N. y E. Meneses, (2009). Catálogo de bioinsumos, para mejorar la productividad de los cultivos ecológicos y convencionales. Fundación PROINPA- BIOTOP. Cochabamba, pp. 38.
53. Niederhauser, J.S. 1954. Observations on late blight and other potato diseases in Peru. Plant. Dis. Repr. 38: 81-82.
54. Niederhauser, J.S. 1991. *Phytophthora infestans*: The Mexican connection. Pages 25-45 in: *Phytophthora*. J.A. Lucas, R. C. Shattock, D.S. Shaw and L.R. Cooke, eds. Br. Mycol. Soc. By Cambridge University, Cambridge.
55. Océano, MX. 2002. Enciclopedia práctica de la agricultura y ganadería. México. p. 518-523.
56. Parson D. et al. Papas – manuales para Educación Agropecuaria, México. 1987.
57. Parsons. D. (1999). Manual para la educación agropecuaria Papa, Área producción vegetal, Editorial Trillas, México, pp. 17-29.
58. Pérez, W. & Forbes, G., 2008. Manual técnico. El tizón tardío de la papa. Centro internacional de la Papa. Departamento de comunicación y difusión del CIP. Lima, Perú. 41 p.
59. Pérez, L. 2001. *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary: Control mediante fungicidas e inductores de resistencia química en papa. Tesis para optar el grado de Magíster Scientiae. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú. 97 p.
60. Pumisacho y Sherwood. (2002). El cultivo de la papa en el Ecuador, INIAP, CIP, Ecuador, pp. 21-161.
61. Quinatoa, E. 2010. Manejo del tizón tardío (*Phytophthora infestans*) con productos a base de fosfitos en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) pág. 22-26.

62. Ritter. E. y Galarreta. R. (2008). Avances en ciencia y desarrollo de la patata para una Agricultura Sostenible, III Congreso Iberoamericano en Patata, Victoria-Gasteiz, Euskadi, España, pp. 11.
63. Sánchez. C. (2003). Cultivo y comercialización de la papa, colección granja y negocios, Edición Ripalme, Lima – Perú, pp. 31-126.
64. Sansome. E. y Brasier. C. M. (1973). Diploidy and Chromosomal structural hybridity in *Phytophthora infestans*. *Nature*, pp 241; 344 – 345.
65. Schwinn. F. and MARGOT. P. (1991). Control with chemicals, *Advances in plant pathology*, Academic Press Limited. San Diego – USA. pp. 225-265.
66. Thurston, H. D. and O. Schultz. 1981. Late Blight. Pages 40-42 in: *Compendium of Potato Diseases*. W. J. Hooker ed. American Phytopatological Society. St. Paul. MN. 125 p.
67. Trujillo. L. (NCBI. 2003). Oficina general del sistema de bibliotecas y biblioteca Central UNMSM, Disponible Pág. Web: [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/Basic/trujillo\\_lg/cap8.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/Basic/trujillo_lg/cap8.pdf). 3-11-2008.
68. Villafuerte. O. (2008). Portal Agrario Ancash, Última modificación: Junio del 2008, Disponible Pág. Web: <http://www.agroica.gob.pe/papas.shtml>. 3-11-2008.
69. Waterhouse, G. M. 1963. Key to the species of *Phytophthora* de Bary. *Mycol. Papa*. 92. Commonw. Mycol. Inst. Kew, U.K. 22 p.
70. Yáñez. E. (2006). Estudio de línea base de variedades de papa en comunidades de las Provincias de Carchi, Chimborazo y Parroquia Quero en Ecuador.

