



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGIA AGRICOLA

MAESTRIA EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL

EFICACIA Y RESIDUALIDAD DE FUNGICIDAS PARA EL CONTROL DE TIZON TARDIO (*Phytophthora infestans* (MONT.) DE BARY) EN EL VALLE DE TOLUCA, MÉXICO

TESIS

**Que como requisito parcial
para obtener el grado de:**

MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCION VEGETAL

Presenta:

RUFINO AARON GOMEZ LOPEZ



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
ORIGINA DE EXAMENES PROFESIONALES

Chapingo, Estado de México, Junio de 2016

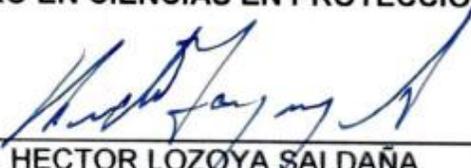


EFICACIA Y RESIDUALIDAD DE FUNGICIDAS PARA EL CONTROL DE TIZON TARDIO (*Phytophthora infestans* (MONT.) DE BARY) EN EL VALLE DE TOLUCA, MÉXICO

Tesis realizada por **Rufino Aaron Gómez López**, bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCION VEGETAL

DIRECTOR:


Ph.D. HECTOR LOZOYA SALDAÑA

ASESOR:


DR. MARCELO ACOSTA RAMOS

ASESOR:


DR. SAMUEL RAMIREZ ALARCON

EFICACIA Y RESIDUALIDAD DE FUNGICIDAS PARA EL CONTROL DE TIZÓN TARDIO (*Phytophthora infestans* (MONT.) DE BARY) EN EL VALLE DE TOLUCA, MÉXICO

FUNGICIDE EFFICACY AND RESIDUALITY FOR LATE BLIGHT (*Phytophthora infestans* (MONT.) DE BARY) CONTROL IN THE TOLUCA VALLEY, MEXICO

Rufino Aaron Gómez López¹, Héctor Lozoya Saldaña²,

RESUMEN

El Tizón tardío de la papa (*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary) es una de las principales enfermedades en las áreas de producción comercial de papa en el mundo. El objetivo de presente trabajo fue evaluar la eficacia y la residualidad de algunos fungicidas comerciales, como para determinar su futura frecuencia de aplicación. En Metepec, Estado de México, se aplicaron cuatro fungicidas con diferente número de aplicaciones (2, 4, 6) a lo largo del ciclo del cultivo. Otro fungicida comercial, como control positivo, se aplicó durante todo el ciclo, y un control negativo, absoluto, no tuvo ninguna aspersión. Con base a la infectividad, el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE), y rendimiento de tubérculo, el mandipropamid fue el fungicida con la más alta eficacia para controlar la enfermedad (74.57%) con el más alto rendimiento total de tubérculo (23.79 t ha⁻¹) y con la mayor proporción de tubérculos de primera calidad (34%). Respecto a la residualidad mantuvo protegido al cultivo durante 24 días hasta con una eficacia del 77.39%, de manera que las frecuencias de aplicación pudieran ser cada 20 días. Mientras que Fluazinam fue el fungicida que obtuvo la más baja eficacia del 9.17% al final del ciclo, un rendimiento total del 8.68 t ha⁻¹, sin embargo solamente el 4.13% pertenece a tubérculos de primera calidad, respecto a la residualidad cuando la enfermedad aun no está avanzada puede proteger hasta 16 días, una vez alcanzado una severidad del 30% protege hasta menos de 8 días. Para el caso de propamocarb y Cymoxanil + Famoxadona obtuvieron una eficacia del 42.64% y 59.40%, respectivamente, de igual manera pueden proteger al cultivo hasta 16 días, cuando la enfermedad aun no está avanzada, una vez que la enfermedad alcance una severidad del 30%, baja la residualidad a menos de 8 días.

Palabras clave: Tizón tardío, *Phytophthora infestans*, eficacia, severidad, ABCPE, fungicidas.

ABSTRACT

Potato late blight (*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary) is one of the main diseases in commercial potato-growing areas worldwide. The objective of this work was to evaluate the efficacy and residuality of some commercial fungicides in order to determine their future application frequency. In Metepec, State of Mexico, four fungicides were sprayed with a different number of applications (2, 4, 6) throughout the growing season. Another commercial fungicide, used as a positive control was sprayed throughout the cycle and an absolute, negative control had no spraying. On the basis of infectivity, the Area Under Disease Progress Curve (AUDPC), and tuber yield, mandipropamid was the fungicide with the highest efficacy to control the disease (74.57%) with the highest total tuber yield (23.79 t ha⁻¹) and more premium-quality tubers (34%). Regarding residuality, it kept the crop protected for 24 days with an efficacy of 77.39%, so the application frequencies could be every 20 days. While Fluazinam fungicide obtained the lowest efficacy of 9.17% at the end of cycle, total yield of 8.68 t ha⁻¹, however just 4.13% belong to Premium-tubers, regarding to residuality when the disease has low severity can protect still 16 days, but once severity up to 30% protect less than 8 days. In cases of propamocarb and Cymoxanil + Famoxadona obtained an efficacy of the 42.64% and 59.40%, in the same way could protect the crop still 16 days while severity of disease was low, but once the severity increase to 30%, the severity was less than 8 days.

Keywords: Late blight, *Phytophthora infestans*, efficacy, severity, AUDPC, fungicides.

DATOS BIOGRAFICOS

Rufino Aaron Gómez López es originario de La lagunita, municipio de San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, nació el 1 de julio de 1988 en San Cristóbal de Las Casas, Chiapas Realizó sus estudios de nivel Primaria en la escuela “Jesús Reyes Heróles”, la Secundaria en la Escuela “General Miguel Utrilla Trujillo”. Los estudios de nivel medio superior y superior los realizó en la Universidad Autónoma Chapingo en Texcoco, Estado de México, en la generación (2004-2011). Se desempeñó como asesor técnico en la empresa Taja Consultores y Constructores y en el H. Ayuntamiento Constitucional de Temascaltepec, Estado de México. Posteriormente realizó los estudios de posgrado en la Maestría en Protección Vegetal en el Departamento de Parasitología Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo (2014- 2015).

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)**, por la beca brindada durante mis estudios de maestría.

A la **Universidad Autónoma Chapingo**, especialmente al **Departamento de Parasitología Agrícola** y al programa de Posgrado en **Protección Vegetal**, por brindarme la oportunidad de continuar con mi preparación académica.

Al **ICAMEX** por las facilidades otorgadas para el establecimiento del experimento.

Al Dr. Héctor Lozoya Saldaña por su interminable ayuda en la presente investigación, como profesor, asesor y dirección de la presente investigación.

Al Dr. Mateo Vargas Hernández por su interminable ayuda en la presente investigación y asesor en la parte estadística del análisis de los datos.

Al Dr. Marcelo Acosta Ramos por su apoyo como profesor y las sugerencias que brindó para la toma de datos y evaluación de los tratamientos

A todos los profesores de posgrado que contribuyeron en mi formación académica, por su dedicación y entrega.

A todos mis amigos de la maestría, especialmente a los amigos de la generación 54: Marco Maidana Ojeda , Dionicio Fuentes Aragón, Eduardo Gutiérrez Jiménez, Abel Saldivia Tejeda y Canek Mendoza. Así mismo a Hugo Colín Marín Lucio Delesma Morales, por su amistad y compartir momentos durante mi estancia.

DEDICATORIAS

A mis Padres

Valeriano Gómez Martínez y Juana Ignacia López Gómez, por darme la vida y el apoyo durante todo el tiempo, la educación e inculcarme los valores morales que hoy poseo. Por su paciencia desde siempre, por su atención y sabiduría que me transmitieron, gracias a la cual, es parte de lo que he logrado hasta ahora académica y personalmente.

A mis Abuelos

Guadalupe López Gómez y Carmela Gómez Vázquez, por su apoyo dedicación y compañía durante mi infancia.

INDICE GENERAL

1	INTRODUCCIÓN	1
2	OBJETIVOS.....	3
3	HIPOTESIS	3
4	JUSTIFICACIÓN.....	3
5	REVISIÓN DE LITERATURA	4
5.1	EL CULTIVO DE LA PAPA.....	4
5.1.1	<i>Origen</i>	4
5.1.2	<i>Importancia social y económica</i>	5
5.1.3	<i>Problemática del cultivo de papa en México</i>	5
5.2	<i>PHYTOPHTHORA INFESTANS</i> “TIZÓN TARDÍO”	6
5.2.1	<i>Origen</i>	6
5.2.2	<i>Características morfológicas</i>	7
5.2.3	<i>Clasificación taxonómica</i>	7
5.2.4	<i>Reproducción</i>	8
5.2.5	<i>Fase asexual</i>	8
5.2.6	<i>Fase sexual</i>	8
5.2.7	<i>Ciclo de vida</i>	10
5.2.8	<i>Sintomatología</i>	12
5.3	CONTROL	15
5.3.1	<i>Control químico</i>	16
5.4	CLASES DE FUNGICIDAS	16
5.4.1	<i>Fungicidas de contacto o protectantes (preventivos)</i>	17
5.4.2	<i>Fungicidas sistémicos (Curativos)</i>	17
5.4.3	<i>Resistencia a Fungicidas</i>	18
5.5	FUNGICIDAS UTILIZADOS PARA EL CONTROL DE TIZÓN TARDÍO	18
6	MATERIALES Y METODOS	22
6.1	LOCALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO	22
6.2	TRATAMIENTOS	23

6.3	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	23
6.4	APLICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS	24
6.5	VARIABLES EVALUADAS.....	25
6.5.1	<i>Severidad de la enfermedad y Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad (ABCPE)</i>	25
6.5.2	<i>Eficacia</i>	27
6.5.3	<i>Residualidad</i>	27
6.5.4	<i>Rendimiento</i>	27
6.5.5	<i>Categorización de los tubérculos</i>	27
6.6	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	28
7	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
7.1	SEVERIDAD DE LA ENFERMEDAD Y ÁREA BAJO LA CURVA DEL PROGRESO DE LA ENFERMEDAD (ABCPE)	28
7.1.1	<i>Severidad</i>	28
7.1.2	<i>Área bajo la curva del progreso de la enfermedad</i>	31
7.2	RENDIMIENTO.....	32
7.2.1	<i>Tubérculos de primera calidad</i>	33
7.2.2	<i>Tubérculos de segunda calidad</i>	35
7.2.3	<i>Tubérculos de tercera calidad</i>	36
7.3	EFIGACIA	37
7.4	RESIDUALIDAD	39
7.5	COSTO DE LAS APLICACIONES E INGRESO TOTAL	41
8	CONCLUSIONES	42
9	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	43

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Fungicidas utilizados en el control de tizón tardío.	21
Cuadro 2. Tratamientos.....	23
Cuadro 3. Escala de evaluación de la severidad de la enfermedad ocasionado por tizón tardío propuesta por el Centro Internacional de la Papa (2000).	26
Cuadro 4. Análisis de varianza de la severidad de la enfermedad.....	30
Cuadro 5. Análisis de varianza del rendimiento total de los tratamientos (ton ha ⁻¹).	33
Cuadro 6. Análisis de varianza del rendimiento del cultivo de papa con tubérculos de segunda y tercera calidad.	35
Cuadro 7. Eficacia de los fungicidas en el control de tizón tardío (<i>Phytophthora infestans</i>), al final del ciclo.	37
Cuadro 8. Eficacia y residualidad de los fungicidas para el control de tizón tardío de la papa (<i>Phytophthora infestans</i>)	39
Cuadro 9. Ingreso total por cada tratamiento.	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo de vida del tizon tardío (<i>Phytophthora infestans</i>)	10
Figura 2. Mancha verde oscura, inicio de la infección por <i>Phytophthora infestans</i>	13
Figura 3. Crecimiento de micelio de <i>Phytophthora infestans</i> en el envés de la hoja.	13
Figura 4. Lesión por <i>Phytophthora infestans</i> en el tallo de la papa.	14
Figura 5. Localización del experimento.....	22
Figura 6. Unidad experimental.....	24
Figura 7. Distribución de los tratamientos en la parcela. Tratamientos 1, 4, 7, 10 (2 aplicaciones);: 2, 5, 8, 11 (4 aplicaciones); 3, 6, 9, 12 (6 aplicaciones); 13 (Testigo comercial: 8 aplicaciones); 14 (Testigo absoluto, sin aplicaciones).	25
Figura 8. Severidad de la enfermedad con dos aplicaciones de fungicidas.	29
Figura 9. Severidad de la enfermedad con cuatro aplicaciones de fungicidas.	29
Figura 10. Tratamiento con seis aplicaciones de fungicidas.	30
Figura 11. Área Bajo la curva del progreso de la enfermedad 40 días después de haber realizado la primera aplicación. *Dos aplicaciones, **Cuatro Aplicaciones, ***Seis aplicaciones.	32
Figura 12. Calidad de los tubérculos en relación con la severidad del daño por tizon tardío. *Dos aplicaciones, **Cuatro aplicaciones, ***Seis aplicaciones.	34
Figura 13. Relación entre la severidad de la enfermedad y el rendimiento por categorías comerciales (primera, segunda y tercera calidad).....	36

1 INTRODUCCIÓN

La papa ocupa el séptimo lugar de importancia con respecto a la alimentación, mientras que por superficie sembrada a nivel nacional ocupa el lugar decimo cuarto y el septimo por su valor de la producción después del maíz grano, sorgo grano, frijol, jitomate rojo y trigo grano (SIAP, 2014).

