

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS
Y AMBIENTALES –IIA–



EVALUACIÓN DE LA SENSIBILIDAD DE CEPAS DE *Phytophthora infestans* de Bary A
SEIS FUNGICIDAS QUÍMICOS, GUATEMALA; C.A.

GABRIELA XIMENA SORIA RUIZ

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS
Y AMBIENTALES –IIA-

TRABAJO DE TESIS REALIZADO EN

**EVALUACIÓN DE LA SENSIBILIDAD DE CEPAS DE *Phytophthora infestans* de Bary
A SEIS FUNGICIDAS QUÍMICOS, GUATEMALA; C.A.**

PRESENTADO A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE
AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.

POR

GABRIELA XIMENA SORIA RUIZ

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO
INGENIERA AGRÓNOMA
EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADA

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

RECTOR

Ing. M.Sc. Murphy Olympo Paiz Recinos

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes
VOCAL PRIMERO	Dr. Marvin Roberto Salguero Barahona
VOCAL SEGUNDO	Dra. Gricelda Lily Gutiérrez Álvarez
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. MA. Jorge Mario Cabrera Madrid
VOCAL CUARTO	P. Agr. Marlon Estuardo González Álvarez
VOCAL QUINTO	P. Agr. Sergio Wladimir González Paz
SECRETARIO	Ing. Agr. Walter Arnoldo Reyes Sanabria

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2020

Guatemala, septiembre de 2020

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de tesis titulado: **EVALUACIÓN DE LA SENSIBILIDAD DE CEPAS DE *Phytophthora infestans* de Bary A SEIS FUNGICIDAS QUÍMICOS, GUATEMALA, C.A.**, como requisito previo a optar al título de Ingeniera Agrónoma en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciada.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme,

Atentamente

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Gabriela Ximena Soria Ruiz

ACTO QUE DEDICO

A:

Dios: Por su infinita sabiduría y misericordia, por demostrarme su amor todos los días y por derramar bendiciones en mi familia y en mi persona.

Virgen María: Por sus cuidados e intercesiones a lo largo de mi vida. Por no desampararme nunca.

Mi madre: Geraldina Ruiz Gaitán, por darme la vida y ser un ejemplo a seguir. Por su sacrificio, apoyo, paciencia, confianza, consejos y su amor incondicional. Por motivarme a seguir adelante, a superarme y formar la persona que soy. Te amo demasiado.

Mi abuela: Ana Gloria Gaitán Castro, por cuidar de mí, tenerme presente en sus oraciones y quien siempre deseo estar conmigo en el momento de mi graduación, pero goza ahora en el cielo. Espero enorgullecerte con este logro que he alcanzado.

Mis hermanos: Rodrigo Andrés Soria Ruiz, Marcela Sofía Soria Ruiz y Lourdes Paola Soria Ruiz, por compartir conmigo alegrías y tristezas y ser un apoyo constante en mi vida. Espero ser un ejemplo en sus vidas para que logren cumplir todas las metas que se propongan.

Mi familia:

A mi abuelo Oscar Ruiz Oliveros, a mis tías Alba Lorena Ruiz Gaitán y Jessica Zulema Ruiz Gaitán, y a mi prima María Andree Ruiz Gaitán por ser ejemplos de superación e inspiración para ser mejores personas. Por su amor, cariño, apoyo y consejos que he recibido durante mi vida.

Mis amigos:

Por su amistad incondicional y compartir buenos momentos a mis amigos de la facultad, en especial a Nelson Quan, Homero Castañón, Melisa Patán, Ana Lucía Juárez, Laura Batres, Alejandra Borón, Clarissa Paz, Juan José Blas, David Paiz y Oscar Vicente.

TESIS QUE DEDICO

A:

Dios: Por permitirme culminar esta meta en mi vida, por darle esta alegría a mi familia.

Universidad de San Carlos de Guatemala: Por ser mi casa de estudios, brindarme conocimientos y darme las herramientas y principios para poder aportar al desarrollo de Guatemala.

Facultad de Agronomía: Por permitirme sentir el orgullo de ser una egresada de esta facultad y transmitir conocimientos y experiencias para mi formación académica.

Mi familia: Por su apoyo y amor incondicional en este camino profesional.

Asesor y Supervisor: Ph. D. Amílcar Sánchez e Ing. Agr. Fredy Hernández, quienes me brindaron su apoyo, consejos y conocimientos durante mi formación académica.

AGRADECIMIENTOS

A:

Mi madre: Por su sacrificio, esfuerzo y apoyo para que lograra ser una profesional.

Mi familia: Por todo su amor y apoyo incondicional que recibí desde el momento que escogí esta carrera.

Ph. D. Amílcar Sánchez: Por su apoyo y consejos en la realización de mi trabajo de investigación. Ser un gran docente y profesional de esta prestigiosa facultad, por transmitir pasión al área de investigación y compartir muchos conocimientos en los cursos que impartió. Por su ayuda a mi formación profesional le estoy muy agradecida.

Ing. Agr. Fredy Hernández: Por la asesoría que me brindo durante mi EPS y en la realización de este documento.

Corporación Tak: Por permitirme realizar mi Ejercicio Profesional Supervisado –EPS- en sus instalaciones, donde obtuve muchos conocimientos y experiencias que aportaron a mi formación como profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	PÁGINA
ÍNDICE DE FIGURAS	iii
ÍNDICE DE CUADROS	v
RESUMEN	vi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Marco conceptual	3
2.1.1. Clasificación taxonómica de <i>Phytophthora infestans</i>	3
2.1.2. Características del lugar de origen de <i>Phytophthora infestans</i>	4
2.1.3. Plantas hospedantes	4
2.1.4. Reproducción del patógeno	4
A. Reproducción asexual de <i>Phytophthora infestans</i>	4
B. Reproducción sexual de <i>Phytophthora infestans</i>	6
2.1.5. Sintomatología y desarrollo de la enfermedad de tizón tardío causada por <i>Phytophthora infestans</i>	7
2.1.6. Condiciones para el desarrollo de tizón tardío.....	8
2.1.7. Métodos de control para tizón tardío.....	9
2.1.8. Clasificación de fungicidas.....	9
A. Clasificación según sus usos	9
B. Clasificación según su modo de acción	10
2.1.9. Resistencia a fungicidas	11
A. Definición de resistencia a los fungicidas.....	11
B. Resistencia cruzada.....	12
C. Mecanismos de resistencia	13
2.1.10. Descripción de los fungicidas para manejo de tizón tardío.....	14
2.1.11. Descripción del cultivo de tomate	16
2.1.12. Descripción del cultivo de papa.....	17
2.2. Marco referencial.....	17
2.2.1. Georreferenciación de cepas evaluadas.....	17
2.2.2. Laboratorio de investigación	18
2.2.3. Antecedentes de investigaciones	19

	PÁGINA
3. OBJETIVOS	20
3.1. Objetivo general	20
3.2. Objetivos específicos	20
4. HIPÓTESIS	20
5. METODOLOGÍA.....	21
5.1. Metodología experimental	21
5.1.1. Descripción de tratamientos	21
5.1.2. Diseño experimental.....	23
5.1.2.1. Modelo estadístico	23
5.1.3. Unidad experimental.....	24
5.1.4. Variables respuesta.....	24
5.1.5. Análisis de datos	25
5.1.6. Determinación de efectividad de los fungicidas.....	25
5.1.7. Determinación de resistencia a fungicidas	26
5.2. Manejo del experimento	28
5.2.1. Aislamientos de <i>Phytophthora infestans</i>	28
5.2.2. Medio de cultivo.....	29
5.2.3. Concentraciones de ingrediente activo.....	29
5.2.4. Siembra e incubación	30
5.2.5. Toma de datos.....	30
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
6.1. Determinación de efectividad de ingredientes activos (fungicidas)	31
6.2. Determinación de la sensibilidad a ingredientes fúngicos	43
7. CONCLUSIONES.....	53
8. RECOMENDACIONES	54
9. BIBLIOGRAFÍA	55
10. ANEXOS	59

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Ciclo biológico de <i>Phytophthora infestans</i>	6
Figura 2. Medición de crecimiento micelial de aislados de <i>Phytophthora infestans</i>	26
Figura 3. Incubación de las siembras de <i>Phytophthora infestans</i>	30
Figura 4. Crecimiento micelial en cepas de <i>Phytophthora infestans</i> colectadas en Guatemala en el año 2018 a ingredientes activos (fungicidas) y concentraciones.	39
Figura 5. Sensibilidad de cepas de <i>Phytophthora infestans</i> colectadas en Guatemala en el año 2018 a los tratamientos evaluados de ingredientes activos fungicidas y concentraciones.	47
Figura 6A. Comparación del crecimiento micelial evaluado en las diferentes concentraciones de los ingredientes activos fungicidas para la cepa "2" de <i>Phytophthora infestans</i> colectada en el departamento de Chimaltenango, Guatemala en el año 2018.	71
Figura 7A. Comparación del crecimiento micelial evaluado en las diferentes concentraciones de los ingredientes activos fungicidas para la cepa "12" de <i>Phytophthora infestans</i> colectada en el departamento de San Marcos, Guatemala en el año 2018.	72
Figura 8A. Comparación del crecimiento micelial evaluado en las diferentes concentraciones de los ingredientes activos fungicidas para la cepa "3" de <i>Phytophthora infestans</i> colectada en el departamento de Quetzaltenango, Guatemala en el año 2018.	73
Figura 9A. Comparación del crecimiento micelial evaluado en las diferentes concentraciones de los ingredientes activos fungicidas para la cepa "H3" de <i>Phytophthora infestans</i> colectada en el departamento de Huehuetenango, Guatemala en el año 2018.	74
Figura 10A. Resultados de evaluación de concentraciones de Fosetil aluminio en la cepa "2" de <i>Phytophthora infestans</i>	75
Figura 11A. Resultados de evaluación de concentraciones de Trifloxistrobina en la cepa "2" de <i>Phytophthora infestans</i>	76
Figura 12A. Resultados de evaluación de concentraciones de N- (Tricloro metil) Ftalimida "Folpet" en la cepa "2" de <i>Phytophthora infestans</i>	77
Figura 13A. Resultados de evaluación de concentraciones de Mancozeb en la cepa "2" de <i>Phytophthora infestans</i>	78
Figura 14A. Resultados de evaluación de concentraciones de Fosetil aluminio + Propamocarb en la cepa "2" de <i>Phytophthora infestans</i>	79
Figura 15A. Resultados de evaluación de concentraciones de Mefenoxam + Mancozeb en la cepa "2" de <i>Phytophthora infestans</i>	80