### 13.ANEXOS

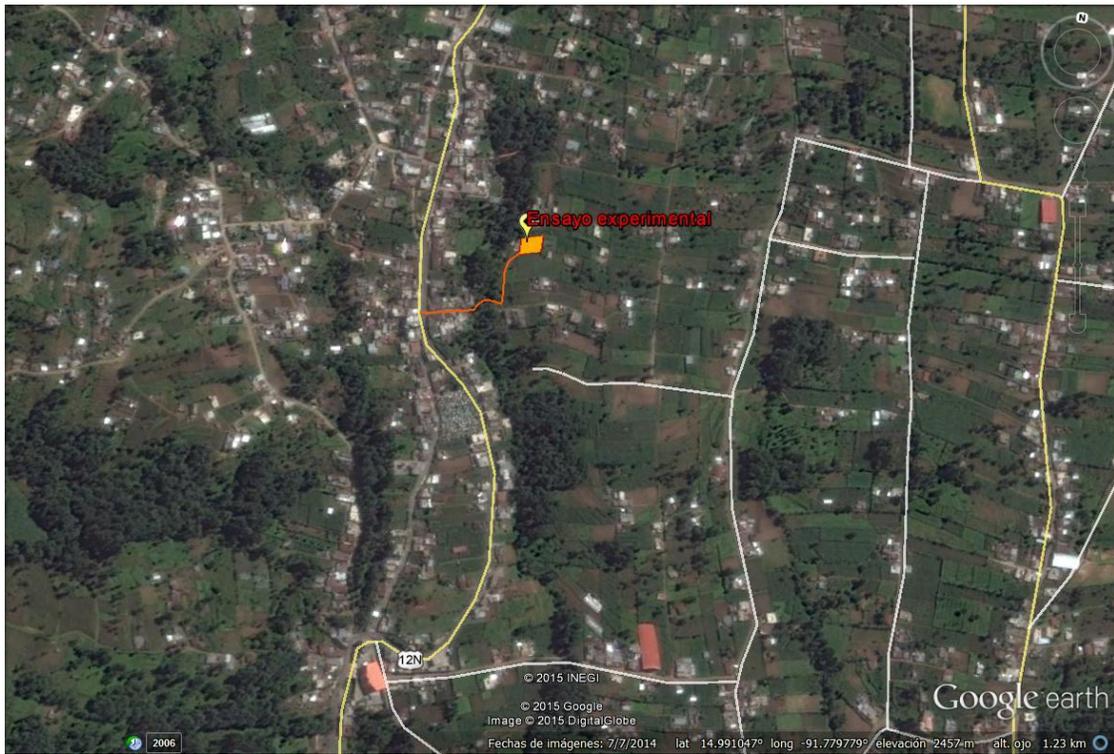
#### MAPAS DE UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Mapa 1. Ubicación geográfica del Municipio de San Pedro Sacatepéquez, S.M.



Fuente: Jeovaní Tul López, 2015.

Mapa 2. Ubicación del ensayo experimental, Aldea San Andrés Chápil.



Mapa 3. Ubicación del ensayo experimental, Aldea San Andrés Chápil.