Las zonas productoras de papa se encuentran en las llanuras y valles del norte del país (Sinaloa, Sonora, Nuevo León, Chihuahua y Coahuila), en el Bajío (Guanajuato y Michoacán) y en los llanos del centro (Puebla y México). La producción en las dos primeras regiones se organiza esencialmente en el marco de una agricultura de tipo empresarial, con paquetes tecnológicos intensivos y riego. Las variedades más importantes son Alpha, Atlantic y Diamante. La zona de producción de variedades de papa “de color” se encuentra en las sierras del centro del país, particularmente en los estados de Puebla y México, donde se cultivan bajo una agricultura tradicional en condiciones de temporal, y rendimientos más bajos que en la producción de riego (Biarnes et al., 1995).

El tizón tardío de la papa, causado por *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, representa una de las principales enfermedades en las áreas productoras de papa en todo el mundo (Erwin y Ribeiro, 1996), ocasionando pérdidas económicas por 2.75 billones de dólares anuales (Salazar et al. 2009).

La mayor variabilidad de las razas fisiológicas de este oomicete se presenta en el valle de Toluca del altiplano mexicano (Goodwin, 1996). Esto es debido a las progenies derivadas sexualmente como consecuencia de la proporción 1:1 de los grupos de compatibilidad A1:A2 que se presenta en el valle (Rivera-Peña, 1995).

En la actualidad diversos factores pueden incrementar la patogenicidad del hongo, entre ellos están la migración a nivel mundial de los dos tipos de apareamiento de *P. infestans*, lo cual implica una reproducción sexual que posiblemente incrementa

la variabilidad genética, que da como consecuencia un amplio espectro de posibilidades ante nuevas condiciones que hacen más difícil el control químico y cultural de la enfermedad (Henfling, 1987).

Otro factor clave en la variación poblacional de *P. Infestans* lo constituye el cultivo continuo de variedades de papa con los llamados genes mayores. Estos pueden contribuir a seleccionar razas patogénicas del hongo que pueden manifestarse con una aparente mayor agresividad frente a cultivos susceptibles (Henfling, 1987).

En el caso de México, la mayor parte de la superficie cultivada se utilizan variedades susceptibles a *P. infestans*, un ejemplo de ello es la variedad Alpha. Lo anterior hace que se lleguen a realizar hasta 20 aplicaciones de fungicidas para controlar el tizón tardío (Robinson, 2006), incrementando los costos de producción y causando contaminación del suelo y medio ambiente.

El 80 % de los fungicidas utilizados en el cultivo de papa se destinan para controlar a *Phytophthora infestans*. Entre los fungicidas más utilizados contra este patógeno destacan el grupo de las fenilamidas, al cual pertenece el metalaxil, cuyas propiedades químicas le confieren alto peligro por su facilidad para dispersarse y contaminar los cuerpos de agua; el grupo de los aromáticos policlorados y el grupo de las imidazolinonas, a los cuales pertenecen el clorotalonil y el fenamidone, respectivamente (WHO 2009).

Los daños ocasionados por este patógeno son una limitante en la producción de papa debido a las pérdidas de rendimiento que puede ocasionar, por lo tanto, se debe buscar alternativas para realizar un manejo integrado de esta enfermedad debido a que algunos de los fungicidas utilizados comúnmente para el control del patógeno ya son deficientes debido a la generación de resistencia. Por esa razón es de suma importancia realizar estudios que permitan evaluar la sensibilidad del hongo a fungicidas con diferentes moléculas y la residualidad de los mismos, y que además sean mas eficientes en su manejo y control del patógeno.

2 OBJETIVOS

- Determinar la eficacia de los fungicidas incluidos en el presente estudio para el control del *Phytophthora infestans*
- Cuantificar la residualidad de los fungicidas con respecto al periodo de reincidencia de la enfermedad post aplicación

3 HIPOTESIS

- Al menos uno de los fungicidas mostrara mejor eficacia para el control de *P. Infestans*.
- Al menos unos de los fungicidas mostrara mayor residualidad y por lo tanto mayor periodo de protección contra el ataque del patógeno.

4 JUSTIFICACIÓN

P. infestans es un patógeno que está ampliamente distribuido a nivel mundial, de importancia económica principalmente en solanáceas, como la papa (*Solanum tuberosum*), y es una amenaza para la seguridad alimentaria mundial por causar el tizón tardío, enfermedad de la papa responsable de la hambruna en Irlanda en el siglo XIX. Causa manchas en hojas, tallos, pecíolos y tubérculos, que conducen a necrosis y muerte (Pérez y Forbes, 2008). Por tal motivo *P. infestans* es uno de los organismos más estudiados en su reproducción, fisiología y procesos infectivos.

El valle de Toluca es considerado el centro de diversidad de *P. infestans* (Fry y Goodwin 1997) debido a que en ese lugar se detecto por primera vez la

reproducción sexual (A1, A2), lo que provoca una mayor diversidad genética del patógeno. Es importante mencionar que en el valle de Toluca se encuentra también varias especies de papas silvestres (*Solanum spp*), las cuales presentan resistencia al tizón tardío, lo que permite una selección de organismos mas agresivos de *Phytophthora infestans* (Niederhauser 1991).

El conocimiento de la residualidad de los fungicidas respaldará el diseño de frecuencia o distanciamiento en el tiempo entre aplicaciones para reducir los costos del control del patógeno.

5 REVISIÓN DE LITERATURA

5.1 El cultivo de la papa

5.1.1 Origen

La papa y los parientes silvestres de *Solanum spp*. se distribuyen a lo largo del continente americano, desde el suroeste de Estados Unidos hasta Chile y Argentina (Hijmans y Spooner, 2001). La papa se considera uno de vegetales cultivados más productivos en el mundo, y es una fuente de nutrición e ingreso para muchas sociedades (Spooner y Hettterscheid, 2005).

La papa es una planta herbácea dicotiledónea y anual que pertenece a la familia de las solanáceas. Sus hojas compuestas, consisten de un peciolo con folíolo terminal, folíolos laterales secundarios y a veces terciarios intersticiales. El tallo aéreo puede ser ramificado, generalmente hueco y triangular en sección transversal; la parte basal es redonda y sólida. Las flores constan de cinco sépalos y cinco pétalos ligados en la base formando una superficie plana de cinco lóbulos. Sus tubérculos son un engrosamiento del estolón y se puede considerar como una parte del tallo adaptada para almacenar nutrientes y como propágulo de reproducción asexual (Beukema y Van der Zaag, 1979; Huamán, 1994).

México no forma parte de la zona de origen de la papa, pero existe una gran diversidad de especies silvestres.

5.1.2 Importancia social y económica.

Ferroni (1981) distingue tres grupos de variedades comerciales en México: con origen en Holanda, E.E.U.U. y variedades mejoradas generadas por el INIFAP. El primer grupo representa alrededor del 50% del cultivo a nivel nacional, 38% el segundo y el último alrededor del 8%.

En el 2014, en México se cosecharon 61,409.34 hectáreas de este tubérculo con una producción de 1,678,833.03 toneladas y un rendimiento promedio de 27.34 t/ha (SIAP, 2014).

5.1.3 Problemática del cultivo de papa en México

Los principales factores que limitan la producción de papa en México son: la insuficiencia de semilla certificada, factores meteorológicos adversos, las enfermedades y las plagas (Rivera, 2001). De los dos últimos aspectos, O'Brien y Rich (1976) describieron en papa 25 virus, 38 hongos, 6 bacterias, 2 micoplasmas, 1 viroide, 68 nemátodos y 128 insectos.

Las enfermedades y plagas representan para el mejoramiento de papa en México, un reto para el desarrollo de las variedades (Niederhauser y Mills, 1953). Algunos agentes causales de enfermedades son de gran importancia económica, entre los que se encuentran los patógenos endémicos en las regiones productoras de papa, al grado de reducir los rendimientos hasta en 50%. Además, determinan altos costos por el uso de plaguicidas que representan hasta 30% del costo total (Rivera, 2001).

Las enfermedades de importancia económica de la papa en México es la marchitez bacteriana causada por *Ralstonia solanacearum*, el nemátodo dorado causado por

Globodera rostochiensis el cual se encuentra disperso en algunas partes de México. La enfermedad de punta morada causada por un fitoplasma que es un problema de especial importancia en México, para lo cual se han efectuado estudios para la identificación de material resistente o tolerante (CIP, 1996; Rivera, 2001). El tizón tardío causado por *Phytophthora infestans* sigue siendo una de las enfermedades más importantes en México y en el mundo, para lo cual, el programa de papa del INIFAP viene realizando esfuerzos para generar variedades con resistencia a dicho patógeno y con buenas características agronómicas.

Dentro de las plagas de importancia en México se encuentra la palomilla de la papa (*Phthorimaea operculella*), la pulga saltona (*Epitrix* sp), el picudo de la papa (*Epicaerus cognatus*), pulgón (*Myzus persicae*). De estas plagas, la palomilla es la más importante desde el punto de vista económico (CIP, 1996; Rivera, 2001).

5.2 *Phytophthora infestans* “Tizón tardío”

5.2.1 Origen

El tizón tardío de la papa, causado por *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, es la enfermedad fungosa más importante del cultivo de la papa; es de carácter destructivo donde quiera que se siembre este cultivo sin aplicación de fungicidas, excepto en áreas cálidas, secas y bajo riego (Hooker, 1980). En el pasado, el mejoramiento genético de la papa para resistencia a enfermedades estuvo orientado hacia la incorporación de genes de resistencia vertical; pero esta resistencia es monogénica y de corta duración debido a la capacidad del patógeno para generar nuevas razas. Después de la tragedia de Europa por el ataque de *P. infestans* entre 1840 y 1860, en los programas de mejoramiento se tuvo un éxito espectacular con la introducción de genes R de *Solanum demissum*; sin embargo, las poblaciones del hongo se modificaron hacia el predominio de razas compatibles, por lo que la resistencia conferida a cada variedad duraba poco tiempo (Henfling, 1987; Niederhauser, 1989). Actualmente se conocen 16 genes R y 16 genes

correspondientes de patogenicidad del hongo, los cuales, si se consideran dos alelos por locus, todas sus combinaciones teóricamente posibles (216) generarían 65536 razas (Ingram y Williams, 1991); esto explica la gran variabilidad genética del hongo. México es considerado como el centro de diversidad genética del hongo (Rivera-Peña, 1988), siendo el valle de Toluca y la Sierra Central Mexicana, el área de dispersión (Niederhauser et al., 1954).

5.2.2 Características morfológicas

Morfológicamente *P. infestans* se caracteriza por presentar esporangios ovoides, elipsoides y limoniformes, semipapilados con pared delgada, y deciduos (Erwin y Ribeiro 1996). Micelio liso, poco ramificado, de 4.2 y 12.5 μm de diámetro, y en promedio de 9.2 μm ; esporangioforos: ramificados en simpodio compuesto, con hinchamientos en las ramas donde nacen los esporangios, de crecimiento indefinido; esporangios ovoides a elíptico, alimonados, con papila inconspicua, deciduos de 12 a 38 x 12 a 33 μm , promedio de 29 x 19 μm . Gametogios: el oogonio es liso, globoso y activo, de 38 a 50 μm , promedio de 40 μm ; el anteridio es anfigeno y pasivo; oosporas lisas, de paredes gruesas esféricas apleróticas de 25 a 35 μm de diámetro, con promedio de 20 μm (Romero, 1993).

5.2.3 Clasificación taxonómica

Bary en 1876, describió taxonómicamente a *Phytophthora infestans* de la siguiente manera (Erwin y Robeiro, 1996).

Reino: Chromista

Phylum: Oomycota

Clase: Oomycete

Orden: Phythiales

Familia: Phytiaceae

Género: Phytophthora

Especie: *infestans*

5.2.4 Reproducción

Phytophthora infestans es un oomiceto que se reproduce asexual y sexualmente, presenta usualmente filamentos y estructuras somáticas ramificadas conocidas como hifas. También exhibe esporas sexuales y asexuales: oosporas, zoosporangios y zoosporas, respectivamente (Manfrim, 2002).

5.2.5 Fase asexual

La producción de oosporas es estimulada por la presencia de sustancias hormonales tipo esterol. Estas esporas son típicamente estructuras de resistencia gracias a su fuerte pared y germinan por medio de un tubo a partir del cual se producen por diferenciación del citoplasma dentro de los esporangios o directamente micelio (germinación directa) (Agrios 1996, Wen-Hsiung 1998). La germinación directa depende de la temperatura y nutrición. Las temperaturas por arriba del óptimo generan crecimiento de micelio que favorecen el desarrollo del tubo germinativo por esporangios. La temperatura optima para el desarrollo del tubo germinativo por esporangios de *P. Infestans* es de 24°C, mientras la diferenciación de zoosporas ocurre a los 12°C. La diferencia de esporangio y la liberación de zoosporas es en presencia de agua, y temperaturas por debajo del optimo que favorecen el crecimiento del hongo (Ribeiro, 1983).

5.2.6 Fase sexual

En la reproducción sexual de *P. infestans* participan anteridios anfígenos y oogonios, estructuras que deben corresponder a tipos de apareamiento diferentes, debido a la condición heterotálica del patógeno (Erwin y Ribeiro 1996).

Phytophthora infestans es un organismo heterotálico con dos tipos de apareamiento, A1 y A2, que se cree proceden de Toluca, México. Hasta el año de 1980, el tipo de apareamiento A2 estaba confinado a México, y se consideraba que solo el tipo A1 era el causante del tizón tardío en las demás regiones del mundo (Goodwin et al. 1994). Sin embargo, a partir de 1981 se presentaron reportes de la distribución del tipo de apareamiento A2 en varios países de Europa, Oriente medio, Asia y Sur América (Fry y Goodwin 1995); lo que ha conducido a que la población A1, haya sido desplazada por una nueva variante A1/A2. Dicha población ha resultado de la reproducción sexual de ambos tipos y se caracteriza por ser altamente virulenta y variable, lo cual le ha permitido adaptarse a nuevos hospedantes y a diferentes condiciones medioambientales (Fry et al. 1993, Fry y Goodwin 1995).