PÁGINA

Figura 16A. Resultados de evaluación de concentraciones de Fosetil aluminio en la cepa "12" de <i>Phytophthora infestans</i>	81
Figura 17A. Resultados de evaluación de concentraciones de Trifloxistrobina en la cepa "12" de <i>Phytophthora infestans</i>	82
Figura 18A. Resultados de evaluación de concentraciones de N-(Tricloro metil) Ftalimida "Folpet" en la cepa "12" de <i>Phytophthora infestans</i>	83
Figura 19A. Resultados de evaluación de concentraciones de Mancozeb en la cepa "12" de <i>Phytophthora infestans</i>	84
Figura 20A. Resultados de evaluación de concentraciones de Fosetil aluminio + Propamocarb en la cepa "12" de <i>Phytophthora infestans</i>	85
Figura 21A. Resultados de evaluación de concentraciones de Mefenoxam + Mancozeb en la cepa "12" de <i>Phytophthora infestans</i>	86
Figura 22A. Resultados de evaluación de concentraciones de Fosetil aluminio en la cepa "3" de <i>Phytophthora infestans</i>	87
Figura 23A. Resultados de evaluación de concentraciones de Trifloxistrobina en la cepa "3" de <i>Phytophthora infestans</i>	88
Figura 24A. Resultados de evaluación de concentraciones de N-(Tricloro metil) Ftalimida "Folpet" en la cepa "3" de <i>Phytophthora infestans</i>	89
Figura 25A. Resultados de evaluación de concentraciones de Mancozeb en la cepa "3" de <i>Phytophthora infestans</i>	90
Figura 26A. Resultados de evaluación de concentraciones de Fosetil aluminio + Propamocarb en la cepa "3" de <i>Phytophthora infestans</i>	91
Figura 27A. Resultados de evaluación de concentraciones de Mefenoxam + Mancozeb en la cepa "3" de <i>Phytophthora infestans</i>	92
Figura 28A. Resultados de evaluación de concentraciones de Fosetil aluminio en la cepa "H3" de <i>Phytophthora infestans</i>	93
Figura 29A. Resultados de evaluación de concentraciones de Trifloxistrobina en la cepa "H3" de <i>Phytophthora infestans</i>	94
Figura 30A. Resultados de evaluación de concentraciones de N-(Tricloro metil) Ftalimida "Folpet" en la cepa "H3" de <i>Phytophthora infestans</i>	95
Figura 31A. Resultados de evaluación de concentraciones de Mancozeb en la cepa "H3" de <i>Phytophthora infestans</i>	96
Figura 32A. Resultados de evaluación de concentraciones de Fosetil aluminio + Propamocarb en la cepa "H3" de <i>Phytophthora infestans</i>	97
Figura 33A. Resultados de evaluación de concentraciones de Mefenoxam + Mancozeb en la cepa "H3" de <i>Phytophthora infestans</i>	98

ÍNDICE DE CUADROS

	PÁGINA
Cuadro 1. Clasificación taxonómica de <i>Phytophthora infestans</i>	3
Cuadro 2. Georreferenciación de cepas de <i>P. infestans</i> evaluadas.....	18
Cuadro 3. Descripción de tratamientos evaluados.	22
Cuadro 4. Determinación de resistencia de fungicidas.....	28
Cuadro 5. Efectividad de ingredientes activos fungicidas y sus concentraciones en cepas de <i>Phytophthora infestans</i> colectadas en Guatemala en el año 2018.....	38
Cuadro 6. Análisis de varianza en función de la variable de crecimiento micelial para las cepas evaluadas de <i>Phytophthora infestans</i>	41
Cuadro 7. Resultado de prueba de medias usando el comparador de Tukey para ingredientes activos y concentraciones evaluadas.....	42
Cuadro 8A. Crecimiento micelial obtenido en los distintos tratamientos evaluados para la cepa "2" de <i>Phytophthora infestans</i>	59
Cuadro 9A. Crecimiento micelial obtenido en los distintos tratamientos evaluados para la cepa "12" de <i>Phytophthora infestans</i>	60
Cuadro 10A. Crecimiento micelial obtenido en los distintos tratamientos evaluados para la cepa "3" de <i>Phytophthora infestans</i>	61
Cuadro 11A. Crecimiento micelial obtenido en los distintos tratamientos evaluados para la cepa "H3" de <i>Phytophthora infestans</i>	62
Cuadro 12A. Porcentajes de inhibición del crecimiento micelial para la cepa "2" de <i>Phytophthora infestans</i>	63
Cuadro 13A. Porcentajes de inhibición del crecimiento micelial para la cepa "12" de <i>Phytophthora infestans</i>	64
Cuadro 14A. Porcentajes de inhibición del crecimiento micelial para la cepa "3" de <i>Phytophthora infestans</i>	65
Cuadro 15A. Porcentajes de inhibición del crecimiento micelial para la cepa "H3" de <i>Phytophthora infestans</i>	66
Cuadro 16A. Cálculos de concentraciones a aplicar de los ingredientes activos al medio de cultivo para determinación de sensibilidad.	67
Cuadro 17A. Resultado de prueba de medias usando el comparador Tukey en donde se relaciona el origen de cada una de las cepas de <i>Phytophthora</i> <i>infestans</i> con los ingredientes activos y las concentraciones evaluadas.....	68

EVALUACIÓN DE LA SENSIBILIDAD DE CEPAS DE *Phytophthora infestans* de Bary A SEIS FUNGICIDAS QUÍMICOS, GUATEMALA, C.A.

EVALUATION OF THE SENSITIVITY TO STRAINS OF *Phytophthora infestans* de Bary TO SIX CHEMICAL FUNGICIDES, GUATEMALA, C.A.

RESUMEN

Phytophthora infestans de Bary es el agente causal de la enfermedad conocida como tizón tardío, considerado como uno de los patógenos de plantas más devastadores del mundo. Afecta cultivos de la familia solanaceae, como lo son el tomate y la papa. Estos cultivos son de importancia económica para Guatemala, ya que forman parte de la dieta diaria de los guatemaltecos y generan fuentes de trabajo a personas para su subsistencia.

Bajo condiciones óptimas, *Phytophthora infestans* puede llegar a destruir el 100 % del cultivo de tomate en producción a campo abierto e invernadero y entre el 50 % al 70 % en el cultivo de la papa generando pérdidas millonarias (Sánchez 2018).

El manejo de la enfermedad de tizón tardío se basa principalmente en el uso de productos químicos fungicidas. Sin embargo, la efectividad del control químico se ha reducido debido a la capacidad de las poblaciones del patógeno de generar resistencia de los fungicidas.

En esta investigación se evaluaron cinco concentraciones de seis ingredientes activos fungicidas para el control de cuatro cepas de *Phytophthora infestans* de Bary que fueron colectadas en Guatemala en el año 2018. Se tomaron lecturas del crecimiento micelial obtenido luego de 8 y 15 días después del establecimiento de la evaluación para la determinación de efectividad de los fungicidas. También con base en los promedios de las lecturas se calcularon los porcentajes de inhibición micelial para la determinación de la sensibilidad del patógeno.

Se obtuvieron como resultados que las concentraciones de 100 mg/L, 500 mg/L y 1,000 mg/L de los ingredientes Mancozeb y la combinación de Mefenoxam + Mancozeb fueron efectivos en el control del oomiceto *Phytophthora infestans* ya que no presentaron crecimiento micelial los aislados. Al igual que las concentraciones de 500 mg/L y 1,000 mg/L de los ingredientes de Fosetil aluminio y N Ftalimida (Folpet) fueron consideradas efectivas.

La combinación de ingredientes de Fosetil aluminio + Propamocarb y Trifloxistrobina no fueron efectivos en el control de *Phytophthora infestans* debido a que presentaron crecimiento micelial en todas las concentraciones evaluadas.

La sensibilidad de los aislados evaluados se pudo observar en los cuatro productos que se consideraron efectivos en el manejo de *Phytophthora infestans* y en las concentraciones respectivas. Sin embargo, se obtuvo resistencia y sensibilidad intermedia en todos los ingredientes activos, debido a los mecanismos que tiene este patógeno para la generación de resistencia. Por lo que debe tomarse en cuenta para la realización de planes de manejo de la enfermedad.

1. INTRODUCCIÓN

Phytophthora infestans de Bary es el agente causal de la enfermedad conocida como tizón tardío, la cual es considerada de importancia económica a nivel mundial ya que amenaza la seguridad alimentaria de millones de personas debido a que puede causar pérdidas completas de la producción de la temporada, por lo que, en muchos casos, los agricultores se ven obligados a cosechar prematuramente frutos de mala calidad y obtienen bajo rendimiento, por ello tienen menores ingresos.

Los cultivos de papa (*Solanum tuberosum*) y tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) son de importancia económica para Guatemala, ya que forman parte de la dieta diaria de los guatemaltecos y generan fuentes de trabajo a personas para su subsistencia. Sin embargo, en los últimos años las cosechas de estos cultivos se han visto mermadas debido a los daños ocasionados por algunos patógenos dentro de los que se encuentra el oomiceto *Phytophthora infestans* de Bary.