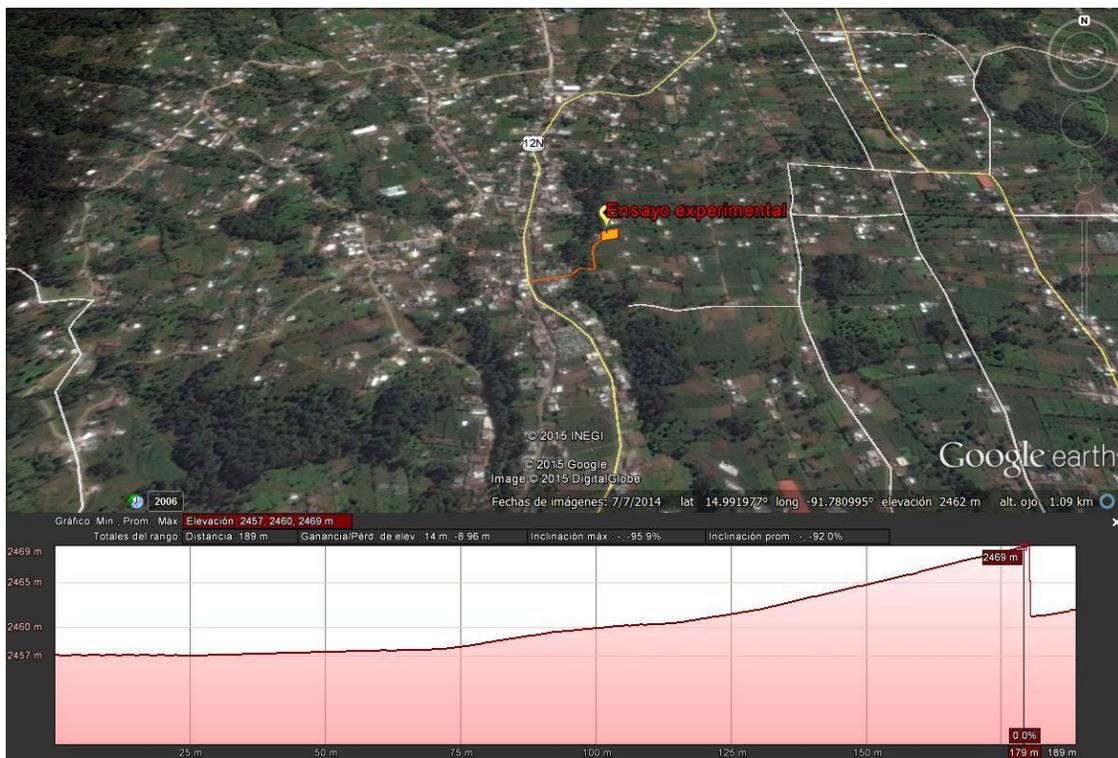


Tabla 4. Hoja para toma de datos.

**EFFECTO DE SEIS PRODUCTOS QUÍMICOS Y UN ORGÁNICO PARA EL CONTROL  
DE TIZÓN TARDÍO (PHYTOPHTHORA INFESTANS MONT. DE BARY) EN EL CULTIVO DE PAPA  
ALDEA SAN ANDRÉS CHÁPIL, SAN PEDRO SACATEPÉQUEZ, SAN MARCOS**

Fecha de lectura:

Días a la siembra:

No. de lectura:

		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
T.1	R1	Tallo															
	R2																
	R3																
	R4																
	R1	Hojas															
	R2																
	R3																
	R4																
T2	R1	Tallo															
	R2																
	R3																
	R4																
	R1	Hojas															
	R2																
	R3																
	R4																
T3	R1	Tallo															
	R2																
	R3																
	R4																
	R1	Hojas															
	R2																
	R3																
	R4																
T4	R1	Tallo															
	R2																
	R3																
	R4																
	R1	Hojas															
	R2																
	R3																
	R4																
T5	R1	Tallo															
	R2																
	R3																
	R4																
	R1	Hojas															
	R2																
	R3																
	R4																
T6	R1	Tallo															
	R2																
	R3																
	R4																
	R1	Hojas															
	R2																
	R3																
	R4																
T7	R1	Tallo															
	R2																
	R3																
	R4																
	R1	Hojas															
	R2																
	R3																
	R4																
T8	R1	Tallo															
	R2																
	R3																
	R4																
	R1	Hojas															
	R2																
	R3																
	R4																

Fuente: Jeovaní Tul López, 2015.

Cuadro 13. Presupuesto total del ensayo experimental en el cultivo de papa

<b>PRESUPUESTO</b>				
<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD MEDIDA</b>	<b>COSTO UNITARIO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
<b>COSTOS DIRECTOS</b>				
<b>MANO DE OBRA</b>				
Preparación del terreno	1	Jornal	50.00	50.00
Siembra	2	Jornal	50.00	100.00
Limpias	1	Jornal	50.00	50.00
Aporque	1	Jornal	50.00	50.00
Fertilizaciones	1	Jornal	50.00	50.00
Aplicación de fungicidas	5	Jornal	50.00	250.00
Cosecha	8	Jornal	50.00	400.00
<b>INSUMOS</b>				
Semilla certificada de segunda	200	Lb	2.50	500.00
Triple 15 - 15 - 15	60	Lb	2.30	138.00
Alfa Cipermetrina	30	ml	0.45	13.50
Gallinaza	300	Lb	0.40	120.00
Propineb	161	gr	0.08	12.88
Cymoxanil + Mancozeb	86.4	gr	0.21	18.14
Propamocarb + Fenamidone	112.32	ml	0.33	37.07
propamocarb + Fluopicolide	84.24	ml	0.57	48.02
Bacillus subtilis	259.2	ml	0.12	29.81
Fluopicolide + Propineb	64.8	gr	0.29	18.79
17 - 0 - 29 Refuerzo	30	Lb	2.30	69.00
Deltametrina.	50	ml	1.33	66.50
Permetrin.	50	ml	0.16	8.00
Thiacloprid, Beta-cyfluthrin.	50	ml	0.29	14.50
Adherente	250	ml	0.09	22.50
Arpías / costales	32	U	1.00	32.00
<b>MATERIALES</b>				
Hojas de papel	50	U	0.10	5.00
Cuaderno	1	U	3.00	3.00
Marcador	1	U	10.00	10.00
Alquiler de bomba	10	U	20.00	200.00
Impresiones	20	U	0.15	3.00
Pita	5	U	7.00	35.00
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>				
Transporte	40	U	2.00	80.00
Alimentación	15	U	15.00	225.00
Otros				200.00
<b>COSTO TOTAL</b>				<b>2859.71</b>
<b>Gasto por (345.60 m<sup>2</sup>)= Q 2,859.71</b>				
<b>Gasto por (10,000.00 m<sup>2</sup>)= Q 82,746.24</b>				

Fuente: Jeovaní Tul López, 2015.