La hibridación se lleva a cabo entre talos de tipos de apareamiento opuesto (A1 y A2), de un talo proveniente del anteridio, del otro el oogonio y la recombinación genética ocurre con el cruce de progenies (Spielman *et al.* 1991). Cuando los tipos de compatibilidad crecen uno cerca del otro, la hifa femenina crece en dirección del anteridio joven y forma un oogonio, el cual después de ser fecundado por el anteridio se desarrolla una oospora dura de pared gruesa. Las oosporas germinan pro medio de un tubo germinal, el cual produce un esporangio, aunque algunas veces forma directamente un micelio (Agrios, 1996). De acuerdo con algunos estudios las hormonas $\alpha 1$, producida por talos de apareamiento A1 induce una reproducción con talos A2. Las diferencias cuantitativas que se han encontrado en interacciones de diferentes talos muestran que A1 generalmente produce mas esporas que A2 (Elliott, 1983).

5.2.7 Ciclo de vida

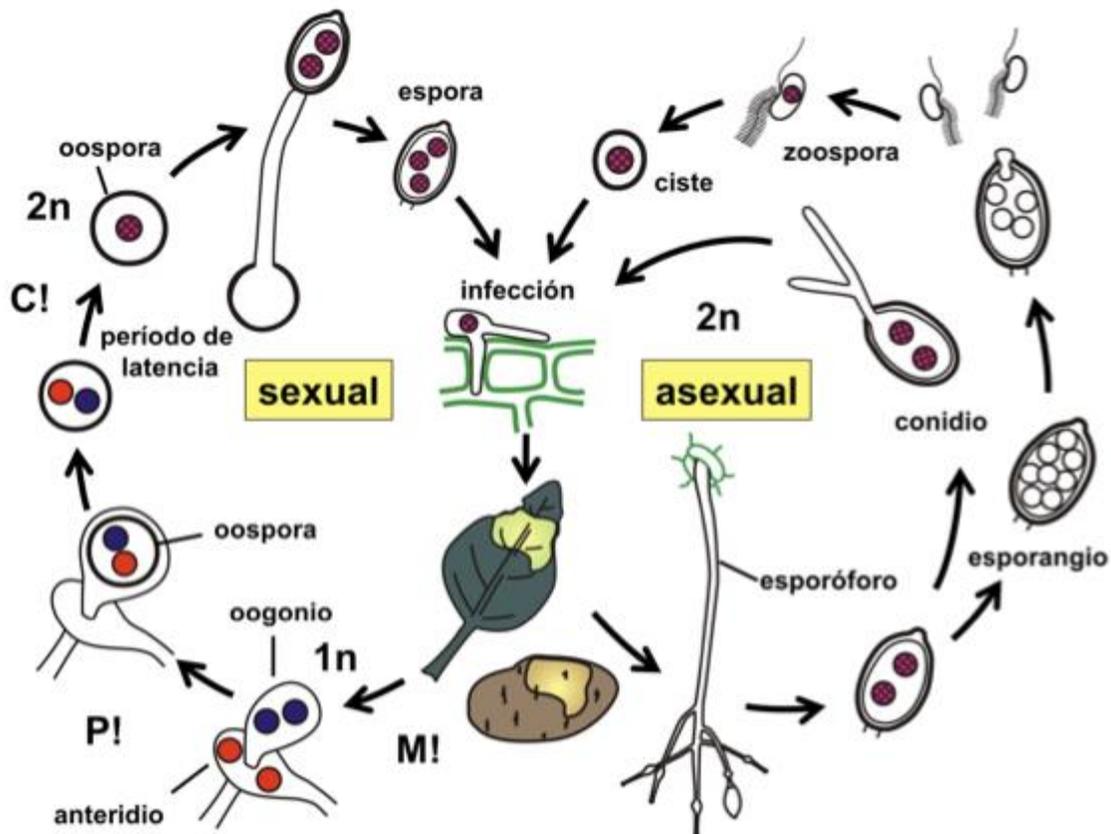


Figura 1. Ciclo de vida del tizon tardío (*Phytophthora infestans*)

Han sido descubiertas tres formas de conservación invernal en *P. Infestans*: supervivencia en el suelo (como saprofita u oosporas), conservación en los tubérculos infectados que quedan en el suelo o en las proximidades del campo y conservación en los tubérculos utilizados para siembra (Roussell *et al.* 1999).

Cuando el oomiceto inverna en forma de micelio en los tubérculos de papa infectados, este micelio se propaga en los tejidos y por ultimo llega a unos cuantos de los retoños que se formaron a partir de tubérculos infectados que se utilizan como semilla, así como a las plantas voluntarias desarrolladas a partir de tubérculos enfermos abandonados en campo. También puede llegar a los brotes que se han formado por las papas infectadas que fueron depositados en los basureros o

montones de desechos. El micelio se propaga hacia el tallo de las plantas con mayor rapidez a nivel de la región cortical, dando como resultado la decoloración y colapso de las células de esa zona. Mas tarde, el micelio se desarrolla entre las células medulares del tallo, pero rara vez se le encuentra en sistema vascular. El micelio crece a través del tallo y llega a la superficie del suelo. Cuando el micelio alcanza las partes aéreas de las plantas produce esporangioforos que emergen a través de los estomas, hojas y del tallo para proyectarse al aire. Los esporangios que se forman sobre esporangioforos se desprenden y son diseminados por la lluvia o bien son llevados por las corrientes de aire cuando han llegado a la madurez. Al depositarse sobre las hojas o tallos húmedos de las plantas de papa, los esporangios germinan y producen nuevas infecciones. El tubo penetra la cutícula de la hoja o entra a través del estoma y forma un micelio que crece profusamente entre las células y el cual envía argos haustorios enrollados hacia el interior de ellas. Las células en las que el micelio se nutre mas tarde o temprano mueren y conforme empieza a degradarse, el micelio se propaga, en la superficie en los tejidos carnosos de las hojas. Al cabo de unos días después de haberse producido la infección, emergen nuevos esporangióforos a través de estomas y hojas para producir numerosos esporangios que son diseminados por el viento e infectan a otras plantas. En un clima favorable, el periodo comprendido entre la aparición de la infección y la formación de los esporangios puede durar tan solo cuatro días y, como consecuencia, pueden producirse en una sola estación de crecimiento de nuevas infecciones y numerosas generaciones asexuales del oomiceto. Conforme avanza la enfermedad, las lesiones previas continúan extendiéndose y aparecen otras, dando como resultado la muerte prematura del follaje de las plantas y una disminución proporcional en la producción de la papa (Agrios, 1996).

La segunda fase de la enfermedad, o sea la infección de tubérculos, se produce en el terreno de cultivo durante un tiempo prolongado de humedad, cuando los esporangios son arrastrados hacia el suelo. Los tubérculos de papa que se localizan cerca de la superficie del suelo son atacados por las zoosporas que han sido liberados y que germinan, y penetran en ellos a través de heridas o lenticelas. En el

tubérculo, el micelio se desarrolla principalmente entre las células y envía sus largos haustorios en forma de hoz hacia el interior de ellas. Los tubérculos rara vez son infectados por el micelio que crece hacia la parte inferior del tallo de una planta progenitora enferma. Sin embargo, si durante la cosecha los tubérculos son contaminados por esporangios todavía presentes en el suelo o bien si esos tubérculos son expuestos en tanto el hongo se encuentre especulando en el follaje parcialmente enfermo de algunas plantas, es muy probable que produzca otra infección que en principio no se hizo evidente, pero la cual más tarde se desarrolla durante el almacenamiento de los tubérculos. La mayoría de los tubérculos que han sido infectados se pudren en la tierra o bien cuando son almacenados (Agrios, 1996).

5.2.8 Sintomatología

P. infestans afecta a las hojas, tallos y tubérculos de la planta de papa. Los síntomas que muestran las plantas enfermas en sus distintos órganos son los siguientes: En las 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%) (Figura 2), 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 esporangioforos y esporangios (Figura 3).



Figura 2. Mancha verde oscura, inicio de la infección por *Phytophthora infestans*.



Figura 3. Crecimiento de micelio de *Phytophthora infestans* en el envés de la hoja.

Si la presión del 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 los 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 (Figura 4).



Figura 4. Lesión por *Phytophthora infestans* en el tallo de la papa.

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 (Thurston y Schultz, 1981). En el tubérculo se puede observar una alteración del color de la corteza que, se torna

ligeramente castaño a rosado, y a veces con áreas hundidas. El parénquima amiláceo adquiere un color castaño claro, si la pudrición es seca el tubérculo se mantiene entero, sin descomponerse, pero cuando se producen infecciones secundarias con bacterias u hongos, el tubérculo toma una consistencia blanda, con evidentes pudriciones cremosas (Calderoni, 1978).

5.3 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. 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, 2003).

En el largo plazo, es más exitoso 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 de la presencia de los dos tipos de apareamiento, sobre el control de la enfermedad, 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 hospederas y actuar como una fuente extra de inóculo (Govers, 2001).

5.3.1 Control químico

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, 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 (Sherwood, 2002).

5.4 Clases de fungicidas

Los fungicidas pueden clasificarse de acuerdo a su modo de acción, sitio bioquímico de acción, grupo, grupo químico y nombre común (FRAC, 2015). Conocer el modo de acción es muy importante para facilitar el manejo de la resistencia de los hongos y el impacto en organismos no objetivos, de este modo se utilizan sabiamente los fungicidas en la agricultura (Yang *et al.*, 2011; Leroux, 1996).

5.4.1 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, 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. 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 (SCHWINN, F. 1991).

Dentro de los fungicidas de contacto mas comunes se encuentra el Mancozeb Cyazofamida, Fluazinam, captan y chlorotalonil.

5.4.2 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. 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 (CREMLYN, 1990).

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, 1995).

El nuevo fungicida estrobirulina, comúnmente llamado Azoxystrobin, tiene una distribución ligeramente diferente, llamado translaminar. Estos compuestos se mueven dentro y fuera de las hojas pero no dentro de la planta. Algunos de los fungicidas sistémicos, como el metalaxil, puede ser absorbido por las raíces de las plantas y translocada a través de la planta, aunque la translocación ocurre solamente de manera acropetala (por el xilema). Actualmente, el fosetil aluminio es el único fungicida verdaderamente sistémico por que puede ser transportada de manera basipetala (floema) y acropetala, ya sea aplicado en la raíz o en las hojas (Lamikanra *et al.*, 2005).

5.4.3 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. (SHERWOOD, 2002).

5.5 Fungicidas utilizados para el control de Tizón tardío

Mandipropamid: Fungicida perteneciente a la clase química de las mandelamidas dentro del grupo de las amidas del ácido carboxílico (CAA) y perteneciente al grupo 40 de productos para el manejo de resistencias (FRAC 40), activo frente a Oomicetos, en particular *Phytophthora infestans* y *Plasmopara viticola*. Fungicida preventivo con alguna actividad curativa, previene la germinación de las esporas, inhibe el crecimiento del micelio y la esporulación. Se une a los tejidos de las plantas

en la superficie cerosa, y una vez unido, se desplaza localmente a la superficie opuesta de la hoja.

El modo de acción principal es la inhibición de la síntesis de la celulosa de la pared celular, actuando a nivel de la proteína PiCesA3 celulosa sintetasa (Blum *et al.*, 2010). Muy activo sobre la germinación de zoosporas y esporangios, inhibe el crecimiento del hongo por lo que su eficacia es máxima en aplicaciones preventivas frente a las enfermedades a controlar; inhibe también el crecimiento del micelio y la formación de haustorios durante la fase de incubación de la enfermedad (Knauf-Beiter & Hermann, 2005).

Fluazinam: Es un fungicida protector que pertenece a la clase química de las fenilpiridinaminas. Posee un amplio espectro de actividad y es efectivo contra enfermedades producidas por hongos de las especies *Botrytis*, *Alternaria*, *Phytophthora*, *Pseudoperonospora*, *Venturia*, *Sclerotinia* y *Colletotrichum*. Este compuesto interrumpe el proceso de producción de energía en la célula fúngica mediante un efecto de desacoplamiento en el proceso de fosforilación oxidativa (Stein, 2002). Su empleo en concentraciones bajas permite reducir la cantidad de fungicida aplicado por hectárea. Inhibe la germinación de esporas, la formación de apresorios, la penetración y el crecimiento de hifas, así como la esporulación (Fernandez – Northcote *et al.*, 1999).

Propamocarb: Es un fungicida sistémico de la familia de los carbamatos que tiene un efecto preventivo. Se absorbe por las raíces y las hojas y se transporta hacia arriba en la planta (movimiento acropetal). Este ingrediente activo tiene actividad contra varios hongos de la familia Oomycete que causan "damping-off" y las enfermedades foliares. El Propamocarb interrumpe la formación de paredes celulares de los hongos al interferir con la síntesis de fosfolípidos y ácidos grasos. Afecta el crecimiento del micelio y también la producción de esporas y la germinación. El modo de acción bioquímico se ejerce a nivel de permeabilidad de la membrana celular, que afecta a su integridad (Neves *et al.*, 2013).

Cymoxanil: Es efectivo en la inhibición del crecimiento micelial y la formación del tubo germinativo por los esporangios o el enquistamiento de las zoosporas de *P. infestans* (Ziogas & Davidse, 1987). Es el único fungicida penetrante con actividad protectante y curativo para el control de moho gris en uvas y otros peronosporales en papa, jitomate, si se aplica solo tiene un periodo de actividad muy corto, dos días a lo mucho, pero es suficiente para que penetre en las hojas de las plantas y controle la infección del hongo. La actividad en post-infección detiene el desarrollo de los hongos durante la incubación. La acción sistémica local ayuda a mejorar el efecto de los fungicidas con los que se combina (Oxon Italia, 2016).