El manejo de la enfermedad de tizón tardío se basa principalmente en el uso de productos químicos -fungicidas-, ya sean de acción protectante o sistémica. Sin embargo, la efectividad del control químico se ha reducido debido a la capacidad de las poblaciones del patógeno de generar resistencia de los fungicidas.

En Guatemala, el uso indiscriminado y sin conocimiento de los productos químicos para el control de enfermedades fitopatógenas, crea las condiciones adecuadas para que *Phytophthora infestans* de Bary desarrolle resistencia, como producto de la selección natural y presión de selección al que el patógeno es sometido, por ello reduce la efectividad de los ingredientes activos que se aplican a los cultivos, se tiene como consecuencia pérdidas parciales o totales de las cosechas y por ende, pérdidas económicas para los agricultores.

Para evitar los daños del patógeno a las cosechas establecidas en el campo, a nivel de laboratorio se puede determinar los niveles de resistencia que un patógeno posee a los fungicidas, por ello se expone una población que haya sido aislada en el campo al ingrediente activo del producto químico y se evalúa la respuesta que tenga hacia las diferentes dosis del compuesto.

En la presente investigación se evaluó la sensibilidad de cuatro cepas de *Phytophthora infestans* de Bary colectadas en Santa Cruz Balanyá, Chimaltenango; San Lorenzo, San Marcos; San Juan Ostuncalco, Quetzaltenango y Todos Santos Cuchumatanes, Huehuetenango para cuatro ingredientes activos y dos combinaciones de ingredientes activos de fungicidas. Las cepas utilizadas fueron colectadas en un estudio de diversidad genética en zonas productoras de papa y tomate ya que existe una alta variabilidad genética del patógeno.

Con los resultados obtenidos en la prueba de sensibilidad a fungicidas se pudo conocer el comportamiento del oomiceto *Phytophthora infestans* de Bary ante diversos compuestos químicos e indicarnos su eficacia en el control de la enfermedad del tizón tardío en el campo, permitiendo realizar recomendaciones a los agricultores de las zonas evaluadas para la correcta planificación del uso de diversos fungicidas y en las concentraciones adecuadas.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Marco conceptual

2.1.1. Clasificación taxonómica de *Phytophthora infestans*

Phytophthora infestans de Bary es un organismo que pertenece al phylum Oomycota (cuadro 1), al reino Protista (Cromista) que agrupa a más de 700 especies, las cuales se caracterizan por poseer dos flagelos en las zoosporas, no contienen pigmentos fotosintéticos, presentan paredes formadas por celulosa o polímeros similares a la celulosa, tienen hábitos acuáticos y terrestres, aunque siempre necesitan de la presencia de agua (Jaramillo 2003). Además de que está relacionado filogenéticamente con las diatomeas y algas pardas (Pérez y Forbes 2008).

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de *Phytophthora infestans*.

Reino	Cromista
Phylum	Oomycota
Clase	Oomiceto
Subclase	Poronosporomycetidae
Orden	Phythiales
Familia	Phythiaceae
Género	Phytophthora
Especie	<i>P. infestans</i> de Bary

Fuente: Erwin y Ribeiro 1996.

Las características que diferencian al género *Phytophthora* de los hongos se basa en la morfología de las crestas mitocondriales (tubulares) y la bioquímica de las paredes celulares, las cuales en vez de quitina contienen β -1,3- glucano junto con microfibrillas de celulosa (Erwin y Ribeiro 1996).

2.1.2. Características del lugar de origen de *Phytophthora infestans*

Numerosos estudios asumen que el origen del oomiceto *Phytophthora infestans* de Bary se encuentra en México, en el Valle de Toluca (Tooley et al. 1985). El valle de Toluca está ubicado en tierras altas debido a su elevación de más de 2,600 m s.n.m., una latitud de 19° Norte y longitud de 99° Este; el cual ofrece un clima templado debido a que sus temperaturas oscilan los 20 °C a 25 °C y una precipitación anual de 800 mm a 900 mm (Grünwald et al. 2005). Además de que están presentes los dos tipos de apareamiento A1 y A2 del estado sexual del patógeno (Gallegly y Galindo 1958).

2.1.3. Plantas hospedantes

Phytophthora infestans de Bary afecta principalmente a plantas de la familia Solanaceae, tales como la papa (*Solanum tuberosum* L.), tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), ocasionalmente la berenjena (*Solanum melongena*); de la familia Cucurbitaceae el pepino (*Cucumis sativus*) y afecta malezas como el tomatillo o miltomate (*Physalis ixocarpa*) y chamico (*Datura ferox* L.) (Acuña y Araya 2017).

2.1.4. Reproducción del patógeno

Phytophthora infestans de Bary presenta dos tipos de reproducción, una de forma asexual para la producción de esporangios y la otra de forma sexual para la producción de oosporas. Cada tipo de reproducción se describe a continuación:

A. Reproducción asexual de *Phytophthora infestans*

En el ciclo asexual la unidad reproductiva corresponde al esporangio (zoosporangio) y este puede ser producido en abundancia por muchas especies de huéspedes, en donde una sola lesión puede producir hasta 300,000 esporangios en una noche (Smart et al. 2000).

El micelio del oomiceto produce esporangióforos ramificados de crecimiento indeterminado, en las puntas de las bifurcaciones se producen esporangios papilados los cuales tienen una

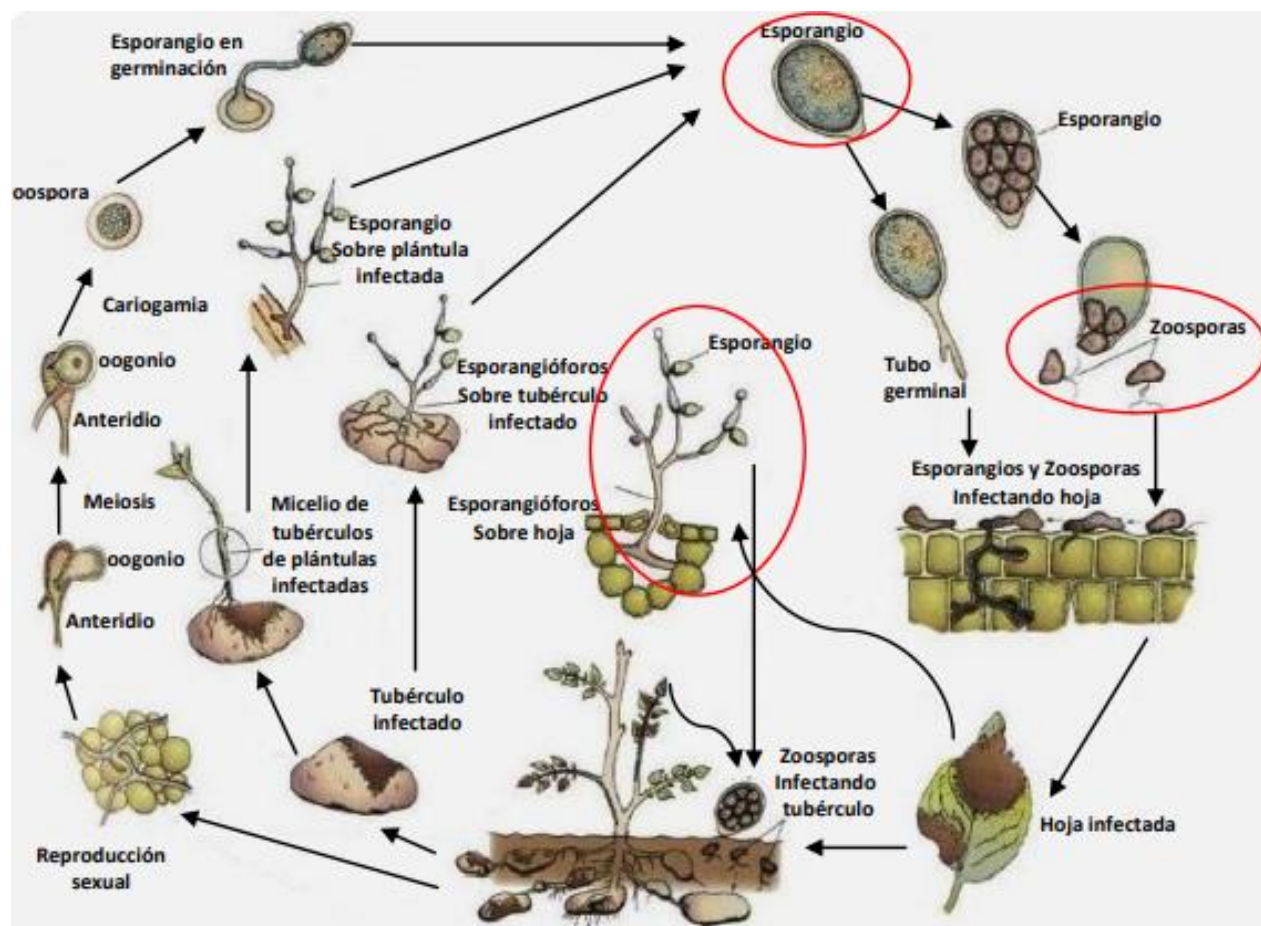
morfología limoniforme y son los encargados de la producción de zoosporas para la germinación directa y conforme continúa el crecimiento de las puntas de las ramas, los esporangios se ven desplazados hacia los lados para posteriormente desprenderse. Una característica particular del oomiceto, es que en los sitios donde se forman los esporangios, los esporangióforos forman hinchamientos (Fry 1998).

Este tipo de reproducción asexual se produce a través de esporangios, zoosporas e hifas (figura 1). Los esporangios son estructuras hialinas con un tamaño que oscila entre 18 nm a 24 nm por 25 nm a 35 nm, separados del micelio por una septa. Cada esporangio tiene de seis a diez núcleos los cuales se desprenden fácilmente de los esporangióforos cuando maduran y son dispersados por el viento y los cambios de humedad relativa los ayuda a germinar en los tejidos de las plantas huéspedes, mediante la germinación directa a través de un tubo germinativo o indirectamente al producir zoosporas (Smart et al. 2000).