Tabla 5. AUDPC Y rAUDPC de incidencia en el cultivo de papa.

FECHA DE LECTURAS	15/04/2012	11/12/2203	27/07/2395	01/04/2587	05/06/1930	29/01/2122	25/09/2313	21/05/2505	14/01/2697		
INTERVALO DE LECTURAS	7	14	21	28	35	42	49	56	63	93 AUDPC	rAUDPC
TRATAMIENTO	37	44	51	58	65	72	79	86	93		
<b>C+M</b>	10,16	13,28	1,57	3,13	3,13	3,13	0,78	0,00	0,00	259,79	0,05
<b>PRG</b>	8,60	4,69	4,69	6,25	5,47	6,25	6,25	2,35	0,00	396,57	0,07
<b>PR+FE</b>	5,47	6,25	2,35	3,13	3,13	3,13	2,35	1,57	1,57	235,38	0,04
<b>PR+FLU</b>	1,57	1,57	1,57	2,35	2,35	2,35	2,35	0,78	0,78	142,29	0,03
<b>B.S</b>	10,16	10,94	4,69	7,03	7,03	6,25	2,35	1,56	1,56	442,98	0,08
<b>BS+PB</b>	11,72	22,66	7,04	6,25	6,25	5,47	3,91	3,91	3,91	582,59	0,10
<b>FLU+PB</b>	7,82	12,51	5,47	3,13	3,13	3,13	0,00	0,00	0,00	309,05	0,06
<b>T.A</b>	10,94	35,94	50,01	57,82	57,82	57,82	68,75	70,32	70,32	4205,69	0,75

Fuente: Jeovani Tul López, 2015.

Cuadro 14. Costo total de fungicidas.

COSTO TOTAL DE FUNGICIDAS						
Fungicidas	Dosis/ha	Unidad medida	# Apliaciones	Costos Unitarios	Costos Totales	Total
Cymoxanil + Mancozeb	2.00	kg	9.00	210.00	3780.00	3780.00
Programa	0.67	lts	9.00	330.00	1989.90	5598.90
	0.50	lts	9.00	570.00	2565.00	
	0.40	kg	9.00	290.00	1044.00	
Propamocarb + Fenamidone	2.00	lts	9.00	330.00	5940.00	5940.00
Propamocarb + Fluopicolide	1.50	lts	9.00	570.00	7695.00	7695.00
Bacillus subtilis	3.00	lts	9.00	120.00	3240.00	3240.00
Bacillus subtilis + Propineb	3.00	lts	9.00	120.00	3240.00	5040.00
	2.00	kg	9.00	100.00	1800.00	
Fluopicolide + Propineb	1.20	kg	9.00	290.00	3132.00	3132.00
Testigo Absoluto						

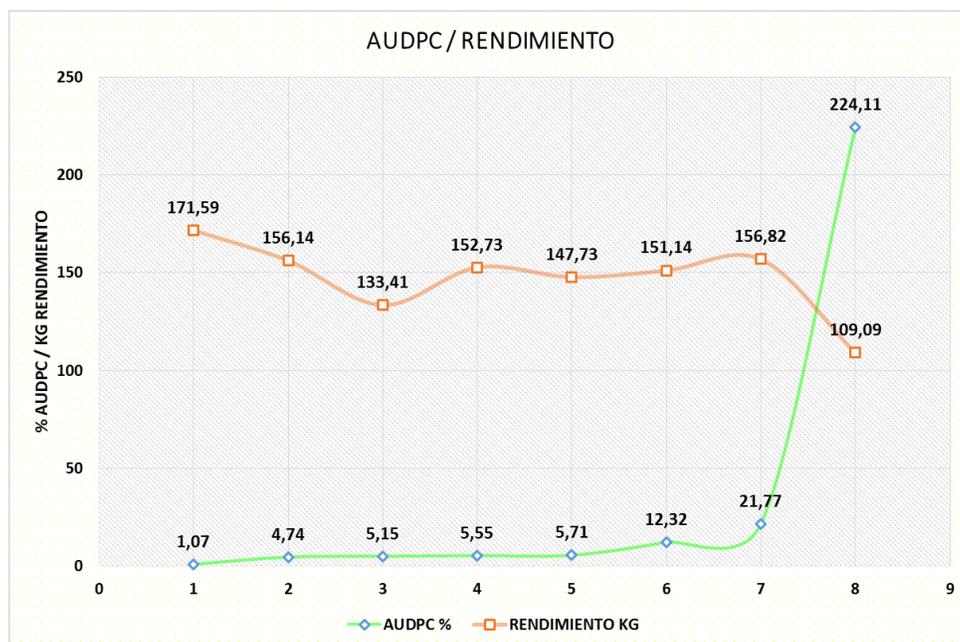
Fuente: Jeovani Tul López, 2015.