Famoxadona: Inhibe fuertemente la diferenciación esporangial y subsecuentemente la liberación de las zoosporas y además provoca lisis en las mismas en cuestión de minutos, a una concentración de 0.1 mgL^{-1} de Famoxadona, se necesita menos de 20 minutos para destruir el 95% de las zoosporas. En experimentos previos que las zoosporas de *P. infestans* al aplicarles bajas concentraciones de Famoxadona, disminuyen el consumo de oxígeno, pierden movilidad y liberan todo el contenido celular alrededor del medio (Jordan *et al.*, 1999), se ha demostrado que es uno de los inhibidores del transporte de electrones, específicamente inhibiendo la actividad de la enzima Ubiquinol:Citocromo Oxidoreductasa (Cytochrome bc1).

Metalaxil: tiene poco efecto en la germinación del esporangio o de las esporas en la movilidad de las zoosporas. La penetración y la formación de haustorios en la planta de la papa no son afectadas. Metalaxil ejerce su efecto fungitoxico solo en el interior de la planta (Staub *et al.*, 1980). Todas las fenilamidas inhiben severamente la esporulación y en grado menor en el desarrollo del micelio (Bruck *et al.*, 1980). Las fenilamidas interfieren en la síntesis de ARN Inhibiendo a la enzima ARN polimerasa. La mejor redistribución y la mayor persistencia de las fenilamidas en las plantas se logra en las plantas jóvenes en crecimiento activo (Robledo, 2014).

Clorotalonil: Inhibe la respiración de las células del hongo, es decir, la transformación de los hidratos de carbono en energía porque las moléculas de clorotalonil se unen a grupos sulfhidrilos de algunos aminoácidos. Las enzimas que afectan al ciclo de Krebs se desactivan y no se produce ATP (adenosin trifosfato). Al no poder completar este proceso la célula muere. Se considera que el clorotalonil actúa como un fungitóxico no específico, de acción rápida, pertenece al grupo de inhibidores multisitio. Los síntomas generales de su acción sobre las células fúngicas son el retraso del crecimiento del micelio y la inhibición de la germinación de las esporas. El no ser específico explica, en gran parte, su amplio espectro de acción y la no aparición de resistencias genéticas. También posee efecto cicatrizante sobre las lesiones producidas por los patógenos sensibles observándose la cutícula más tersa y una recuperación más rápida de los tejidos dañados (Fernandez-Northcote, 1999).

Cuadro 1. Fungicidas utilizados en el control de tizón tardío.

Contacto	Sistemicos	Translaminares
Zoxamide	Benalaxyl	Fenamidone
Cyazofamid	Furalaxyl	Azoxystrobin
Fluazinam	Metalaxyl	Dimetomorph
Caldo bordeles	Metalaxyl-M (mefenoxam)	Fluopicolide
Hidroxido de cobre	Ofurace	Cymoxanil
Oxicloruro de cobre	Oxadixyl	
Ferban	Iprovalicarb	
Mancozeb	Isoprothiolane	
Maneb	Fosetyl-AI	
Propineb	Propamocarb	
Zineb		
Ziram		
Captan		
Folpet		
Chlorothalonil		
Tolyfluanid		

Fuente: Centro Internacional de la Papa (CIP), 2016.

6 MATERIALES Y METODOS

6.1 Localización del experimento

La presente investigación se llevo a cabo en las instalaciones de la Secretaria de Desarrollo Agropecuario (SEDAGRO) en Metepec, Edo. de México, entre los paralelos geográficos 19°14'38.38" latitud norte y 99°35'22.59" longitud oeste, a una altitud de 2613 msnm, predominando el clima C(w2) templado subhúmedo, con temperatura media anual de 12°C a 18°C y la media del mes mas frio de -3°C a 18°C y el mes mas caluroso de 22°C, clima templado en primavera, templado húmedo con lluvias en verano; semifrío con ligeras lluvias en otoño y frio en invierno (Inafed, 2016) .



Figura 5. Localización del experimento.

6.2 Tratamientos

Durante la primera semana de junio de 2015, se sembró la variedad Gigant, expuesta a la infección natural por el oomiceto. Los tratamientos consistieron en diferente número de aplicaciones semanales (2, 4, o 6) de cuatro fungicidas, más un testigo comercial con aspersiones durante todo el ciclo y uno absoluto, sin producto, sumando un total de 14 tratamientos (cuadro 2).

Cuadro 2. Tratamientos.

Trat	No. Aplicaciones	Fungicida (s)	Dosis recomendada ha ⁻¹ (i.a.)	15 L Mochila aspersora ⁻¹ (mg o mL de i.a.)
1	2	Fluazinam	500 mL	20 mL
2	4	Fluazinam	500 mL	20 mL
3	6	Fluazinam	500 mL	20 mL
4	2	Propamocarb	2 L	75 mL
5	4	Propamocarb	2 L	75 mL
6	6	Propamocarb	2 L	75 mL
7	2	Mandipropamid	1 L	35 mL
8	4	Mandipropamid	1 L	35 mL
9	6	Mandipropamid	1 L	35 mL
10	2	Cymoxanil + Famoxadona	400 g	15 g
11	4	Cymoxanil + Famoxadona	400 g	15 g
12	6	Cymoxanil + Famoxadona	400 g	15 g
13	8	Metalaxil + Clorotalonil	4 L	150 mL
14	0	Sin aplicación	-----	-----

6.3 Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, donde cada uno fue una repetición, y dentro de éste se distribuyeron los tratamientos. La unidad experimental constó de 4 surcos de 4 m de longitud y una distancia entre surcos de

0.8 m. La toma de datos se realizó en la parcela útil la cual consistió de los dos surcos centrales (Fig. 6).

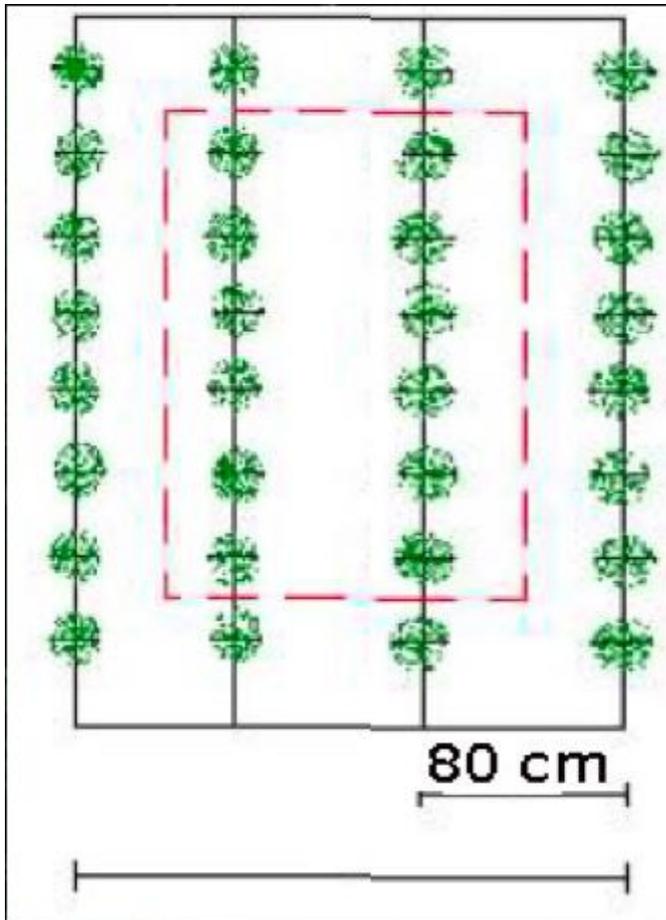


Figura 6. Unidad experimental

6.4 Aplicación de los tratamientos

Se realizó una aplicación de Mancozeb como auxilio a toda la parcela una semana antes de que iniciara la aplicación de los tratamientos, con la finalidad de uniformizar la parcela y evitar que haya alguna lesión que pudiera iniciar la infección.

Una semana después de haber realizado la aplicación de auxilio, comenzaron las aplicaciones de los tratamientos, la cual se realizó 37 días después de la siembra

(dds), posteriormente las siguientes tres aplicaciones se realizaron con intervalos de 8 días.

NÚMERO DE PARCELAS											
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
3	2	9	1	5	12	13	8	3	7	3	2
14	5	7	6	13	7	10	9	12	14	11	
1	12	6	2	8	4	2	14	9	12	13	
8	10	11	3	11	4	5	7	5	4	1	
4	13	10	9	14	11	6	1	6	8	10	
R1			R2			R3			R4		

Figura 7. Distribución de los tratamientos en la parcela. Tratamientos 1, 4, 7, 10 (2 aplicaciones); 2, 5, 8, 11 (4 aplicaciones); 3, 6, 9, 12 (6 aplicaciones); 13 (Testigo comercial: 8 aplicaciones); 14 (Testigo absoluto, sin aplicaciones).

6.5 Variables evaluadas

Ocho días después de la primera aplicación de los tratamientos iniciaron las evaluaciones de severidad de la enfermedad, con los cuales se determinó el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) con la ecuación propuesta por Shaner & Finney (1977). Al final del ciclo del cultivo se evaluó el rendimiento.

6.5.1 Severidad de la enfermedad y Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad (ABCPE)

Para el cálculo de la severidad se utilizó la fórmula de Townsend-Heuberger, 1943:

$$IA(\%) = \frac{\sum(axb)}{NxK} \times 100$$

Donde:

IA= índice de afectación (%)

a= total de plantas en cada grado de la escala

b= grado de la escala correspondiente

N= número total de plantas evaluadas

K= grado máximo de la escala (K=5).

La escala evaluativa empleada de 6 grados, abarca desde 0, que representa plantas asintomáticas hasta 5, donde las plantas exhiben síntomas severos.

Cuadro 3. Escala de evaluación de la severidad de la enfermedad ocasionado por tizón tardío propuesta por el Centro Internacional de la Papa (2000).

Categoría	Descripción
0	Plantas asintomáticas
1	De 1% a 20% de la planta con presencia de lesiones
2	De 20% a 40% de la planta con presencia de lesiones
3	De 40% a 60% de la planta con presencia de lesiones
4	De 60% a 80% de la planta con presencia de lesiones
5	De 80% a 100% de la planta con presencia de lesiones

Con los valores de la severidad final se determinó el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) según Shaner y Finney, 1977:

$$\sum_{i=1}^n [(Y_{i+1} + Y_i) / 2] [(X_{i+1} - X_i)]$$

Donde:

Y_i = Índice de afectación en la *i* observación,

X_i = Tiempo en días a la *i*-ésima observación

n = Número total de observaciones.

6.5.2 Eficacia

Para el calculo de la eficacia de los fungicidas se utilizó la formula de Abbot, 1925.

$$ef (\%) = \left(\frac{(x-y)}{x} \right) * 100$$

Dónde; X, severidad de la enfermedad en el control; y Y, severidad de la enfermedad en el tratamiento.

6.5.3 Residualidad

La residualidad es el intervalo en días en que el fungicida pierde el efecto y se determina con el numero de días en que la eficacia va disminuyendo de manera gradual hasta llegar a cero.

6.5.4 Rendimiento

Considerando que el tizón acabó con el follaje en dos a tres semanas después de la última aplicación, deteniendo la tuberización, la primera cosecha a los tratamientos con dos aplicaciones y al testigo absoluto se realizó a las 5 semanas después de la primera aplicación. Esto es, tres semanas después de la segunda y última aspersion.

6.5.5 Categorización de los tubérculos

Los tubérculos cosechados se categorizaron en tubérculos de primera, segunda y tercera categoría, para lo cual se utilizó la clasificación la escala utilizada por el INIAP, de la siguiente manera: papa comercial de primera categoría (tubérculos mayores a 115 g), papa comercial de segunda categoría (tubérculos entre 85 y 114 g), de tercera categoría (tubérculos entre 55 a 85 g) y cuarta categoría (tubérculos de 35 a 54 g).

6.6 Análisis estadístico

Los datos obtenidos de la severidad y el cálculo del área bajo la curva del progreso de la enfermedad se analizaron mediante análisis de varianza separando los tratamientos que tuvieron dos aplicaciones, cuatro aplicaciones y seis aplicaciones como un diseño de bloques completos al azar, así como pruebas de comparación múltiples de medias con el procedimiento de Tukey con un nivel de significancia al 5%, en cuanto al análisis de varianza y comparación múltiple de medias de Tukey para el rendimiento se analizaron todos los tratamientos. Todos los análisis se realizaron con el paquete estadístico SAS (SAS, 2015).

7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Severidad de la enfermedad y área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE)

7.1.1 Severidad

El análisis de varianza que se realizó para la severidad de la enfermedad mostró diferencias estadísticas altamente significativas ($p < 0.0001$), en la prueba de comparación múltiple de medias para los tratamientos de Fluazinam con 6 aplicaciones, el testigo negativo y Fluazinam con 2 aplicaciones no hubo diferencias estadísticamente significativas, ya que la severidad fue del 100%, 100% y 97.678%, respectivamente; y los que mostraron menor severidad fueron los tratamientos con mandipropamid con 2, 4 y 6 aplicaciones; Cymoxanil + Famoxadona con 2 aplicaciones y el testigo positivo (metalaxil + clorotalonil), ya que al final de la evaluación, en el caso del tratamiento mandipropamid con 4 aplicaciones fue del 25.42% y el Testigo positivo solo alcanzó 41.42% de daño.