Las condiciones óptimas para que germinen los esporangios son temperaturas altas en un rango de 18 °C a 24 °C en donde se desarrolla un tubo germinativo que penetra directamente la cutícula de la hoja; y a temperaturas bajas se liberan de tres a ocho zoosporas biflageladas dentro del esporangio, luego de que se rompe la pared de este, las zoosporas se enquistan y penetran en la hoja del hospedero.

Una vez dentro de la planta el micelio se desarrolla intercelularmente formando haustorios y tras 10 días de la infección, emergen los esporangios a través de los estomas de la planta hospedera (Jaramillo 2003).

El conjunto de aislados provenientes de una cepa que se reproduce de forma asexual se conoce como linaje clonal y en este caso, no se produce recombinación meiótica por lo que la variabilidad se originaría por mutaciones (Fry 2008).



Fuente: Agrios 2005.

Figura 1. Ciclo biológico de *Phytophthora infestans*.

B. Reproducción sexual de *Phytophthora infestans*

Phytophthora infestans es un organismo heterotálico por lo que presenta dos tipos de apareamiento A1 y A2 y ambos son necesarios para la reproducción sexual (Goodwin et al. 1994). Las oosporas se forman a medida que cada tipo de apareamiento responde a la hormona inducida (tipo esterol) por el tipo de apareamiento contrario, produciendo un oogonio y un anteridio (Galindo y Gallegly 1960).

El oogonio fertilizado se convierte en una oospora diploide uninucleada de paredes gruesas que le permiten resistir condiciones desfavorables como ausencia de huésped, bajas temperaturas y sequías (Jaramillo 2003). El objetivo de la reproducción sexual es

proporcionar un estado de supervivencia de las esporas (oosporas) y la generación de nuevas combinaciones de genes.

La oospora bajo condiciones favorables produce un tubo germinativo que forma un esporangio apical, el cual puede liberar las zoosporas o forma nuevamente un tubo germinativo, los cuales sirven como inóculo primario (Pérez y Forbes 2008).

2.1.5. Sintomatología y desarrollo de la enfermedad de tizón tardío causada por *Phytophthora infestans*

La enfermedad causada por *Phytophthora infestans* es denominada como tizón tardío y de acuerdo con la naturaleza del patógeno esta puede ser diseminada por medio del viento, lluvia, agua del suelo e incluso por semillas.

Las zoosporas de los oomicetos son transportadas por acción del viento o agua hasta que encuentra a su planta hospedera. La zoospora se mueve en agua libre en los sustratos donde son liberadas desde los esporangios y tienen la capacidad de localizar la zona de penetración en la planta, sin embargo, el período máximo de movilidad oscila entre 20 y 30 horas, con una velocidad de 50 $\mu\text{m/s}$ a 230 $\mu\text{m/s}$, lo cual le permite desplazarse varios centímetros de distancia (Llácer et al. 2000).

Las zoosporas flageladas son capaces de nadar en el agua del suelo y raíces siguiendo los gradientes de concentración de los exudados de las mismas raíces, debido a un fenómeno denominado quimiotaxis, que le permite la percepción de señales por quimiorreceptores de las zoosporas que conllevan su germinación de manera indirecta (Llácer et al. 2000).

En este proceso se lleva a cabo la formación del tubo germinativo el cual se adhiere a la superficie vegetal mediante la producción de una matriz extracelular que está compuesta de polisacáridos o de glicoproteínas, posteriormente penetra la cutícula o aprovecha las aberturas naturales y una vez adentro establece una relación trófica, la cual le permite

obtener nutrientes y por ende el micelio también crece dentro de los tejidos para volver a producir estructuras reproductivas (Kováts, K et al. 1991).

Las lesiones varían de acuerdo con la humedad, la temperatura, la intensidad lumínica y la variedad del hospedante. La sintomatología inicial se presenta como manchas pequeñas de color verde claro a verde oscura de forma irregular. Cuando las condiciones son favorables para el desarrollo del patógeno, las lesiones se convierten en áreas necróticas grandes con una coloración castaña a negra purpúrea, la cual puede ocasionar la muerte de los folíolos y avanzar por los pecíolos hasta el tallo, finalmente puede ocasionar la muerte de la planta afectada (Alarcón 2001). En el envés de las hojas se forman unas vellosidades blanquecinas que corresponden a las estructuras del patógeno como los esporangios y esporangióforos (Pérez y Forbes 2008).

En el tallo las manchas parecen haber sido quemadas por efectos de heladas y en el fruto hay decoloraciones castañas oscuras con bordes definidos, luego se manifiesta una pudrición de aspecto acuoso en la parte externa del fruto, la cual aumenta progresivamente (Botero 1997).

2.1.6. Condiciones para el desarrollo de tizón tardío

El desarrollo del tizón tardío depende del efecto que tiene la humedad y la temperatura en el ciclo de vida del oomiceto. La esporulación es favorecida por una humedad relativa alta (100 %) y un rango de temperaturas de 10 °C y 22 °C. La viabilidad de los esporangios se pierde luego de haber pasado de 3 a 6 horas a una humedad relativa menor al 80 % (Agrios 2005).

Para que ocurra la penetración de los tubos germinativos en el tejido del hospedante es necesario un período de dos horas a dos horas y media con temperaturas de 15 °C a 25 °C posterior a la germinación de los esporangios. El micelio del oomiceto se desarrolla rápidamente a temperaturas entre 17 °C a 21 °C, en cambio a temperaturas mayores a 30 °C se inhibe el desarrollo del oomiceto en el campo, sin embargo, no se destruye, sino que

entra en una fase esperando que se den las condiciones adecuadas para poder volver a esporular (Agrios 2005).

2.1.7. Métodos de control para tizón tardío

Para controlar de manera eficiente el tizón tardío causado por *Phytophthora infestans* de Bary, es recomendable realizar un manejo integrado que abarque los métodos culturales y químicos durante toda la temporada del cultivo (Acuña y Araya 2017).

El control químico se basa en la utilización de productos químicos para la prevención de la enfermedad durante todo el ciclo del cultivo. La frecuencia de las aplicaciones depende de las condiciones climáticas, del modo de acción del fungicida y de la etapa fenológica del cultivo (Mantecón 2002).

2.1.8. Clasificación de fungicidas

A. Clasificación según sus usos

Los fungicidas son clasificados según sus usos como de contacto, sistémicos y translaminares.

a. Contacto

Estos fungicidas son conocidos como protectantes o residuales y actúan sobre la superficie de la planta sin penetrar el tejido vegetal (Gepp y Mondino 2011). Evitan la germinación y penetración del patógeno, disminuyendo las fuentes iniciales de la enfermedad, pero sólo protegen las zonas en donde fue depositado el fungicida (Pérez y Forbes 2008). Además de que la mayoría de estos fungicidas afectan la producción de energía o ATP, inhibiendo la respiración o desacoplando la fosforilación oxidativa (Patiño et al. 2001).

b. Sistémico

Los fungicidas son absorbidos a través del follaje o de las raíces de las plantas. Su movilidad puede darse en dos sentidos: de forma acrópeta, es decir, ascendente por los vasos del xilema; o de forma basípeta, descendente por el floema (Gepp y Mondino 2011). Tienen la capacidad de proteger las hojas producidas después de la aplicación del fungicida, por lo que puede inhibir alguna o varias etapas específicas del metabolismo del patógeno (Pérez y Forbes 2008).

c. Translaminares

Estos fungicidas penetran el tejido vegetal, pero al ingresar en la planta tienen poca movilidad ya que no circulan por los vasos. Solamente actúan sobre el follaje en el que se aplicó el fungicida (Gepp y Mondino 2011).

B. Clasificación según su modo de acción

La acción de los fungicidas generalmente se expresa en un efecto físicamente visible, el cual es la inhibición de la germinación de esporas o la inhibición del crecimiento micelial. Muchos de los fungicidas previenen la germinación de las esporas o matan la espora inmediatamente iniciado el proceso de germinación.

Los fungicidas retardan o detienen el crecimiento del hongo cuando se aplican después de que se ha desarrollado el estado de infección. También son inhibidores metabólicos, es decir; que bloquean algunos procesos metabólicos indispensables de la célula (Tabares 2002).

El modo de acción se refiere al proceso celular específico que inhibe cada fungicida en particular. En cada modo de acción hay sitios de acción específicos que son las enzimas específicas del proceso celular a las que se unen los fungicidas (FRAC 2019).

De acuerdo con Fungicide Resistance Action Committee (FRAC), los modos de acción que se clasifican los fungicidas son:

- Metabolismo de ácidos nucleicos.
- Proteínas motoras y del citoesqueleto.
- Respiración.
- Síntesis de aminoácidos y proteínas.
- Transducción de señales.
- Transporte o síntesis de lípidos/ función o integridad de la membrana.
- Biosíntesis de esterol en las membranas.
- Biosíntesis de la pared celular.
- Inducción de defensas en la planta huésped.
- Modo de acción desconocido.
- No clasificado.
- Productos químicos con actividad multi-sitio.
- Productos biológicos con múltiples modos de acción.

2.1.9. Resistencia a fungicidas

A. Definición de resistencia a los fungicidas

La resistencia a fungicidas significa una menor sensibilidad que la normal a dichos productos en una población del patógeno, como resultado de mutaciones estables y heredables. La disminución temporal de la sensibilidad a un determinado fungicida forma parte de la adaptación del patógeno, sin embargo, por no ser heredable esta puede ser revertida por cambios en las estrategias de control químico (Pérez y Forbes 2008).

Debido a que muchos fungicidas son específicos y no afectan a ciertas clases de patógenos se dice que, si los patógenos nunca han sido sensibles a un fungicida en particular tienen resistencia inherente a dicho producto por lo que esta puede ser identificada tempranamente durante el proceso de tamizado de los productos potenciales. En cambio, la resistencia que

desarrolla una población de un patógeno que alguna vez fue sensible a un producto se le denomina resistencia adquirida (Forbes 2001).