Tabla 6. AUDPC Y rAUDPC de severidad en el cultivo de papa.

FECHA LECTURAS	41014	111014	181004	251014	11114	81114	151114	221114	291114		
INTERVALOS DE LECTURA	7	14	21	28	35	42	49	56	63	AUDPC	rAUDPC
TRATAMIENTO	37	44	51	58	65	72	79	86	93		
<b>C+M</b>	0,10	0,40	0,08	0,07	0,07	0,07	0,01	0,00	0,00	<b>5,15</b>	<b>0,00</b>
<b>PRG</b>	0,16	0,11	0,15	0,13	0,12	0,13	0,07	0,03	0,00	<b>5,55</b>	<b>0,00</b>
<b>PR+FE</b>	0,06	0,07	0,09	0,10	0,10	0,10	0,09	0,08	0,08	<b>4,74</b>	<b>0,00</b>
<b>PR+FLU</b>	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,01	0,01	<b>1,07</b>	<b>0,00</b>
<b>B.S</b>	0,10	0,63	0,21	0,26	0,26	0,22	0,06	0,05	0,05	<b>12,32</b>	<b>0,00</b>
<b>BS+PB</b>	0,15	0,97	0,58	0,39	0,39	0,38	0,13	0,13	0,13	<b>21,77</b>	<b>0,00</b>
<b>FLU+PB</b>	0,11	0,41	0,16	0,07	0,07	0,07	0,00	0,00	0,00	<b>5,71</b>	<b>0,00</b>
<b>T.A</b>	0,18	2,27	3,59	4,11	4,11	4,11	5,43	5,52	5,60	<b>224,11</b>	<b>0,04</b>

Fuente: Jeovani Tul López, 2015.

Gráfica 10. Relación AUDPC de severidad y rendimiento en kilogramos de tubérculos en el cultivo de papa.



Fuente: Jeovani Tul López, 2015.

Cuadro 15. Rendimiento total en kg/ha de tubérculos en el cultivo de papa.

TRATAMIENTOS	Rendimiento lbs.	Rendimiento kg	Tn/ha	Rendimiento kg/ha
C+M	293.50	133.41	33.97	30881.73
PRG	336.00	152.73	38.89	35353.54
PR+FE	343.50	156.14	39.76	36142.68
PR+FLU	377.50	171.59	43.69	39720.12
BS	332.50	151.14	38.48	34985.27
BS+PB	345.00	156.82	39.93	36300.51
FLU+PB	325.00	147.73	37.62	34196.13
T.A.	240.00	109.09	27.78	25252.53
<b>TOTAL</b>	<b>2593.00</b>	<b>1178.64</b>	<b>300.12</b>	
<b>PROMEDIOS</b>			<b>37.51</b>	<b>34104.06</b>

Cuadro 16. Cronograma de actividades

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES												
DESCRIPCIÓN DE LABORES	AGOSTO 2014	SEPTIEMBRE 2014	OCTUBRE 2014	NOVIEMBRE 2014	DICIEMBRE 2014	AGOSTO 2015						
PREPARACION DEL TERRENO												
PREPARACIÓN DE LA SEMILLA												
CONTROL FITOSANITARIO DEL SUELO												
SIEMBRA												
LIMPIAS												
FERTILIZACIÓN												
APORQUE O CALZA												
APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS												
TOMA DE LECTURAS												
APLICACIÓN DE INSECTICIDAS												
DEFOLIACION												
COSECHA												
ANALISIS DE RESULTADOS												

Fuente: Jeovani Tul López, 2015.