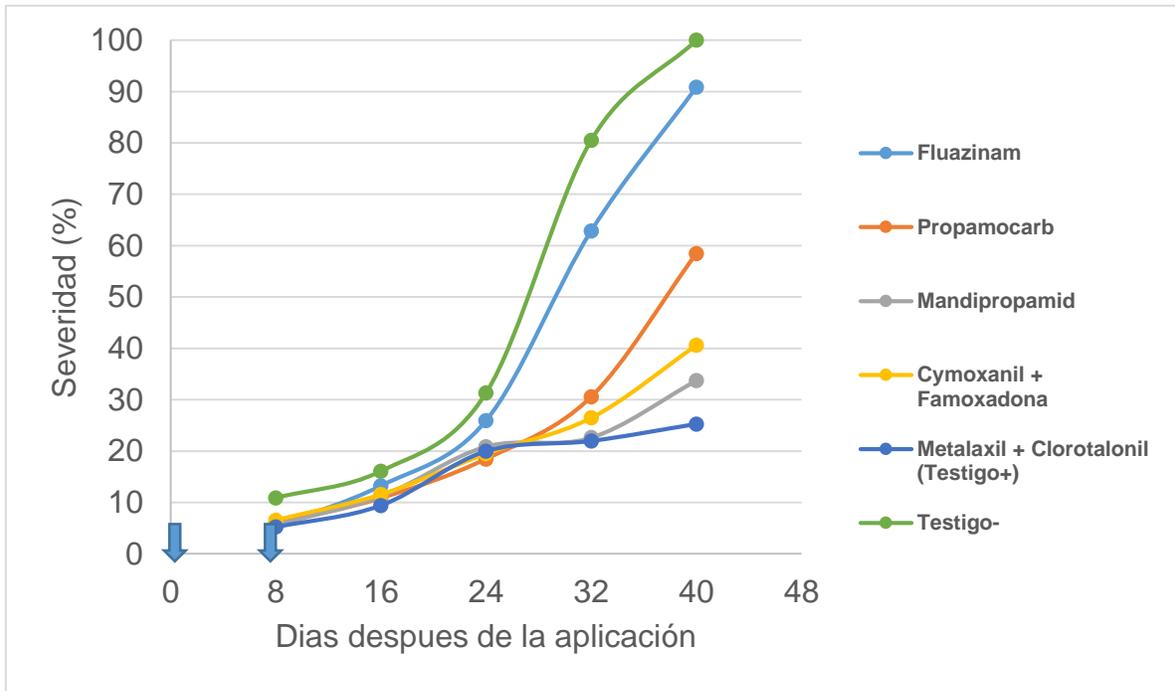


Figura 8. Severidad de la enfermedad con dos aplicaciones de fungicidas. ↓

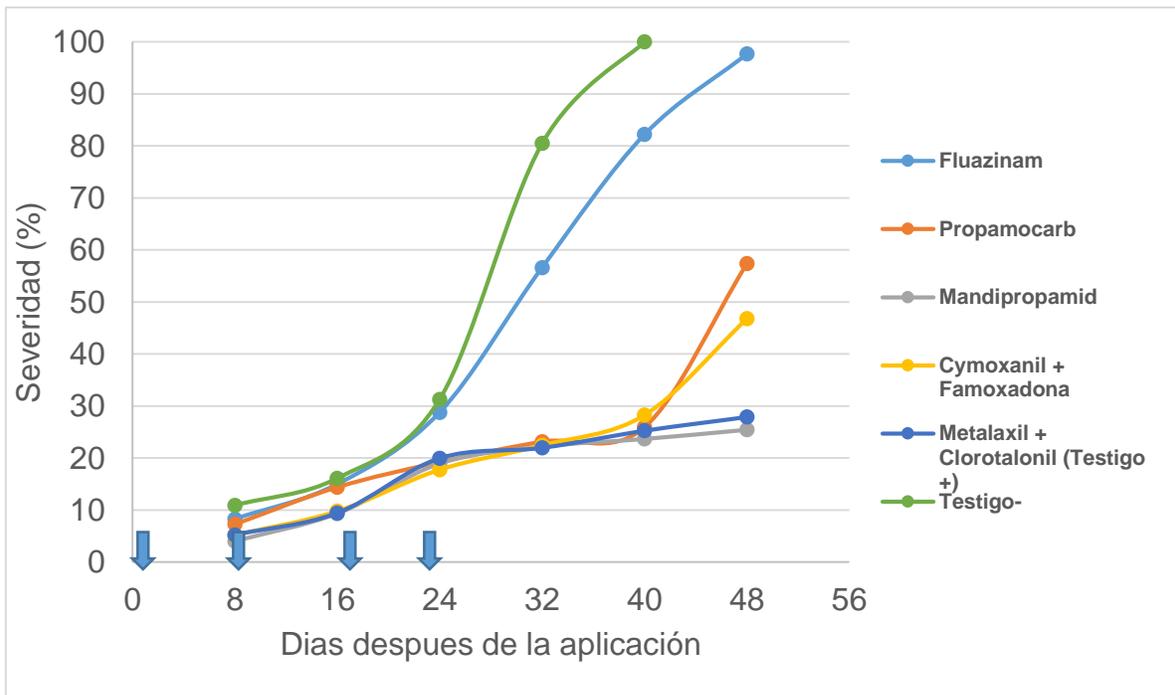


Figura 9. Severidad de la enfermedad con cuatro aplicaciones de fungicidas. ↓

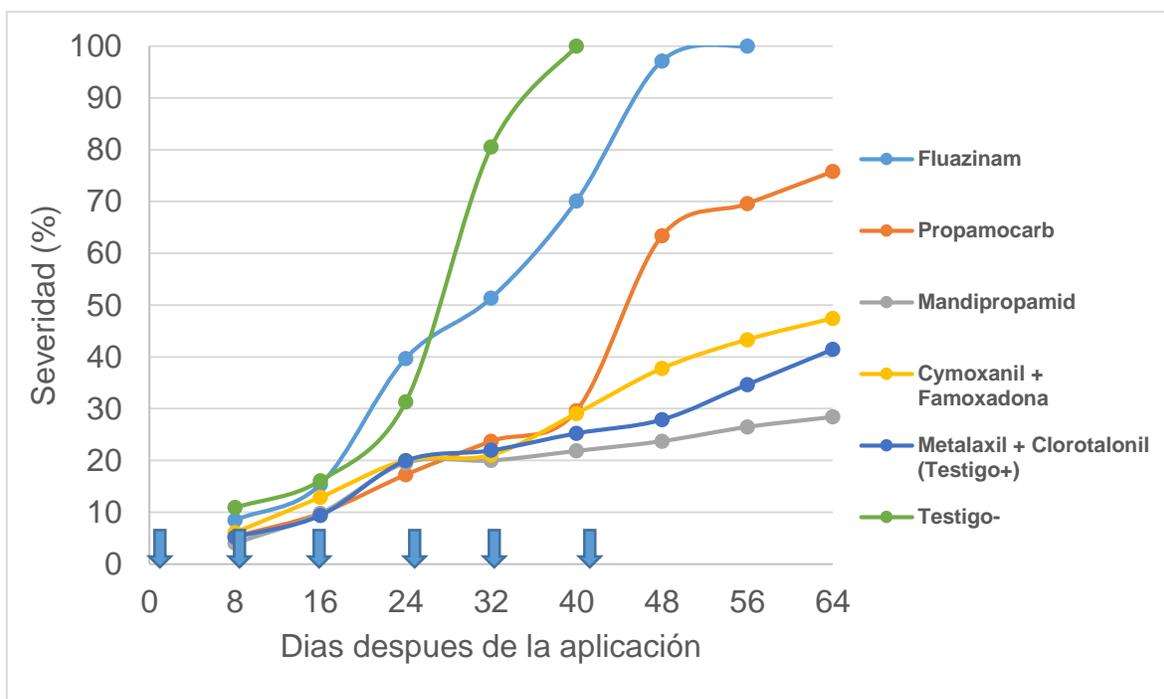


Figura 10. Tratamiento con seis aplicaciones de fungicidas. ↓

El mandipropamid es un fungicida altamente efectivo en la prevención de la germinación de las esporas (Huggenberger et al., 2005), además, es rápidamente adsorbido en la capa cerosa de la superficie foliar de las plantas, también el mandipromamid proporciona una barrera resistente y duradera para la lluvia y también para las enfermedades fúngicas (Lambert, et al., 2008). Recanovic, Et al., 2010. Menciona que el mandipropamid es altamente efectivo para el control de tizon tardío de la papa, incluso cuando la presión de la enfermedad es alta, reduciendo la severidad de la enfermedad hasta 0.8% y proporcionando un intervalo de protección de hasta 12 días en periodos de alto riesgo de infección a una dosis de 0.5 L ha⁻¹.

Cuadro 4. Análisis de varianza de la severidad de la enfermedad.

Trat	Fungicidas	No. Aplicaciones	Severidad	Tukey
1	Fluazinam	2	90.82	ab
2	Fluazinam	4	97.68	a
3	Fluazinam	6	100.00	a

4	Propamocarb	2	58.46	abc
5	Propamocarb	4	57.36	bcd
6	Propamocarb	6	75.80	abc
7	Mandipropamid	2	33.71	d
8	Mandipropamid	4	25.43	d
9	Mandipropamid	6	28.41	d
10	Cymoxanil + Famoxadona	2	40.60	d
11	Cymoxanil + Famoxadona	4	46.80	cd
12	Cymoxanil + Famoxadona	6	47.42	cd
13	Metalaxil + Clorotalonil (testigo+)	8	41.43	d
14	Testigo-	0	100.00	a
	DSH		33.57	

*Medias con la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes; DSH: Diferencia Significativa Honesta tukey ($p=0.05$).

7.1.2 Área bajo la curva del progreso de la enfermedad

Para el análisis de varianza realizado para el ABCPE mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p<0.0001$), para los tratamientos con dos, cuatro y seis aplicaciones. De los fungicidas con únicamente dos aplicaciones, los que tuvieron menor ABCPE fueron metalaxil + clorotalonil (Testigo +) y mandipropamid, con un valor de 532.4 y 594.8 respectivamente, mientras que el tratamiento Fluazinam fue el que tuvo un valor mas alto (1200.8) , en comparación con los demás tratamientos y no presentó estadísticamente significativa con el testigo (1466.6). Para los tratamientos con cuatro aplicaciones, el tratamiento que presentó el menor valor del ABCPE fue mandipropamid con 710.56, mientras que el tratamiento con fluazinam también fue el que presento el valor mas alto con 1884.22. Para los tratamientos con 6 aplicaciones, de igual manera, el que presentó el menor valor fue mandipropamid con 1100.5, seguido del testigo con 1299.5, aunque este último no se suspendió la aplicación.

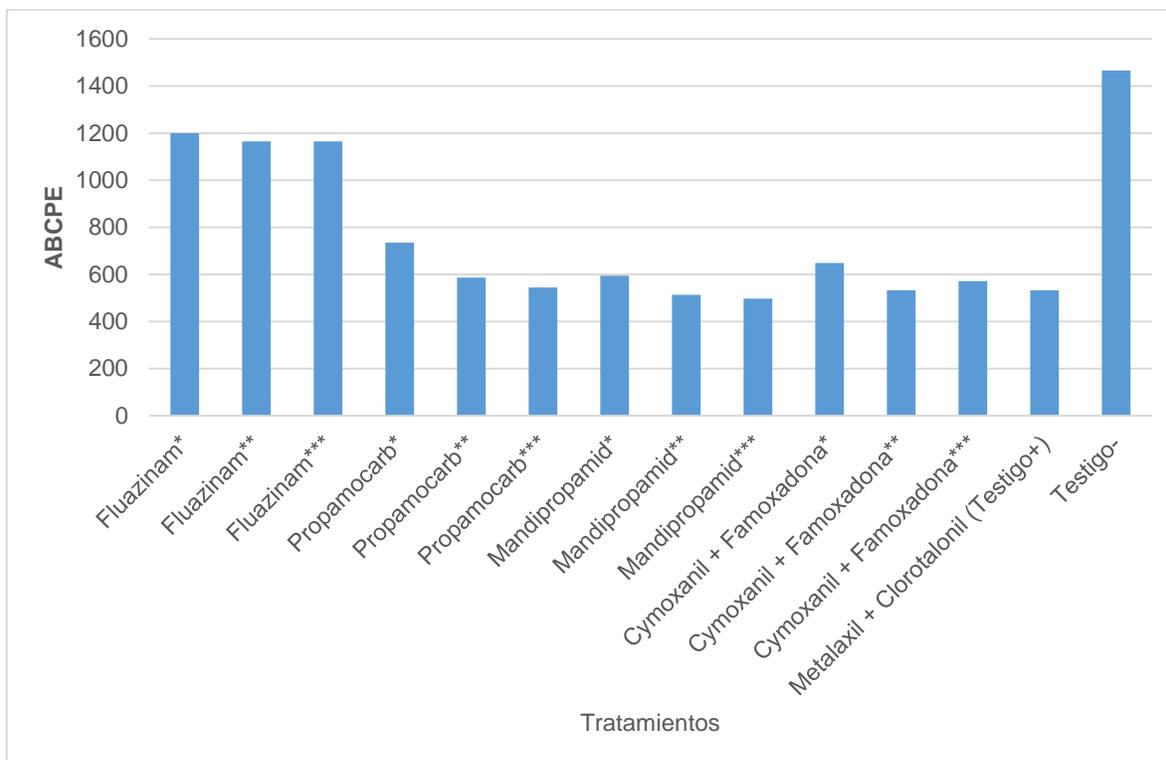


Figura 11. Área Bajo la curva del progreso de la enfermedad 40 días después de haber realizado la primera aplicación. *Dos aplicaciones, **Cuatro Aplicaciones, ***Seis aplicaciones.