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) cuando se da la supervivencia de individuos resistentes en una población de individuos susceptibles a un compuesto, se habla de la “selección de resistencia”, que surge del uso continuo de fungicidas que tiene como resultado la selección de una población de patógenos convirtiéndolos en menos susceptibles al producto químico. La selección depende del organismo, la exposición del patógeno y la genética de la resistencia a un compuesto en particular (FAO 2012).

Han sido reportados dos tipos de riesgo de resistencia en los fungicidas: riesgo inherente al fungicida y riesgo inherente al patógeno. Los elementos determinantes en el riesgo inherente al fungicida son las características químicas del ingrediente activo y su modo de acción frente al patógeno. Por lo que puede haber fungicidas de alto, medio y bajo riesgo de generar resistencia (Pérez y Forbes 2008). Los elementos que se asocian al riesgo inherente del patógeno son la duración del ciclo de vida del patógeno, su potencial de mutación y la presión de selección de aislamientos resistentes a un determinado fungicida en extensas áreas de cultivo (Pérez y Forbes 2008).

B. Resistencia cruzada

La resistencia cruzada se considera cuando los fungicidas con el mismo sitio de acción generan resistencia. Esto es habitual en los aislados fúngicos resistentes portar una mutación genética en el sitio de acción. Por lo que cuando esto ocurre, la interacción entre el compuesto y el sitio de acción se ve afectada y el ingrediente activo pierde su eficacia fungicida (FRAC 2019).

C. Mecanismos de resistencia

Dentro de los mecanismos de resistencia que generan los patógenos según Fungicide Resistance Action Committee –FRAC– (2019) son:

a. Alteración bioquímica del sitio de acción

Es el mecanismo de resistencia más común. Se caracteriza por una modificación generada en la secuencia genética codificadora de la enzima o proteína que constituye el sitio de acción en el hongo. Por lo que cuando esto ocurre la interacción entre el ingrediente activo y el sitio de acción se ve afectada, el compuesto fungicida pierde su eficacia.

b. Detoxificación del fungicida

Debido a que las células de los hongos contienen mecanismos metabólicos para desempeñar procesos celulares habituales, estos mecanismos pueden ser capaces de modificar el fungicida para que ya no sea perjudicial para la célula. Ya que algunos fungicidas necesitan ser metabolizados en la célula del hongo para pasar a la forma activa. En una célula con el metabolismo alterado, el paso de la activación podría no suceder y el fungicida no pasaría a su forma activa.

c. Sobreexpresión del sitio de acción

Cuando la producción de enzimas adicionales en el sitio de acción es mayor puede aumentar la probabilidad de que una cantidad suficiente del sustrato fúngico sea capaz de unirse a la enzima del sitio objetivo, y continuar con los procesos celulares.

d. Exclusión o expulsión desde el sitio de acción

En la naturaleza, las células contienen bombas de eflujo para excluir o expulsar sustancias extrañas o para exportar sustancias endógenas. La mayoría de los fungicidas alcanzan concentraciones eficaces dentro de la célula y logran inhibir los procesos celulares a pesar de la existencia de estas bombas de eflujo. Pero ocasionalmente, estos transportadores tienen éxito expulsando el fungicida para que el aislado tenga una sensibilidad reducida.

2.1.10. Descripción de los fungicidas para manejo de tizón tardío

En la investigación realizada para el control químico del tizón tardío causado por el oomiceto *Phytophthora infestans* de Bary se utilizaron los ingredientes activos que se describen a continuación:

- **Mefenoxam (Metalaxyl-M)**

Es un fungicida sistémico, que pertenece al grupo fungicida de las Fenilamidas. Juntamente con los ingredientes activos *Benalaxyl*, *Furalaxyl* y *Metalaxyl* se catalogan dentro del grupo químico de las Acylalaninas. Su modo de acción se basa en la interferencia con las síntesis del ARN ribosomal y su sitio de acción es en la ARN polimerasa I. Según Fungicide Resistance Action Committee (FRAC), los patógenos principalmente oomicetos desarrollan resistencia y resistencia cruzada cuando son expuestos a este grupo de fungicidas. Por lo que el compuesto Mefenoxam es catalogado dentro de alto riesgo en la generación de resistencia. Su código FRAC es 4 y se encuentra agrupado dentro de los compuestos en el cual su modo de acción bioquímico es el metabolismo de ácidos nucleicos(A) (FRAC 2019).

- **Propamocarb**

Es un fungicida de propiedad sistémica que pertenece al grupo de los Carbamatos y es catalogado dentro del grupo químico de los carbamatos. Su sitio de acción es en la afección de la permeabilidad de la membrana celular y los ácidos grasos. Según Fungicide

Resistance Action Committee (FRAC), los patógenos que son expuestos a fungicidas con este ingrediente activo desarrollan resistencia media a baja. Su código FRAC es 28 y se encuentra agrupado dentro de los compuestos en el cual su modo de acción es en la síntesis o transporte de lípidos además de la integridad y estructura de la membrana celular (F) (FRAC 2019).

- **Fosetil aluminio**

Es un fungicida de propiedad sistémica que pertenece al grupo de los Fosfonatos y está catalogado dentro del grupo químico de los etil- fosfanatos. Su sitio de acción es en los fosfonatos. De acuerdo con FRAC, se han reportado algunos casos de resistencia en algunos patógenos y se considera de bajo riesgo. Su código es P 07 (33) y su modo de acción se basa en la inducción de la defensa en las plantas hospederas que hace intervenir mecanismos fisiológicos complejos y múltiples (P) (FRAC 2019).

- **Trifloxistrobina**

Es un fungicida mesostémico y translaminar que pertenece al grupo de los QoI (Quinone outside inhibitors – inhibidores externos de quinona) y está catalogado dentro del grupo químico de las Strobirulinas. Su modo de acción consiste en inhibir la respiración y su sitio de acción es en el complejo III del citocromo bc1 (ubiquinol oxidasa) (FRAC 2019).

Según FRAC, existen indicios del desarrollo de resistencia en varias especies fúngicas ya que, existen mutaciones en el sitio de acción del gen citocromo b (cyt b) (G143A, F129L) y resistencia cruzada entre todos los compuestos pertenecientes al grupo de los QoI. Por lo que el riesgo es alto para la generación de resistencia en los organismos. Su código FRAC es 11 y se encuentra agrupado dentro de los compuestos en el cual su modo de acción bioquímico es en la respiración (C) (FRAC 2019).

- **Mancozeb**

Es un fungicida de contacto que pertenece al grupo de los Ditiocarbamatos y catalogado dentro del grupo químico de los ditiocarbamatos y algunos relativos. Su sitio de acción es multi-sitio. Según FRAC, tiene un riesgo bajo de generar resistencia. Su código FRAC es M03 y está agrupado dentro de los compuestos en el que su modo de acción es de actividad multi-sitio (M) (FRAC 2019).

- **N Ftalimida (Folpet)**

Es un fungicida de actividad preventiva, perteneciente al grupo de las Ftalimidas al igual que los ingredientes activos de *Captan* y *Captafol*. Su sitio de acción es de actividad de multisitio. Según FRAC, tiene un riesgo bajo de generar resistencia. Su código FRAC es M04 y está agrupado dentro de los compuestos en el que su modo de acción es de actividad multisitio (M) (FRAC 2019).

2.1.11. Descripción del cultivo de tomate

El tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) es una planta dicotiledónea que pertenece a la familia de las solanáceas (Nuez 2001). Posee tallos herbáceos y ramificados. Sus hojas son compuestas e imparipinadas, y son de forma alargada y alternas, están conformadas por siete a nueve foliolos y sus bordes son dentados (Villeda 1993).

La inflorescencia corresponde a un racimo floral, el cual consta de una sucesión de ejes, cada uno contiene un botón floral. La flor posee un pedúnculo con cáliz gamosépalo, con cinco a diez lóculos (Villeda 1993). Sus pétalos son de color amarillo y están dispuestos de manera helicoidal a intervalos de 135° (Nuez 2001). El androceo presenta entre cinco o más estambres adheridos a la corola. Las anteras se encuentran unidas por la base formando un tubo. El gineceo presenta entre dos a treinta carpelos los cuales dan origen a los lóculos del fruto. Su constitución es pistilar y el ovario es súpero, el estilo liso y el estigma es de forma achatada (Villeda 1993).

El fruto es una baya bi o plurilocular que está constituida por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas (Nuez 2001).

2.1.12. Descripción del cultivo de papa

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es una planta dicotiledónea perteneciente a la familia de las solanáceas. Sus hojas son alternas, simples y sin estípulas. Las inflorescencias son cimosas, con flores bisexuales, actinomorfas; su cáliz consta de cinco sépalos los cuales se encuentran unidos; la corola consta de cinco pétalos unidos: El androceo está conformado de cinco estambres los cuales están insertados en el tubo de la corola y alternas con sus lóbulos. El gineceo está constituido por un pistilo compuesto de dos carpelos con dos lóculos, contiene numerosos óvulos. La placentación es axilar, con ovario súpero y su estilo terminal (CITE 2018).

El tubérculo es un tallo subterráneo modificado, acortado, engrosado y carnoso, está provisto de yemas latentes u ojos. Varían en forma y tamaño. El color de la piel del tubérculo es muy variable, va desde el blanco al amarillo, del violeta a rojo oscuro y morado y de púrpura o negro (CITE 2018).

2.2. Marco referencial

2.2.1. Georreferenciación de cepas evaluadas

Las cepas de *Phytophthora infestans* de Bary que se evaluaron en esta investigación (cuadro 2) fueron colectadas durante el estudio “Diversidad genética de aislados de *Phytophthora infestans* colectados en zonas productoras de papa y tomate de Guatemala” (Sánchez et al. 2018).