Cuadro 17. Clave de campo de James para estimar el porcentaje de daño causado por la enfermedad tizón tardío.

Porcentaje de Tizón	Descripción
0	No se observa la enfermedad
0.1	Pocas plantas afectadas y con solo 1-2 manchas pequeñas de tizón en un radio de 10m.
1	Menos de 10 manchas por planta, tizón ligero, suave.
5	Alrededor de 50 manchas por planta o 1-10 folíolos necrosados
25	Todas las hojas infectadas, aunque las plantas tienen aún apariencia normal, se siente el olor peculiar del tizón, una cuarta parte del tejido aparece necrosado, aproximadamente.
50	Todas las plantas están afectadas y la mitad del tejido es necrosado, el campo aparece aún verde con tonos café oscuro.
75	Solo cerca de una cuarta parte del área foliar permanece verde. El campo parece aún verde con tonos café oscuro.
95	Unas pocas hojas permanecen verdes, los tallos se ven verdes.
99	Apenas unas cuantas hojas tienen pequeñas áreas de tejido verde, los tallos se ven necrosados casi en su totalidad.

Modification de: A manual of assessment keys for plant diseases

Imagen 1. Tarjeta del porcentaje de severidad de "James" para *Phytophthora infestans* Mont. de Bary en papa.

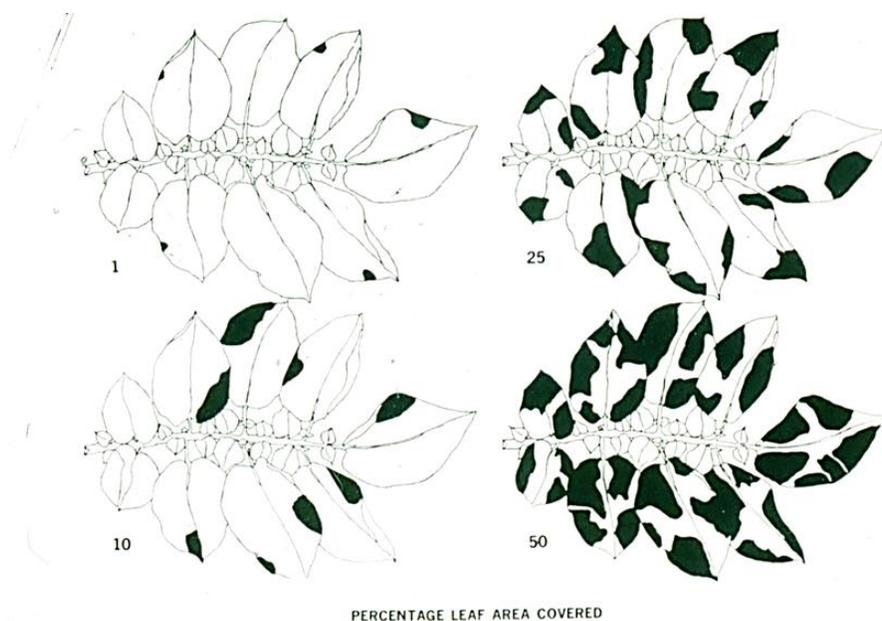


Imagen 2. Ciclo de vida de *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary.



Imagen 3. Semilla certificada de papa de segunda.



Imagen 4. Ensayo experimental con sus trazos respectivos.



Imagen 5. Tallos de papa afectados por el tizón tardío se tornan frágiles y quebradizos.



Imagen 6. Tallos de papa muestran progreso de la enfermedad causada por el tizón tardío (*Phytophthora infestans* Mont. de Bary).



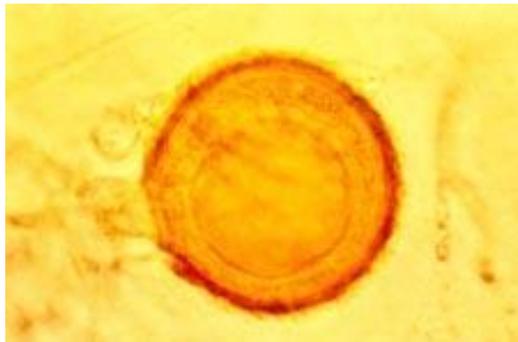
Imagen 7. Lesiones del tizón (*Phytophthora infestans*) en una hoja.



Imagen 8. Manchas necróticas en el haz y envés de hojas de papa, causadas por el tizón tardío.