Los tratamientos con fluazinam fueron los más dañados; en el tratamiento con seis aplicaciones a pesar de que a los 40 días se le había realizado la última aplicación, se puede apreciar que el daño no disminuyó, y en el caso del tratamiento con mandipropamid con únicamente dos aplicaciones, se puede ver que a pesar de que la última aplicación se había realizado hace 32 días, el daño por la enfermedad no había incrementado (Figura 11).

7.2 Rendimiento

Para el rendimiento, los mejores resultados fueron obtenidos con 6 aplicaciones de mandipropamid, metalaxil + clorotalonil (Testigo +) y cymoxanil + famoxadona, con valores de 18.178 tha^{-1} a 23.795 tha^{-1} . Los rendimientos fueron disminuyendo con estos fungicidas cuando se redujo la cantidad de aplicación a 4, pero similar al tratamiento de 6 aplicaciones de propamocarb.

Cuadro 5. Análisis de varianza del rendimiento total de los tratamientos (t ha⁻¹).

Trat	Fungicidas	No. Ap.	Rend total (tha ⁻¹)	Tukey	1 ^a calidad (tha ⁻¹)	Tukey
1	Fluazinam	2	6.718	d	0.1613	e
2	Fluazinam	4	5.848	d	0.1445	e
3	Fluazinam	6	8.683	cd	0.3586	e
4	Propamocarb	2	8.145	cd	0.4691	e
5	Propamocarb	4	12.703	bcd	1.6684	cde
6	Propamocarb	6	12.383	bcd	2.3633	bcde
7	Mandipropamid	2	14.023	bcd	1.1672	de
8	Mandipropamid	4	16.268	abc	3.3719	bcde
9	Mandipropamid	6	23.795	a	8.3102	a
10	Cymoxanil + Famoxadona	2	10.963	bcd	0.6266	de
11	Cymoxanil + Famoxadona	4	10.978	bcd	1.4457	cde
12	Cymoxanil + Famoxadona	6	18.178	ab	4.0617	bc
13	Metalaxil + Clorotalonil (testigo+)	8	19.84	ab	5.027	b
14	Testigo-	0	6.54	d	0	e
	DSH		9.3897		2.8115	

*Medias con la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes; DSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta Tukey ($p=0.05$).

Los rendimientos más bajos fueron con fluazinam, los cuales también presentaron menor eficacia en el control de la enfermedad, demostrándose la afectación del rendimiento por las altas severidades de la enfermedad.

7.2.1 Tubérculos de primera calidad

En cuanto a tubérculos de primera calidad, se observaron diferencias significativas entre los tratamientos. El mayor rendimiento de primera calidad se observó con 6 aplicaciones de mandipropamid, seguido por el testigo (+) que fueron 8 aplicaciones de metalaxil + clorotalonil. En las tres cantidades de aplicaciones realizadas con fluazinam, fueron observados los rendimientos más bajos de tubérculos de primera calidad (0.1445, 0.1613 y 0.3586 tha⁻¹).

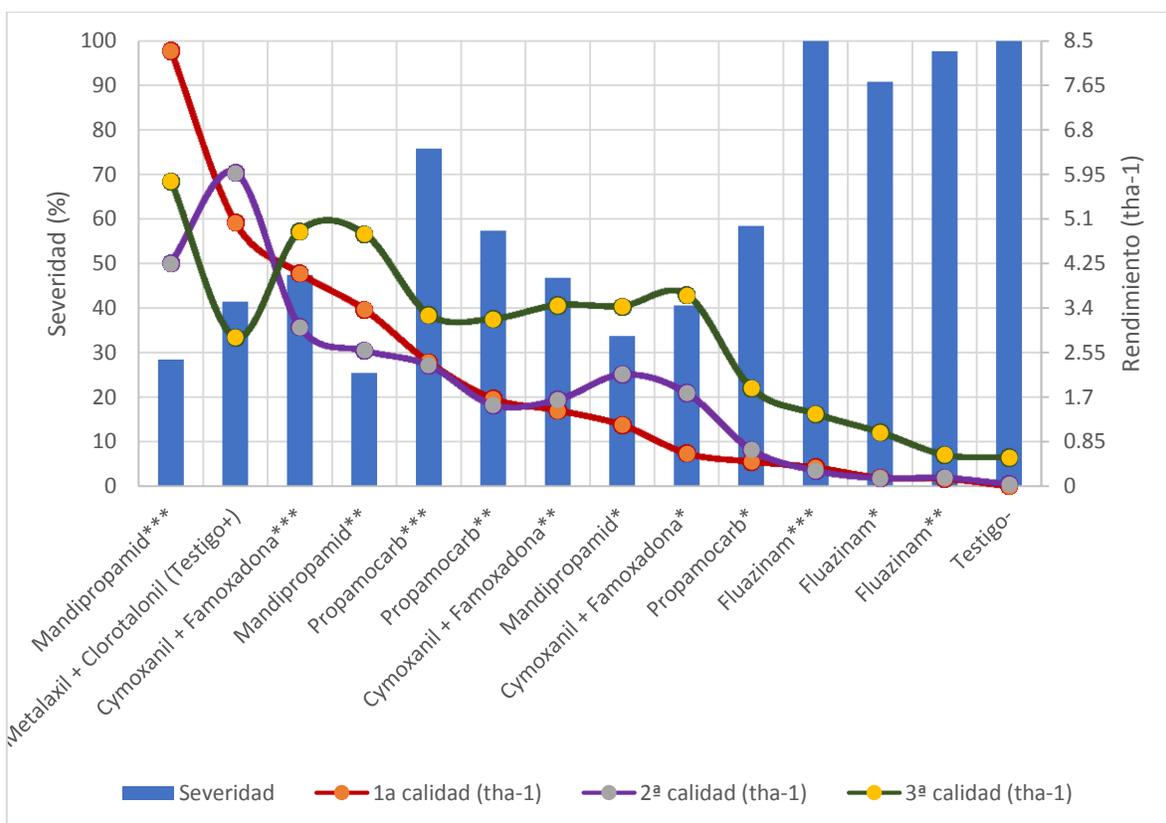


Figura 12. Calidad de los tubérculos en relación con la severidad del daño por tizón tardío. *Dos aplicaciones, **Cuatro aplicaciones, ***Seis aplicaciones.

Mientras incrementa la severidad de la enfermedad, el rendimiento disminuye y la producción de tubérculos de primera calidad puede llegar a ser nula, como es el caso del testigo negativo. La producción de tubérculos en el cultivo de papa depende básicamente de tres factores: a) la cantidad de energía solar interceptada por el cultivo, b) la eficacia de la planta para conversión de dicha energía en materia seca y c) la eficiencia en la translocación de la materia seca a los tubérculos (Midmore, 1981). Las plagas y las enfermedades del follaje afectan al primer factor, pues al reducir el área foliar, se altera la capacidad para captar luz, principalmente por medio de las hojas, y en menor medida por los tallos (Wellik, 1981). Esto a su vez, puede tener un efecto negativo sobre los rendimientos, ya que se genera una respuesta de compensación en la que la planta redistribuye parte de la materia seca para producir hojas nuevas, con el fin de equilibrar el daño generado por la pérdida de tejidos fotosintéticamente activos, lo que implica una posible reducción de la

distribución de la materia seca para los tubérculos (Midmore, 1981). Y en el caso de *Phytophthora infestans*, las áreas necrosadas de ramas, hojas y peciolo crecen rápidamente y en pocos días pueden presentarse valores de incidencia y severidad cercanos al 100% (Zapata y Trillos, 1997). Cuando la enfermedad afecta al follaje, ocasiona un daño indirecto, ya que al reducirse las funciones fotosintéticas hay una disminución en el rendimiento (Urquio y Landaluze, 1961).

7.2.2 Tubérculos de segunda calidad

Para el caso de los tubérculos de segunda calidad, se observaron diferencias estadísticamente diferentes entre los tratamientos. Los tratamientos que produjeron mayor cantidad de tubérculos de segunda calidad fueron metalaxil + clorotalonil (Testigo +) con ocho aplicaciones, seguido de mandipropamid con seis aplicaciones, produciendo un total de 5.980 t ha⁻¹; mientras que, en las tres cantidades de aplicaciones con fluazinam fueron observados los rendimientos más bajos de tubérculos de segunda calidad (Cuadro 6).

Cuadro 6. Análisis de varianza del rendimiento del cultivo de papa con tubérculos de segunda y tercera calidad.

Trat	Fungicidas	No. Ap.	2 ^a calida d (tha ⁻¹)	Tuke y	3 ^a calida d (tha ⁻¹)	Tuke y
1	Fluazinam	2	0.1512	e	1.0254	c
2	Fluazinam	4	0.1609	e	0.5965	c
3	Fluazinam	6	0.2953	de	1.3777	c
4	Propamocarb	2	0.6941	de	1.8672	bc
5	Propamocarb	4	1.5469	cde	3.1875	abc
6	Propamocarb	6	2.3102	bcde	3.2676	abc
7	Mandipropamid	2	2.1328	bcde	3.4277	abc
8	Mandipropamid	4	2.5859	bcd	4.809	ab
9	Mandipropamid	6	4.2535	ab	5.8191	a
10	Cymoxanil + Famoxadona	2	1.7793	cde	3.6445	abc
11	Cymoxanil + Famoxadona	4	1.6504	cde	3.4492	abc
12	Cymoxanil + Famoxadona	6	3.0352	bc	4.8605	ab

13 Metalaxil + Clorotalonil (testigo+)	8	5.9805	a	2.8371	abc
14 Testigo-	0	0.0371	e	0.5461	c
DSH		2.3402		3.2582	

*Medias con la misma letra en la misma columna no son estadísticamente diferente; DSH: Diferencia Significativa Honesta.

7.2.3 Tubérculos de tercera calidad

En cuanto a los tubérculos de tercera calidad mostraron diferencias estadísticamente diferentes entre los tratamientos. Los tratamientos con mayor rendimiento de tubérculos de tercera calidad fueron con mandipropamid y cymoxanil + famoxadona con 6 aplicaciones, seguido de mandipropamid con 4 aplicaciones y del cymoxanil + famoxadona con 2 y 4 aplicaciones, mientras que los rendimientos más bajos fueron observados en los tratamientos fluazinam con las tres cantidades de aplicaciones (Cuadro 6).

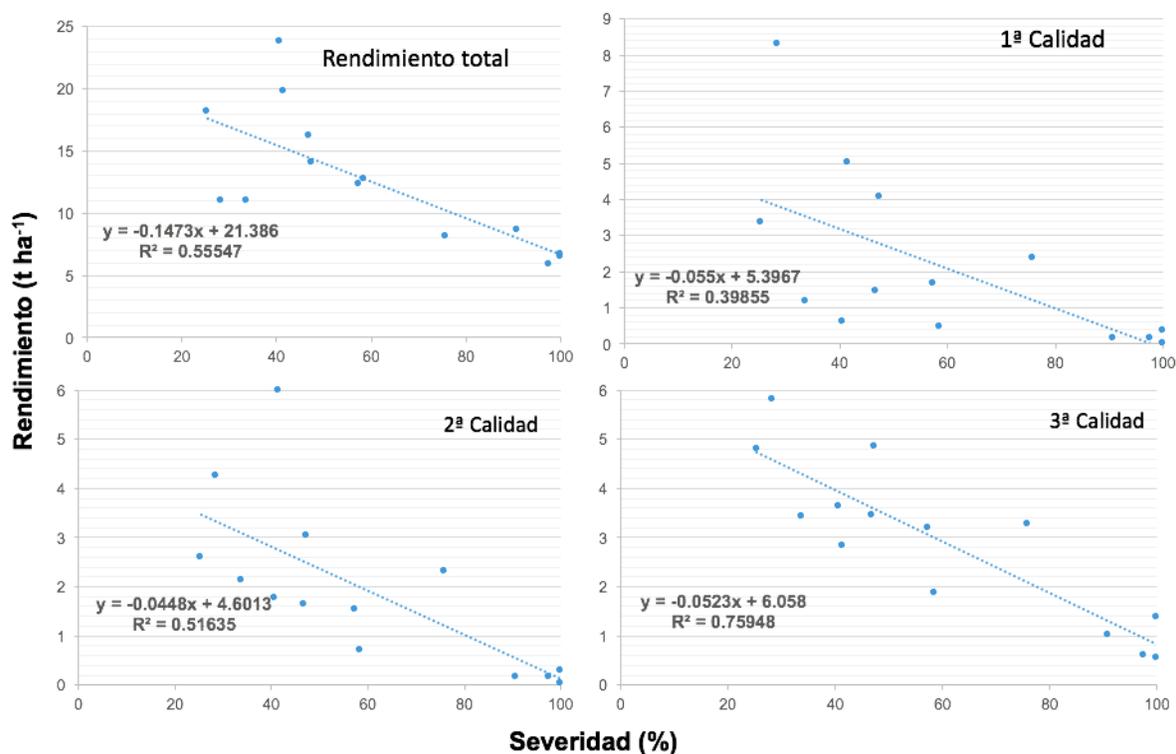


Figura 13. Relación entre la severidad de la enfermedad y el rendimiento por categorías comerciales (primera, segunda y tercera calidad).

Existe una correlación negativa entre la severidad y el rendimiento total y la calidad de los tubérculos, los valores del coeficiente de correlación, para el rendimiento total es de -0.74; existe un correlación fuerte, por lo tanto, cuando la severidad incrementa el rendimiento total disminuye, de igual manera pasa con la producción de tubérculos de primera calidad, existe una correlación negativa (-0.63).