Cuadro 2. Georreferenciación de cepas de *P. infestans* evaluadas.

Identificación de cepa	Lugar de colecta	Departamento	Cultivo	Coordenadas	
“2”	Santa Cruz Balanyá	Chimaltenango	Tomate	14.686944	-90.919444
“12”	San Lorenzo	San Marcos	Papa	15.021111	-91.737777
“3”	San Juan Ostuncalco	Quetzaltenango	Papa	14.866048	-91.602249
“H3”	Todos Santos Cuchumatanes	Huehuetenango	Papa	15.456613	-91.501255

Fuente: Sánchez et al. 2018.

De acuerdo al estudio, en Guatemala existe un alto grado de diversidad de *Phytophthora infestans* que atribuyen a la presencia de los dos tipos de apareamiento, es decir, la reproducción sexual del oomiceto, sugiriendo que puede deberse a su cercanía geográfica con México (zona de origen del patógeno) (Sánchez et al. 2018).

Otros factores que consideran como causas de la variabilidad genética de *Phytophthora* es que Guatemala es considerado un país mega diverso lo cual contribuye a que estén ambos tipos de apareamiento en el territorio, además del uso indiscriminados de fungicidas que también contribuyen al desarrollo de resistencia y mutaciones del patógeno en el país (Sánchez et al. 2018).

2.2.2. Laboratorio de investigación

La investigación se realizó en el Laboratorio de Biotecnología de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en el Edificio de Vinculación ubicado en el segundo nivel, Ciudad Universitaria, zona 12, Ciudad de Guatemala, Guatemala.

2.2.3. Antecedentes de investigaciones

1. Dentro de estudios anteriores en pruebas de sensibilidad para *P. infestans* investigadores del departamento de Fitopatología de la Universidad de Carolina del Norte, Estados Unidos; determinaron la sensibilidad de genotipos US de *Phytophthora infestans* a seis compuestos fúngicos. Los resultados demostraron que los aislados de las líneas clonales US de *Phytophthora infestans* fueron insensibles al fungicida Mefenoxam, es decir, presentaron resistencia al tener altas variaciones en el crecimiento micelial.

Por el contrario, ningún aislado de alguna línea clonal fue insensitivo a azoxystrobin, cymoxanil, fluopicolide, mandipropamid o cyazofamid. La mayoría de los aislados de *P. infestans* no creció en el medio amendado con cyazofamid y observaron que el crecimiento declinaba en las concentraciones arriba de 0.10 µg/ml (Saville et al. 2015).

2. En otro estudio realizado por investigadores en Colombia para la determinación de la sensibilidad de aislamientos colombianos de *P. infestans* a cuatro fungicidas sistémicos comerciales; demostraron que el fungicida Previcur® N SL (hidrocarburo de propamocarb 700 g/L), resultó ser el más efectivo para reducir los niveles de esporulación del patógeno; también con el fungicida Curzate® M-8 (cymoxanil 8 % y mancozeb 64 %) observaron alto nivel de sensibilidad de los aislados en dosis bajas de 0.10 mg/L y 0.30 mg/L. Mildex® 711 WG (fenamidone 44.40 g/kg y Fosetyl-Al 667 g/kg) demostró ser antiesporulante en sus dosis más altas evaluadas (7 mg/L).

En cambio, con Ridomil® Gold (Metalaxyl-M al 4 % y Mancozeb 64 %) se encontraron bajos niveles de sensibilidad por lo que recomiendan limitar su uso debido a la predisposición de generar resistencia en los aislados (García et al. 2008).

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Determinar la sensibilidad de las cepas de *Phytophthora infestans* de Bary a seis ingredientes activos fungicidas.

3.2. Objetivos específicos

1. Evaluar la efectividad de cinco concentraciones de seis ingredientes activos (fungicidas) para el control del crecimiento micelial de *Phytophthora infestans* de Bary.
2. Determinar si se ha generado la resistencia en cuatro cepas de *Phytophthora infestans* de Bary hacia los ingredientes activos (fungicidas) evaluados.

4. HIPÓTESIS

Los aislados de *Phytophthora infestans* de Bary presentarán resistencia a las concentraciones del ingrediente activo (fungicida) de Mefenoxam + Mancozeb.

5. METODOLOGÍA

5.1. Metodología experimental

5.1.1. Descripción de tratamientos

Los tratamientos evaluados en la investigación (cuadro 3) fueron replicados en cada cepa de *Phytophthora infestans* y se realizaron tres repeticiones. Los tratamientos de la investigación se encuentran integrados por tres factores los cuales se describen a continuación:

- **Factor A**

El factor A lo constituyen 4 niveles que corresponden a las cepas de *Phytophthora infestans* de Bary colectadas en las regiones productoras de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) y papa (*Solanum tuberosum*) de los departamentos de Chimaltenango, Quetzaltenango, San Marcos y Huehuetenango; Guatemala.

- **Factor B**

El factor B lo constituyen 6 niveles que corresponden a los ingredientes activos de acción fungicida evaluados de los cuales cuatro son individuales y dos se encuentran en combinación: Mancozeb, Trifloxistrobina, Fosetil aluminio, N- Ftalimida “Folpet”, Fosetil aluminio + Propamocarb y Mefenoxam + Mancozeb.

- **Factor C**

El factor C está constituido por 5 niveles que corresponden a las concentraciones evaluadas por cada ingrediente activo las cuales fueron de 1, 10, 100, 500 y 1,000 mg/L.

Cuadro 3. Descripción de tratamientos evaluados.

Tratamiento	Ingrediente activo	Concentración (mg/L)
T1	Mancozeb	1
T2	Mancozeb	10
T3	Mancozeb	100
T4	Mancozeb	500
T5	Mancozeb	1,000
T6	Trifloxistrobina	1
T7	Trifloxistrobina	10
T8	Trifloxistrobina	100
T9	Trifloxistrobina	500
T10	Trifloxistrobina	1,000
T11	Fosetil aluminio + Propamocarb	1
T12	Fosetil aluminio + Propamocarb	10
T13	Fosetil aluminio + Propamocarb	100
T14	Fosetil aluminio + Propamocarb	500
T15	Fosetil aluminio + Propamocarb	1,000
T16	Fosetil aluminio	1
T17	Fosetil aluminio	10
T18	Fosetil aluminio	100
T19	Fosetil aluminio	500
T20	Fosetil aluminio	1,000
T21	N- Ftalimida "Folpet"	1
T22	N- Ftalimida "Folpet"	10
T23	N- Ftalimida "Folpet"	100
T24	N- Ftalimida "Folpet"	500
T25	N- Ftalimida "Folpet"	1,000
T26	Mefenoxam + Mancozeb	1
T27	Mefenoxam + Mancozeb	10
T28	Mefenoxam + Mancozeb	100
T29	Mefenoxam + Mancozeb	500
T30	Mefenoxam + Mancozeb	1,000

Fuente: elaboración propia, 2018.

5.1.2. Diseño experimental

La investigación se realizó siguiendo el modelo de un experimento trifactorial en un arreglo combinatorio dispuesto en un diseño de bloques completos al azar.

5.1.2.1. Modelo estadístico

El modelo estadístico que se utilizó en el análisis de los datos obtenidos de la investigación fue de un experimento trifactorial en un arreglo combinatorio dispuesto en un diseño de bloques completos al azar, el cual se describe en la ecuación 1.

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \gamma_j + \delta_k + (\alpha\gamma)_{ij} + (\alpha\delta)_{ik} + (\gamma\delta)_{jk} + (\alpha\gamma\delta)_{ijk} + \beta_l + \varepsilon_{ijkl}$$

Fuente: López y González 2016.

Ecuación 1. Modelo estadístico de un experimento trifactorial en un arreglo combinatorio dispuesto en un diseño de bloques completos al azar.

En donde:

Y_{ijkl} = Variable de respuesta de Crecimiento micelial medida en la $ijkl$ -ésima unidad experimental.

μ = Media general.

α_i = Efecto del i -ésimo nivel del factor "A" (Cepas de *Phytophthora infestans*).

γ_j = Efecto del j -ésimo nivel del factor "B" (Ingrediente activo).

δ_k = Efecto del k -ésimo nivel del factor "C" (Concentración de ingrediente activo).

$(\alpha\gamma)_{ij}$ = Efecto de la interacción entre el i -ésimo nivel del factor "A" (Cepas de *Phytophthora infestans*) y el j -ésimo nivel del factor "B" (Ingrediente activo).

$(\alpha\delta)_{ik}$ = Efecto de la interacción entre el i -ésimo nivel del factor "A" (Cepas de *Phytophthora infestans*) y el k -ésimo nivel del factor "C" (Concentración de ingrediente activo).

$(\gamma\delta)_{jk}$ = Efecto de la interacción entre el j -ésimo nivel del factor "B" (Ingrediente activo) y el k -ésimo nivel del factor "C" (Concentración de ingrediente activo).

$(\alpha\gamma\delta)_{ijk}$ = Efecto de la interacción entre el i -ésimo nivel del factor “A” (Cepas de *Phytophthora infestans*), el j -ésimo nivel del factor “B” (Ingrediente activo) y el k -ésimo nivel del factor “C” (Concentración del ingrediente activo).

β_l = Efecto de l -ésima repetición.

ε_{ijkl} = Error experimental asociado a la $ijkl$ -ésima unidad experimental.

5.1.3. Unidad experimental

La unidad experimental estaba comprendida por cada caja Petri que contenía medio de cultivo arveja-agar y las diferentes concentraciones de los ingredientes activos (fungicidas) para la evaluación del crecimiento micelial de cada cepa de *Phytophthora infestans* de Bary. La investigación contenía 372 unidades experimentales de las cuales 12 unidades pertenecían al testigo.

5.1.4. Variables respuesta

Las variables respuesta de la investigación fueron:

- **Crecimiento micelial**

Fue medido en centímetros a los 8 y 15 días después de haber realizado la inoculación con micelio de *Phytophthora infestans* de Bary en las cajas petri que contenían el medio de cultivo arveja- agar modificado.