Imagen 9. Zoosporas producidas por recombinación sexual de diferentes tipos de tizón (*Phytophthora infestans*)



Las zoosporas producidas por recombinación sexual de diferentes tipos de tizón (*Phytophthora infestans*) son genéticamente más diversas que las antiguas cepas de la enfermedad. Su habilidad para sobrevivir en el suelo por largos periodos de tiempo y son una amenaza para los productores de países en desarrollo. Informe Anual 1998 – CIP

Imagen 10. Tizón Tardío en hojas formando un borde amarillo pálido alrededor de la lesión.



Imagen 11. Identificación de plantas seleccionadas para toma de datos.

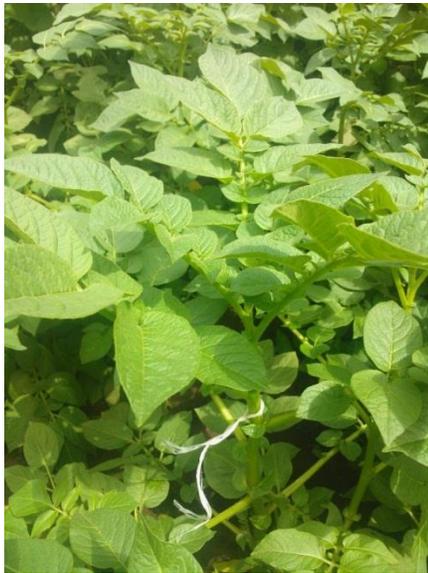


Imagen 12. Plantas de papa mostrando evolución en su desarrollo fenológico.



Imagen 13. Preparación y aplicación de fungicidas en el ensayo experimental.



Imagen 14 Utilización de mayas de nylon para evitar deriva de productos.



Imagen 15. Previo a la defoliación.



Imagen 16. Cosecha y selección de categorías de tubérculos de papa.





Cuadro 18. Producción Nacional de Papa

Departamento	Fincas	Superficie (ha)	Producción (Ton)	Rendimiento Ton/ha
Guatemala	330	767.14	5,494.05	14.62
El Progreso	21	25.71	0.21	16.39
Sacatepéquez	10	5.71	24.27	8.67
Chimaltenango	825	492.86	3,261.50	13.51
Sololá	968	521.43	3,840.86	15.03
Totonicapán	402	141.43	680.64	9.82

Quetzaltenango	5092	2990	23,727.50	16.20
San Marcos	9974	3312.85	21,870.50	13.47
Huehuetenango	7904	4011.43	33,064.45	16.82
Quiché	426	264.28	1,541.91	11.91
Baja Verapaz	95	255.71	2,464.73	19.67
Alta Verapaz	268	350	2,779.41	16.21
Jalapa	665	651.43	3,512.95	11.01
Jutiapa	2	2.85	11.91	8.51

Fuente: Censo agropecuario 2003

Cuadro 19. Datos mensuales de precipitación.

DATOS MENSUALES DE PRECIPITACION EN mm													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2013	20.3	1.6	52.8	35.1	177.4	276.8	234.0	214.8	312.9	241.8	70.6	1.0	1639.1
2014	0.0	0.0	21.2	52.9	279.3	481.2	107.1	75.1	330.8	236.6	2.1	1.2	1587.5

Fuente: INSIVUMEH, EFA, San Marcos. 2014

Cuadro 20. Datos mensuales de días lluviosos.

DIAS LLUVIOSOS													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2013	0.2	0.1	0.3	10	19	22	23	24	27	26	10	01	168
2014	0.0	0.0	11	11	28	27	13	15	27	19	02	02	155

Fuente: INSIVUMEH, EFA, San Marcos. 2014.

Cuadro 21. Producción anual de papa en C.A y Sudamérica (millones de ton).

País	Producción (millones de toneladas)
AMÉRICA CENTRAL Y EL CARIBE	
Bermudas	1
Costa Rica	64
Cuba	364
El Salvador	8

Guatemala	57
Haití	7
Honduras	19
Jamaica	14
México	1231
Nicaragua	28
Panamá	17
República Dominicana	32
AMÉRICA DEL SUR	
Argentina	2000
Bolivia	725
Brasil	2699
Chile	828
Colombia	2594
Ecuador	460
Paraguay	2
Perú	2265
Uruguay	145
Venezuela	350

Fuente: Enciclopedia Práctica de la Agricultura y de la Ganadería.