La calidad de los tubérculos esta altamente relacionada con la severidad de la enfermedad, esto debido a que mientras el cultivo tenga un periodo largo con follaje sano, los tubérculos alcanzaran un mejor desarrollo. Romero et al., 2012 menciona que ciclo del cultivo de la papa se debe de dividir en dos periodos, el primero es el tiempo que transcurre desde la emergencia hasta el inicio de la tuberización y el otro es del inicio de la tuberización hasta el quemado del follaje. El primer periodo recae en la formación de tubérculos, si se mantiene libre del oomicete se inducirá la formación de tantos tubérculos como la genética de la planta pueda expresar, el desarrollo de esos tubérculos dependerá si se mantiene el cultivo libre de la tizón tardío.

7.3 Eficacia

La eficacia de control más alta se observó con el fungicida mandipropamid, cuando esta se aplicaba en 2, 4, y 6 aplicaciones, sin haber diferencias significativas entre estas, seguido por las aplicaciones de cymoxanil + famoxadona en las mismas cantidades de aplicaciones y por metalaxil + clorotalonil (Testigo +). Hubo menor eficacia de control con el fungicida fluazinam tanto con 2, 4 y 6 aplicaciones (Cuadro 7).

Cuadro 7. Eficacia de los fungicidas en el control de tizón tardío (*Phytophthora infestans*), al final del ciclo.

Trat	Fungicidas	No. Aplicaciones	Severidad	Eficacia	Tukey
1	Fluazinam	2	90.823	9.177	ab
2	Fluazinam	4	97.678	2.322	a

3	Fluazinam	6	100	0	a
4	Propamocarb	2	58.46	41.54	abc
5	Propamocarb	4	57.36	42.64	bcd
6	Propamocarb	6	75.8	24.2	abc
7	Mandipropamid	2	33.71	66.29	d
8	Mandipropamid	4	25.428	74.572	d
9	Mandipropamid	6	28.405	71.595	d
10	Cymoxanil + Famoxadona	2	40.603	59.397	d
11	Cymoxanil + Famoxadona	4	46.795	53.205	cd
12	Cymoxanil + Famoxadona	6	47.418	52.582	cd
13	Metalaxil + Clorotalonil (testigo+)	8	41.428	58.572	d
14	Testigo-	0	100	0	a
	DSH		33.57		

Medias con la misma letra en la misma columna no son estadísticamente diferentes; DSH: Diferencia Significativa Honesta.

En el caso del fluazinam, en el 2006, en el centro de investigación de Flakkebjerg, se observó un efecto muy bajo para el control del tizón en cuatro tratamientos, a una dosis de (0.4 Lha⁻¹), obteniendo resultados de solo del 20 al 50%. En el 2007, la misma baja eficacia en el control fue visto de nuevo en cinco ensayos en campo (18 – 53%). La variación de la eficacia de los tratamientos con fluazinam se han visto en años anteriores pero nunca en varios tratamientos y en la misma localidad. Las bajas eficacias en el control de tizón tardío también fueron observadas en otros tratamientos en Denmark, en el cual, la presión de la enfermedad fue alta. Un buen control de la enfermedad fue observado en otras localidades de Denmark donde la presión de la enfermedad fue mas moderada. Posteriormente en 2008 en Denmark y Flakkebjerg las recomendaciones en el uso de fluazinam para el control de tizón tardío cambiaron, solamente se recomendaba cuando la presión de la enfermedad era baja y no en periodos de alto riesgo y periodos con crecimiento activo de la enfermedad. Los intervalos de aplicación se recomendaban a 7 días, cuando son periodos de bajo riesgo de infección, hasta 10 días. El uso de fluazinam en Denmark declino drásticamente en el 2008, y nuevos productos llegaron en el mercado (ciazofamida y mandipropamid) reemplazando al fluazinam (Nielsen, 2013).

En el 2007, se estableció un experimento en Kasarske Livade, sitio donde la presión de la enfermedad fue muy alta, sin embargo, las parcelas tratadas con Revus 250 SC mostraron las mas altas eficacias de control en todos los tratamientos (97.1 y 99.0%) (Rekanovic, et al., 2010).

7.4 Residualidad

Cuadro 8. Eficacia y residualidad de los fungicidas para el control de tizón tardío de la papa (*Phytophthora infestans*). Con dos aplicaciones.

Fungicida	Días Después de la ultima aplicación				
	0dda	8dda	16dda	24dda	32dda
Fluazinam	94.68 ^z	86.76	74.08	37.14	9.18
Propamocarb	94.21	89.18	81.55	69.46	41.54
Mandipropamid	94.34	88.81	79.13	77.39	66.29
Cymoxanil + Famoxadona	93.47	88.47	80.51	73.55	59.40
Metalaxil + Clorotalonil	94.80	90.60	80.04	78.05	74.75

^zPorcentaje de eficacia del control de tizón tardío.

Cuadro 9. Eficacia y residualidad de los fungicidas con cuatro aplicaciones.

Fungicida	Días Después de la ultima aplicación			
	0dda	8dda	16dda	24dda
Fluazinam	71.23 ^z	43.38	17.80	2.32
Propamocarb	80.79	76.86	74.07	42.64
Mandipropamid	81.06	77.81	76.34	74.57
Cymoxanil + Famoxadona	82.25	77.57	71.74	53.20
Metalaxil + Clorotalonil	80.04	78.05	74.75	72.11

^zPorcentaje de eficacia del control de tizón tardío

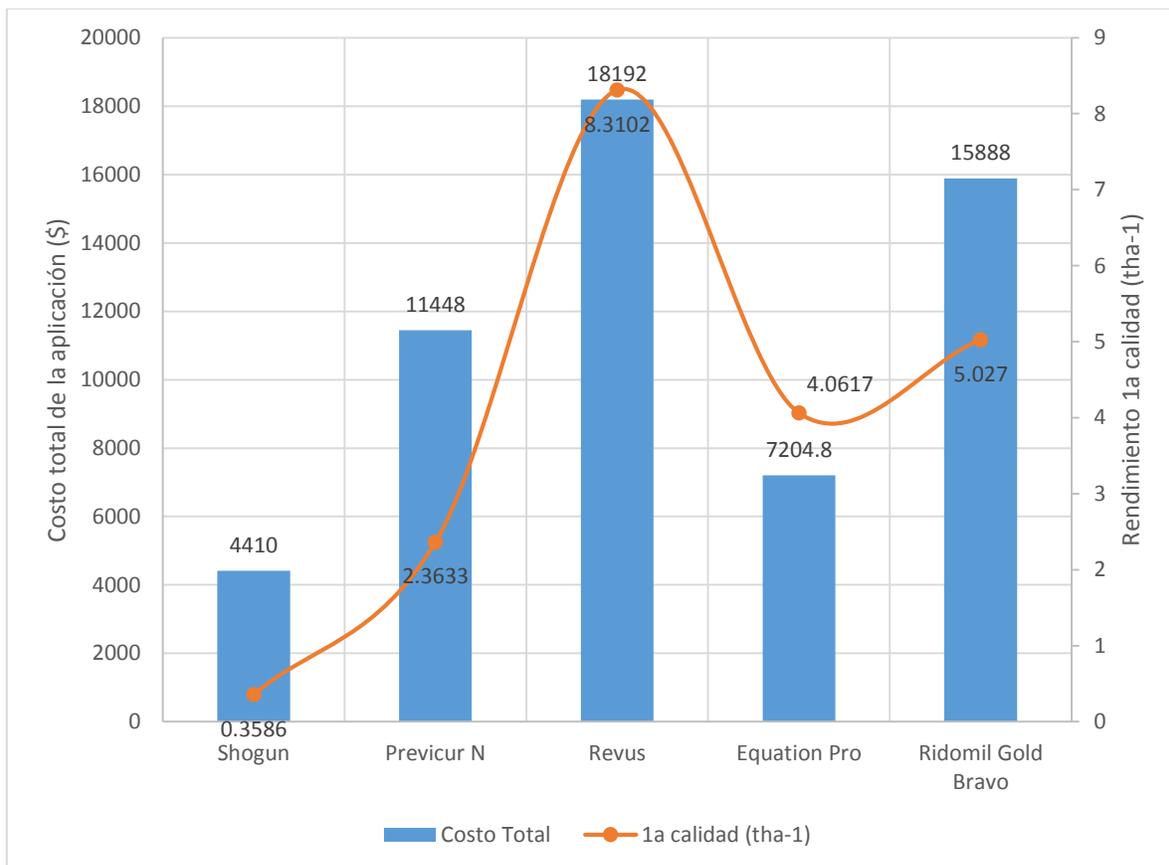
Cuadro 10. Eficacia y residualidad de los fungicidas con seis aplicaciones.

Fungicida	Días Después de la última aplicación			
	0dda	8dda	16dda	24dda
Fluazinam	29.89	2.86	0.00	0.00
Propamocarb	70.38	36.63	30.39	24.20
Mandipropamid	78.15	76.27	73.52	71.59
Cymoxanil + Famoxadona	70.93	62.25	56.68	52.58
Metalaxil + Clorotalonil	74.75	72.11	65.34	58.57

Los fungicidas Mandipropamid y Cymoxanil + Famoxadona tanto con 2, 4 y 6 aplicaciones fueron los que mostraron más días de protección al cultivo, sin embargo, Mandipropamid, en las tres frecuencias de aplicación (2, 4 y 6) a los 24 días después de la última aplicación (DDUA) todavía se obtuvo un 77.39% de eficacia con 2 aplicaciones, 74.57% de eficacia con 4 aplicaciones y 71.59% de eficacia con 6 aplicaciones, mientras que Cymoxanil + Famoxadona disminuyó hasta un 73.55% con 2 aplicaciones, 53.20% con 4 aplicaciones y 52.58% con 5 aplicaciones. El fungicida que presentó menos días de protección fue Fluazinam, en las tres frecuencias de aplicación, a los 24 DDUA se obtuvo una eficacia del 37.14% con 2 aplicaciones, a los 16 días 17.80% con 4 aplicaciones y a los 8 días 2.86% con 6 aplicaciones (Tablas 8, 9 y 10). Por lo tanto para el caso de Fluazinam se recomienda realizar aplicaciones con intervalos de hasta 10 días mientras la severidad de la enfermedad esté por debajo del 30%, esto puede ser a que es un fungicida de contacto, mientras que para el caso de Mandipropamid y Cymoxanil + Famoxadona se puede realizar aplicaciones hasta intervalos de 20 días,

dependiendo de la presión de la enfermedad y las condiciones climáticas. En un estudio llevado a cabo en el Benelux en el 2011 el mandipropamid mostro una eficacia del 84% 18 días después de la aplicación a una dosis de 0.6 Lha⁻¹(Bouwman *et al.*, 2011).

7.5 Costo de las aplicaciones e ingreso total



Ingreso Total (IT): es el capital obtenido por la venta del producto, tomando en cuenta el rendimiento y precio del producto al momento de la venta. Se calcula como sigue:

$$IT = Py * Y$$

Dónde: IT, ingreso total; Py, precio del producto por unidad; Y, rendimiento por hectárea.

Cuadro 11. Ingreso total por cada tratamiento.

Fungicidas	Costo Total(\$)	1ª calidad (tha⁻¹)	\$ kg⁻¹	Ingreso total (\$)
Shogun	4410	0.3586	9*	3,227.4
Previcur N	11448	2.3633	9	21,269.7
Revus	18192	8.3102	9	74,791.8
Equation Pro	7204.8	4.0617	9	36,555.3
Ridomil Gold Bravo	15888	5.027	9	45,243

*Tomando en cuenta el precio promedio de la papa en la central de abastos de la ciudad de México, en el mes de septiembre de 2015.

El tratamiento que produjo mayores ingresos fue con el mandipropamid, donde también se obtuvo la mejor eficacia y por lo tanto el cultivo estuvo mejor protegido y por esta razón produjo, mayor cantidad de tubérculos de primera calidad, generando un ingreso total de \$74,791.8.

8 CONCLUSIONES

- Hubo diferencias en la eficacia de los fungicidas para el control de P. infestans, sobresaliendo el mandipropamid al compararlo con el resto de los

incluidos en el presente estudio, dentro de un mismo número de aplicaciones, tanto en severidad como en AUDPC y rendimiento y calidad de tubérculo.

- En cuanto a residualidad, el que presentó mayor eficacia en el control hasta 24 días después de la aplicación fue el tratamientos con mandipropamid con una eficacia del 77.39%, por esta razón se obtuvieron mejores rendimientos, produciendo mayor cantidad de tubérculos de primera calidad. Por los resultados obtenidos en este estudio, el mandipropamid podría ser aplicado con intervalos de 20 días, sin que el cultivo sea afectado, además disminuyendo el numero de aplicaciones reduce los costos de producción.

9 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Abbott, S. W. (1925). A method of computing the effectiveness of an insecticide. Journal of Economic Entomology 18: 265-267.

Agrios G. N. (1996). Fitopatología. México D.F. (México): Limusa.

Allied Market Research. (2014). Global fungicides market- (type-geographic) size, industry, analysis, trends, opportunities, growth and forecast, 2013-2020. Online: <http://www.prnewswire.com/news-releases/global-fungicides-market-is-expected-to-reach-162-billion-by-2020---allied-market-research-283962651.html>

Beukema, H. P., Van der Zaag, D. E. (1979). Potato Improvement, some Factors and Facts. International Agricultural Center Wageningen, The Netherlands 224 p.

Biarnes, A.; Colin J.; Santiago, M. (1995) Agroeconomía de la Papa en México. ORSTOM, Colegio de Postgraduados. Montecillos, Edo. México, México pp: 3-18.

Blum, M., Boehler, M., Randall, E., Young, V., Csukai, M., Kraus, S., Moulin, F., Scalliet, G., Avrova, A. O., Stephen C. Whisson, S. C., Fonne-Pfister, R. (2010). Mandipropamid targets the cellulose synthase-like PiCesA3 to inhibit cell wall biosynthesis in the oomycete plant pathogen, *Phytophthora infestans*. *Molecular Plant Pathology*, 11(2): 227–243.