- **Sensibilidad**

Se comparó el porcentaje de inhibición de crecimiento micelial entre las diferentes concentraciones de los ingredientes activos con el testigo de crecimiento libre y que no contenía ningún ingrediente fungicida, para determinar la sensibilidad del patógeno *Phytophthora infestans* de Bary.

5.1.5. Análisis de datos

Con los datos obtenidos para el análisis de la efectividad de ingredientes activos (fungicidas) con la variable de crecimiento micelial se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) con un nivel de confianza de 0.95 mediante el programa estadístico *Infostat* para determinar si existían diferencias significativas entre los ingredientes activos utilizados y las concentraciones para cada una de las cepas de *Phytophthora infestans* de Bary evaluadas.

Para los tratamientos que mostraron diferencia estadísticamente significativa se utilizó la prueba de medias usando el comparador de Tukey ($\alpha=0.05$).

En el análisis de la determinación de resistencia se obtuvieron los porcentajes de inhibición de crecimiento micelial y se compararon con la escala de Shattock.

5.1.6. Determinación de efectividad de los fungicidas

Para determinar la efectividad de los ingredientes activos (fungicidas) para el control de *Phytophthora infestans* se realizaron mediciones del crecimiento micelial en centímetros (figura 2) de los aislados que se evaluaron a los 8 y 15 días luego de sembrar el inóculo del oomiceto en el medio de cultivo modificado. Si no se reportaba crecimiento del micelio se considera que el fungicida fue efectivo, pero si presenta crecimiento del oomiceto se considera no efectivo.



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 2. Medición de crecimiento micelial de aislados de *Phytophthora infestans*.

5.1.7. Determinación de resistencia a fungicidas

Para determinar la resistencia de *Phytophthora infestans* a los ingredientes activos (fungicidas) se calcularon los porcentajes de inhibición de crecimiento micelial para los aislados evaluados, comparando el crecimiento de los testigos con cada tratamiento.

De este modo, si la concentración del ingrediente activo no es efectiva el patógeno continuará su crecimiento y se observa con la presencia de micelio en la caja petri con medio de cultivo. Si la concentración del ingrediente es efectiva no se observa crecimiento micelial en el medio.

En la presente investigación cada concentración de ingrediente activo se evaluó en tres repeticiones y a los diámetros de micelio del oomiceto se tomó lecturas a los ocho y a los quince días después de realizada la siembra. Se comparó con el diámetro de las cepas aisladas que no contenían ningún ingrediente fungicida (Deahl 1993).

La inhibición del crecimiento es determinada mediante el diámetro medio del crecimiento del oomiceto influenciado por el ingrediente activo del fungicida (medido en centímetros) menos el diámetro del disco del cilindro que se sembró en la caja petri sobre el diámetro del crecimiento del patógeno sin el efecto del fungicida (medido en centímetros) expresado en porcentaje.

La siguiente ecuación detalla cómo se obtuvo el porcentaje de inhibición del crecimiento micelial:

$$PC = \frac{DMT - Dd}{DML} * 100$$

Fuente: Deahl 1993.

Ecuación 2. Cálculo de porcentaje de inhibición del crecimiento micelial.

En donde:

PC= Corresponde al porcentaje de crecimiento micelial, DMT= Diámetro medio de la colonia creciendo en el tratamiento, Dd= Diámetro del disco del cilindro que se sembró en la caja petri, DML= Diámetro medio de la colonia del testigo a la cual no se le aplicó ningún ingrediente activo.

Para la clasificación de los valores obtenidos se utilizó la escala de resistencia de fungicidas de Shattock (1988) (cuadro 4).

Cuadro 4. Determinación de resistencia de fungicidas.

Determinación de sensibilidad	Porcentaje de inhibición
Sensible	Menor del 10 % de crecimiento del testigo
Intermedio	Entre 10 % y 60 % del crecimiento del testigo
Resistente	Mayor del 60 % de crecimiento del testigo

Fuente: Shattock 1988.

Con los porcentajes que se obtuvieron de la evaluación, si los aislados tenían valores de ICM menores al 10 % se consideraron sensitivos al fungicida; si los valores eran mayores al 10 % pero menores al 60 % se consideraron de sensibilidad intermedia; y si los porcentajes de ICM fueron mayores al 60 % se consideraron aislados resistentes o insensibles al fungicida (Daayf 2000).

5.2. Manejo del experimento

5.2.1. Aislamientos de *Phytophthora infestans*

Se utilizaron cuatro cepas de *Phytophthora infestans* de Bary que fueron colectadas en los departamentos de Chimaltenango, Quetzaltenango, San Marcos y Huehuetenango, las cuales pertenecían al estudio “Diversidad genética de aislados de *Phytophthora infestans* colectados en zonas productoras de papa y tomate de Guatemala”. (Sánchez et al. 2018)

Las cepas estaban previamente purificadas y aisladas dentro de cajas Petri que contenían medio de cultivo arveja-agar sin modificar en condiciones de 18° C y en oscuridad.

5.2.2. Medio de cultivo

El medio de cultivo utilizado para la evaluación del crecimiento de las cepas de *Phytophthora infestans* de Bary fue arveja-agar modificado con las concentraciones de los ingredientes activos (fungicidas) para el control del patógeno.

Para la preparación de un litro de medio de cultivo, se siguió la siguiente metodología de la Universidad de Cornell (2005): pesar 120 g de arveja y agregarlo a un envase que contenga 500 ml de agua destilada. Autoclavear durante 15 minutos a una presión de 15 psi o temperatura de 120 °C. Se separa el líquido con un colador y pasarlo a un recipiente de un litro, agregar 20 g de azúcar (sacarosa) y 15 g de agar. Aforar a un litro de agua destilada. Nuevamente autoclavear por 15 minutos y dejar enfriar el contenido hasta que alcance una temperatura de 30 °C a 35 °C para la adición de las diferentes concentraciones de ingredientes activos a cada recipiente.

Se sirvió 10 ml de medio de cultivo arveja- agar con las concentraciones del ingrediente activo a evaluar en cajas petri estériles utilizando la campana de flujo laminar previamente desinfectada.

5.2.3. Concentraciones de ingrediente activo

Se evaluaron seis ingredientes activos: 1) Mancozeb, 2) Trifloxistrobina, 3) Fosetil aluminio, 4) N- Ftalimida “Folpet”, 5) Fosetil aluminio + Propamocarb y 6) Mefenoxam (Metalaxyl M) + Mancozeb; los cuales se obtuvieron de fungicidas comerciales.

Las concentraciones fueron de 1 mg/L, 10 mg/L, 100 mg/L, 500 mg/L y 1,000 mg/L (Goodwin et al., 1996) para todos los ingredientes activos y se adicionaron al medio de cultivo de arveja-agar.

Los cálculos que se realizaron para evaluar las concentraciones de los ingredientes activos se detallan en el cuadro 16A.

5.2.4. Siembra e incubación

En la campana de flujo laminar se sembraron en las cajas petri que contenían los diferentes tratamientos a evaluar, discos de un centímetro de diámetro de las cepas de *Phytophthora infestans* de Bary, se identificaron y sellaron con plástico parafilm para evitar contaminaciones externas.

Posterior a la siembra de los discos se trasladaron las cajas petri a la incubadora (figura 3) en donde las condiciones se encontraban en un rango de temperatura de 22 °C y en oscuridad.



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 3. Incubación de las siembras de *Phytophthora infestans*.

5.2.5. Toma de datos

A partir de la siembra de los discos con micelio de *Phytophthora infestans* de Bary, se realizó dos lecturas a los 8 y a los 15 días para medir el crecimiento micelial de los aislados de las cepas y determinar la resistencia a los ingredientes activos de fungicidas.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Determinación de efectividad de ingredientes activos (fungicidas)

Se evaluó el efecto de cinco concentraciones de seis ingredientes activos (fungicidas) para el control de cuatro cepas del oomiceto *Phytophthora infestans* a nivel de laboratorio. Con los datos obtenidos en los tratamientos se realizaron promedios estándar del crecimiento micelial para las lecturas de los ocho y quince días respectivamente.

De acuerdo con los resultados obtenidos de la cepa “2” correspondiente al área de Santa Cruz Balanyá, Chimaltenango (cuadro 8A.) se consideraron efectivos a los quince días los ingredientes activos en los que no hubo crecimiento micelial en los aislados, los cuales fueron: Mancozeb en concentraciones de 100 mg/L, 500 mg/L y 1,000 mg/L; Fosetil aluminio a 500 mg/L y 1,000 mg/L y la combinación de ingredientes activos fungicidas de Mefenoxam + Mancozeb a 100 mg/L, 500 mg/L y 1,000 mg/L.

En el testigo de la cepa 2, a los ocho días el crecimiento micelial era de un diámetro promedio de 2.733 cm y a los quince días la lectura final fue 5.733 cm. Hubo un incremento de 3.0 cm en el diámetro micelial.

El ingrediente activo Mancozeb en la cepa 2 para las concentraciones de 1 mg/L y 10 mg/L los promedios de crecimiento micelial a los ocho días en ambas concentraciones el crecimiento del micelio no superaba el diámetro del testigo, sin embargo, en la lectura realizada a los quince días fueron de 6.367 cm y 6.267 cm respectivamente, superando el crecimiento de la cepa testigo de 5.733 cm.

Los aislados de la cepa 2 obtuvieron crecimiento micelial en las dos lecturas realizadas en todas las concentraciones de los ingredientes activos fungicidas de Trifloxistrobina, N-Ftalimida (Folpet) y la combinación de Fosetil aluminio + Propamocarb. En el caso del ingrediente Trifloxistrobina el crecimiento micelial en la concentración de 1,000 mg/L fue mayor a la de la concentración de 500 mg/L; y para N-Ftalimida (Folpet) el diámetro micelial

promedio en la concentración de 1,000 mg/L fue de 0.100 cm en las dos lecturas, no se reportó ningún incremento en el micelio.