Bouwman, J.; Stripstein, C.; Meier-Runge, F.; Gonzalez, F. (2011). Revus Top A new product for the control of *P. Infestans* and *Alternaria* in potatoes in Europe. St. Petersburg (Russia). PPO-Special Report no. 15 (2012), 123-130pp

Calderoni, A.V. (1978). Enfermedades de papa y su control. Ed. Hemisferio Sur Argentina. Pp:19.

CIP (Centro Internacional de la Papa). (1996). Principales Enfermedades, Nemátodos e Insectos de la Papa (CIP). Lima, Perú, pp: 14-16.

Cremllyn, R. (1990). Plaguicidas modernos y su acción bioquímica, Editorial Limusa, México, pp. 356

Egan, A.; Murray, A.; MULLINS, S. (1995). Past history and future prospects for fungicides for the control of *Phytophthora infestans* on potatoes, Boole in conjunction with Teagasc, pp. 160-170

Elliot, G.H. (1983). Physiology of asexual sporulation and spore germination in *Phytophthora*. *Phytophthora. Its Biology, Taxonomy, Ecology and Pathology*. D.C. Erwin, S. Bartnicki-Garcial and P.H. Tsao (eds). APS PRESS. The American Phytopathology Society. United States Of America. Pp: 75.

Erwin, D.; Ribeiro, O. (1996). *Phytophthora* Disease Worldwide. The American Phytopathological Society. p. 562.

Fernández-Northcore, E. N., Navia, O., Gandarillas A. (1999). Bases de la estrategia de control químico del Tizón tardío de la papa desarrolladas por PROINPA en Bolivia. *Revista Latinoamericana*. 13 pp.

Ferroni, M. A. (1981). El potencial de la papa como recurso alimenticio y como fuente de ingreso. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Programa Regional Cooperativo de Papa. Toluca, Edo. de México, México. 30 p.

Fry, E.W.; Goodwin, S.B.; Dyer, A.T.; Matuszak, J.M.; Drenth, A.; Tooley, P.W.; Sujkowski, L.S.; Koh, Y.J.; Cohen, H.A.; Spielman, J.J.; Deahl, K.L.; Inglis, D.A.; Sandlan, K.P. (1993). Historical and recent migrations of *Phytophthora infestans*: Chronology, pathways, and implications. *Plant Disease* 77: 653-661.

Fry, E.W., Goodwin, S.B. (1995). Recent migrations of *Phytophthora infestans*, Andosullivan E, editores. *Phytophthora infestans* 150. Dublin (Irlanda): Boole Press. Pp. 89-95.

Goodwin, S.B., Cohen, B.A., Fry, W.E. (1994). Pan global distribution of a single clonal lineage of the Irish potato famine fungus. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 91: 11591-11595.

Grube, A., Donaldson, D., Kiely, T., Wu, L. (2011). Pesticides industry sales and usage, 2006 and 2007 market estimates. United States Environmental Protection Agency. 33 p.

Govers, F.; Lee, T.; Robold, A.; Testa, A.; Klooster, J. W. (2001). Mapping of avirulence genes in *Phytophthora infestans* with amplified fragment length polymorphism markers selected by bulked segregant analysis. *Genetics* 157: 949–956.

- Henfling, J. W. (1987). El tizón tardío de la papa *Phytophthora infestans*. Segunda edición. Centro Internacional de la papa. Lima, Perú (Boletín de Información Técnica No. 4). 25 p.
- Hooker, W. J. (1980). Compendio de enfermedades de la papa. T.A. Centro Internacional de la Papa (CIP), Lima, Perú. 166p
- Huerta, M. E. (1977). Aparición cronológica de las razas fisiológicas de *Phytophthora infestans* (Mont.) De Bary causante del Tizón tardío de la papa y del tomate, Tesis profesional. Instituto Politecnico Nacional. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. México, D.F. pp: 65.
- Huggenberger, F., Lamberth, C., Iwanzik, W. (2005). Mandipropamid, a new fungicide against oomycete pathogens. *Proceedings of the BCPC International Congress on Crop Science & Technology, Glasgow, UK*. Alton, UK: BCPC, 87–92.
- INAFED. (2016). Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México. Online: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM15mexico/municipios/15054a.html>
- Ingram, D. S., Williams, P. H. (1991). *Phytophthora infestans*, The Cause of Late Blight of Potato. Eds In: *Advances in Plant Patology*. Vol. 7, Academic Press. 273p.

Jaramillo, S. (2003). Monografía sobre *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 137 p.

Knauf-Beiter, G., Hermann, D. (2005). Site of action of mandipropamid in the infection cycle of target fungi. Proceedings of the BCPC International Congress Crop Science & Technology, Glasgow, UK, 99-104p.

Lamberth, C., Jeanguenat, A., Cederbaum, F., Mesmaeker, A., Zeller, M., Kempfc, H. J. and Zeunc, R. (2008). Multicomponent reactions in fungicide research: The discovery of mandipropamid. *Bioorganic and Medicinal Chemistry*, 16: 1531-1545.

Lamikanra, O., Iman, S., Ukuku, D. (2005). Produce degradation: pathways and prevention. Online:
https://books.google.com.mx/books?id=giHNBQAAQBAJ&pg=PA355&lpg=PA355&dq=fosetil-al+the+truly+systemic+fungicide&source=bl&ots=dV6iQJYx50&sig=_gBk8Q54j4zbARZmuE-da7RYTc8&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwil0J3ogobNAhVRxWMKHbMyADoQ6AEIKjAC#v=onepage&q&f=false. (Ultima consulta Abril, 2016).

Leroux, P. (1996). Recent developments in the mode of action of fungicides. *Pesticide Science* 47 (2): 191-197.

Manfrim, T. D. C. (2002). Caracterización de isolates of *Phytophthora infestans* collected in Florida in 1999 and 2001. Thesis Degree of Master of Science. University of Florida. Pp:105.

McGrath, T. M. (2004). What are fungicides? The Plant Health Instructor. Online: <http://www.apsnet.org/edcenter/intropp/topics/Pages/fungicides.aspx>.

Midmore, D.J. (1981). Respuesta de la planta de papa (*Solanum spp.*) al daño de insectos: algunos efectos de compensación. p. 176-200. En: Memorias. Curso sobre Control Integrado de Plagas de Papa. CIP-ICA, Bogotá.

Neves, J., António Manuel Vasconcelos D., A. M., Sequeira da Cruz R., J. C. (2013). Synergistic fungicidal mixture containing dimethomorph and propamocarb-hydrochloride. Online: <http://www.google.com/patents/WO2013180589A1?cl=en>.

Niederhauser, J. S., Mills, W. R. (1953). Resistance of *Solanum* species to *Phytophthora infestans* in México. *Phytopathology* 43:456-457.

Niederhauser, J.S. (1989). El Tizón tardío de la papa. México, el lugar de origen y la selección. Conf. Magistral. En: Memorias, III Congr. Nac. De Papa. Toluca-México.

Niederhauser, J.S., Cervantes, J. and Servin, L. (1954). Late blight in Mexico and its implications. *Phytopathology* 44:406-408.

Niederhauser, J.S. (1991). *Phytophthora infestans*: The Mexican connection. Ed. B. Mycol. Soc. By Cambridge University, Cambridge. 25-45pp

Nielsen, B. J. (2013). Efficacy of fluazinam for control of potato late blight (*Phytophthora infestans*) in Danish field trials. Fourteenth Euroblight Workshop. Ppo – Special Report No.16. 113 – 166 pp.

O'Brien, M. J., Rich, A. E. (1976). Potato diseases. Agriculture Handbook No. 474 USDA Agricultural Research Sciences. 77 pp.

Oliver, P. R., and Hewitt H. G. (2014). Fungicides in crop protection. Second edition. CABI. 200 p.

Oxon, (2016). Cymoxanil: mode of action and uses: online: <http://www.oxon.it/AGROCHEMICALS/Products/Cymoxanil.aspx>. (Consulta: Febrero 2016)

Pérez, W., y Forbes G. (2008). Manual técnico. El Tizón tardío de la papa. CIP. Lima, Perú. 39 p.

Pumisacho, M.; Sherwood, S. (2002). El cultivo de la papa en Ecuador. Primera edición. INIAP-CIP. Lima, Perú. 156-157 pp.

Rekanovic, E.; Stepanovic, M.; Stevic, M.; Potocnik, I.; Todorovic, B.; Milijasevic-Marcic, S. (2010). Field Efficacy of mandipropamid for the control of potato late blight. *Pestic. Phytomed. Belgrade.* 25(2):157-161.

Ribeiro, O.K. (1983). Physiology of asexual sporulation and spore germination in *Phytophthora*. *Phytophthora. Its Biology, Taxonomy, Ecology and Pathology.* D.C. Erwin, S. Bartnicki-Garcial and P.H. Tsao (eds). APS PRESS. The American Phythopatology Society. Pp: 55-60.

Rich, A. R. (1983). Potato diseases. Academic Press, INC. New York. Pp:44-55.

Rivera-Peña, A. (2001). Metodologías Tradicionales Usadas en el Mejoramiento Genético de Papa en México. SAGARPA–INIFAP, CIRCE. Campo Experimental Valle de Toluca. Libro Técnico No.3, Metepec, México 45 pp.

Rivera-Peña, A. (1995). Racial composition in a population of *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary in the Toluca Valley and slopes of the volcano Nevado de Toluca over the period 1989-1994. In. *Phytophthora infestans* 150.

European association for potato research (EAPR)-Pathology Section
Conference. Dublin, Ireland 27-35 p.

Robinson, R. A. (2006). Retorno a la Resistencia. Tercera edición. Colegio de
Postgraduados. México. 292 pp

Robledo E., M. N. (2014). Susceptibilidad/Resistencia de *Phytophthora infestans*
(Mont.) de Bary a Fungicidas. Tesis de grado de Doctor en ciencias.
Montecillo, Texcoco, Edo. México. 23p

Romero, C. S. (1993). Hongos fitopatógenos. Universidad Autónoma Chapingo.
Dirección de patronato Universitario, A. C.

Romero M., G.; Lozoya S., H.; Mora A., G.; Fernandez P., S.; Grünwald, N. J. (2012).
Rendimiento de papa en función de epidemia por tizon tardío (*Phytophthora*
infestans Mont. De Bary). Revista Fitotecnia Mexicana. 35(1), 69-78pp

Roussell, P.; Robert, Y. and Crosnier, J.C. (1999). La patata. Producción, mejora,
plagas y enfermedades, utilización. Ediciones Mundi-Prensa. México. Pp:
293-297.

Salazar L., Winters P., Maldonado L., Hareau G. y Thiele G. (2009). Assessing the
impact of late blight resistant varieties on smallholders' potato production in
the Peruvian Andes. International Potato Center (CIP), Lima, Perú. 30 pp.

Schwinn, F. J., Margot, P. (1991). Control with chemicals. Pages 225-265 in: *Advances in Plant Pathology. Phytophthora infestans, the Cause of Potato Late Blight*. 7th ed. D. S. Ingram and P. H. Williams, eds. Academic Press Limited, San Diego, CA.

Shaner, G.; Finney, R. E. (1977). The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox wheat. *Phytopathology* 67:1051-1056.

SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2014.[En línea]. Avances de siembras y cosechas. Dirección URL: <http://www.siap.gob.mx/> (Consulta: Marzo de 2014).

Spielman, L. J.; Drenth A.; Davidse L.C.; Sujkowski, L.J., Gu, W., Tooley, P.W., and FRY, W.E. (1991). A second world-wide migration and population displacement of *Phytophthora infestans*. *Plant Pathology*. 40:422-430.

Spooner, D. M., Hijmans, R. J. (2001). Potato systematics and germplasm collecting, 1989–2000. *American Journal of Potato Research* 78: 237–268.

Spooner, D. M., Hetterscheid, W., L. A. (2005). Origins, evolution, and group classification of cultivated potatoes: In: *Darwin's Harvest: New Approaches to*

the Origins, Evolution, and Conservation of Crops. T J Motley, N Zerega, H Cross (eds). Columbia University Press, NY. pp: 285-307.

Stein, J. M., Kirk, W. W. (2002). Containment of existing potato late blight (*Phytophthora infestans*) foliar epidemics with fungicides. Crop Protection, 21: 575-582p.

Thurston, H.; Schultz, O. (1981). Late blight. In: Compendium of potato diseases. W.I. Hooker (Ed). American Phytopathological Society. St Paul, Minnesota. p 40- 42.

Townsend, G. R. and Heuberger, J. V. (1943). Methods for estimating losses caused by diseases in fungicide experiments. Plant Disease Report 24: 340-343.

Urquijo, P. y Landaluze, P. (1961). Patología vegetal agrícola. Segunda Edición. Editorial Salvat, Barcelona. 755 p.

Wellik, M. J., Slosser, J. E. and Kirby, R. D. (1981). Effects of simulated insect defoliation on potatoes. American Potato Journal 58(12): 627-632.

Wen-Hsiung, K. O. (1998). Chemical stimulation of sexual reproduction in *Phytophthora infestans*. Botanical Bulletin of Academia Sinica, 39: 81-86.

WHO (2004). The WHO recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification 2000-2002. International Programme on Chemical Safety, Interorganization Programme for the Sound Management of Chemicals. World Health Organization. Ginebra. 60 pp.

Yang, C., Hamel, C., Vujanovic, V., and Gan, Y. (2011). Fungicide: mode of action and possible impact on nontarget microorganisms. International Scholarly Research Network Ecology 2011: 1-8.

Zapata, J. L.; Trillos, O. (1997). Manejo integrado de la gota de la papa *P. infestans* (Mont) de Bary. En: Memorias. IV Foro de Sanidad Vegetal y I Seminario Nacional sobre Gota de la Papa. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. p.87-92