Con el ingrediente activo de Fosetil aluminio, la cepa 2 para la concentración de 1 mg/L el promedio de crecimiento micelial fue de 2.167 cm a los ocho días y de 5.633 cm a los quince días con un incremento micelial fue de 3.466 cm; en la concentración de 10 mg/L el promedio de crecimiento micelial fue de 1.733 cm en la primera lectura y de 5.133 cm en la segunda lectura, hubo un incremento de un promedio de 3.4 cm; y en la concentración de 100 mg/L a los ocho días el promedio de crecimiento micelial fue de 0.367 cm y a los quince días de 0.633 cm con un incremento de 0.266 cm en promedio.

El efecto obtenido con la combinación de ingredientes activos de Mefenoxam + Mancozeb en la concentración de 1 mg/L a los ocho días fue de 2.400 cm en promedio y a los quince días de 4.833 cm, se obtuvo un incremento micelial promedio de 2.433 cm. En la concentración de 10 mg/L la lectura a los ocho días fue de un promedio de 1.000 cm y a los quince días de 1.600 cm, con un incremento del diámetro de 0.600 cm.

La efectividad de los ingredientes activos que fueron efectivos para el control del oomiceto de la cepa "12" (cuadro 9A.) correspondiente al área de San Lorenzo, San Marcos fueron: los productos fungicidas de Mancozeb en concentraciones de 100 mg/L, 500 mg/L y 1,000 mg/L; Fosetil aluminio a 500 mg/L y 1,000 mg/L; N-Ftalimida (Folpet) a 500 mg/L y 1,000 mg/L y la combinación de ingredientes de Mefenoxam + Mancozeb en las concentraciones de 10 mg/L, 100 mg/L, 500 mg/L y 1,000 mg/L; en donde los aislados evaluados no presentaron crecimiento micelial.

La cepa testigo 12, a los ocho días el crecimiento micelial de los aislados era de un diámetro promedio de 0.967 cm y a los quince días la lectura final fue de 2.633 cm. Hubo un incremento de 1.666 cm en el diámetro micelial.

El efecto del ingrediente activo Mancozeb en la cepa 12 a una concentración de 1 mg/L fue un promedio de crecimiento micelial de 0.833 cm en la lectura de ocho días y a los quince

días fue de 3.367 cm, obteniendo un incremento de 2.534 cm. A una concentración de 10 mg/L la primera lectura fue de un promedio de 0.800 cm y en la segunda lectura fue de 2.900 cm, obteniendo un incremento de 2.100 cm. En ambas concentraciones se obtuvieron diámetros miceliales mayores al que se reportó en la cepa testigo siendo un promedio de 0.734 cm más grande a 1 mg/L y de 0.267 cm en la concentración de 10 mg/L.

Los aislados de la cepa 12 reportaron crecimiento micelial en los ingredientes fungicidas de Trifloxistrobina y la combinación de Fosetil aluminio + Propamocarb en todas las concentraciones evaluadas.

La concentración de 500 mg/L de Trifloxistrobina fue superior a la de 1,000 mg/L en las dos lecturas realizadas; y en el producto combinado la concentración de 100 mg/L obtuvo un diámetro micelial superior a las concentraciones de 500 mg/L y 1,000 mg/L en ambas lecturas.

Con el ingrediente de Fosetil aluminio, en la cepa 12 se obtuvieron en la concentración de 1 mg/L un promedio de crecimiento de 1.167 cm a los ocho días y 2.433 cm a los quince días, obteniendo un incremento de 1.266 cm. A una concentración de 10 mg/L, la primera lectura obtuvo un promedio de 1.033 cm y en la segunda de 2.233 cm, con un incremento promedio del micelio de 1.20 cm. En estas dos concentraciones el oomiceto continuó con su crecimiento, sin embargo, en la concentración de 100 mg/L la lectura realizada a los ocho días fue de 0.233 cm y a los quince días de 0.200 cm reportando una disminución del crecimiento del micelio de 0.033 cm.

El efecto de N-Ftalimida (Folpet) a una concentración de 1 mg/L fue un crecimiento promedio de 0.933 cm en la primera lectura y de 1.567 cm en la segunda, con un incremento promedio de 0.634 del micelio. En la concentración de 10 mg/L los promedios fueron de 0.700 cm y de 0.967 cm, con un incremento en el crecimiento micelial de 0.267 cm; y en la concentración de 100 mg/L la primera lectura fue de 0.367 cm y la segunda de 0.867 cm con un incremento de 0.50 cm en el diámetro del micelio.

La cepa 12 únicamente reportó crecimiento micelial en la concentración de 1 mg/L para la combinación de ingredientes activos de Mefenoxam + Mancozeb. La lectura a los ocho días fue de un crecimiento micelial promedio de 0.433 cm y en la segunda lectura a los quince días fue de 1.600 cm, teniendo un incremento de 1.167 cm.

Para la cepa “3” correspondiente al área de San Juan Ostuncalco, Quetzaltenango (cuadro 10A.), en donde los ingredientes activos en los que no se obtuvo crecimiento micelial en los aislados fueron: Mancozeb en las concentraciones de 100 mg/L, 500 mg/L y 1,000 mg/L; Fosetil aluminio a 500 mg/L y 1,000 mg/L; N-Ftalimida (Folpet) a 1,000 mg/L y la combinación de ingredientes fungicidas de Mefenoxam + Mancozeb a concentraciones de 100 mg/L, 500 mg/L y 1,000 mg/L; en donde no se reportó en las lecturas realizadas crecimiento micelial en los aislados.

En la cepa testigo 3, a los ocho días los aislados reportaron un crecimiento micelial promedio de 3.200 cm de diámetro y a los quince días la lectura final fue de 5.733 cm. Hubo un incremento del diámetro micelial de 2.533 cm.

Con el ingrediente de Mancozeb la cepa 3 tuvo un promedio de crecimiento micelial en la concentración de 1 mg/L de 2.833 cm a los ocho días y de 6.567 cm a los quince días, con un incremento del micelio de 3.734 cm. En esta concentración el aislado fue superior al crecimiento que se obtuvo de la cepa testigo de 0.834 cm. En la concentración de 10 mg/L la primera lectura fue de un promedio de crecimiento de 1.500 cm y la segunda de 5.433 cm teniendo un incremento de 3.033 cm.

Los ingredientes fungicidas de Trifloxistrobina y la combinación de Fosetil aluminio + Propamocarb reportaron crecimiento micelial en todos los aislados de las concentraciones evaluadas. El producto combinado obtuvo a los quince días un crecimiento ligeramente superior a una concentración de 10 mg/L al comparar con el crecimiento obtenido a 1 mg/L, siendo los diámetros del micelio de 4.767 cm y de 4.800 cm respectivamente con una diferencia de 0.033 cm.

El efecto en la cepa 3 del producto constituido por Fosetil aluminio fue a una concentración de 1 mg/L un crecimiento promedio del micelio de 2.800 cm en la primera lectura y de 5.100 cm en la segunda, con un incremento de 2.300 cm. En la concentración de 10 mg/L la primera lectura tenía un promedio de crecimiento de 2.867 cm y en la segunda lectura de 3.200 cm siendo el incremento de 0.333 cm; y en la concentración de 100 mg/L la primera lectura obtuvo un crecimiento de 1.200 cm y en la segunda de 1.433 cm que resultó de un incremento de 0.233 cm.

Con el ingrediente de N-Ftalimida (Folpet) la lectura a los ocho días a una concentración de 1 mg/L fue de un promedio de 2.733 cm y a los quince días de 5.700 cm, obteniendo un incremento de 2.967 cm. La concentración de 10 mg/L las lecturas fueron, en la primera de un crecimiento de 2.267 cm y la segunda de 4.700 cm con un incremento de 2.433 cm en promedio. En la concentración de 100 mg/L la lectura a los ocho días fue de un crecimiento micelial promedio de 1.800 cm y a los quince días de 2.500 cm, teniendo un incremento de 0.700 cm, y en la concentración de 500 mg/L el crecimiento del diámetro en la primera lectura fue de 0.200 cm y en la segunda de 0.333 cm, obteniendo un incremento en ese período de 0.133 cm en promedio.

La combinación de Mefenoxam + Mancozeb tuvo como efecto en la cepa 3 a una concentración de 1 mg/L un diámetro de micelio de 2.067 cm en la lectura realizada a los ocho días y de 5.600 cm en la de quince días, teniendo un incremento del micelio de un promedio de 3.533 cm. En la concentración de 10 mg/L la primera lectura fue de 1.367 cm y la segunda de 3.000 cm, obteniendo un incremento final de 1.633 cm.

Los resultados obtenidos en la cepa "H3" correspondiente al área de Todos Santos Cuchumatanes, Huehuetenango (cuadro 11A.) fueron eficaces los ingredientes activos: Mancozeb a concentraciones de 100 mg/L, 500 mg/L y 1,000 mg/L; Fosetil aluminio a 500 mg/L y 1,000 mg/L; N-Ftalimida (Folpet) a 500 mg/L y 1,000 mg/L y la combinación de ingredientes de Mefenoxam + Mancozeb a 100 mg/L, 500 mg/L y 1,000 mg/L ya que no se obtuvo crecimiento micelial en los aislados.

La cepa testigo H3, a los ocho días los aislados reportaron un diámetro micelial promedio de 2.400 cm y a los quince días de un crecimiento final de 3.433 cm. Hubo un incremento promedio del diámetro micelial de 1.033 cm.

El ingrediente activo de Mancozeb en la cepa H3 tuvo promedios en el crecimiento micelial en la concentración de 1 mg/L de 3.067 cm en la primera lectura y de 5.633 cm, en la que hubo un incremento del micelio de 2.566 cm. Y en la concentración de 10 mg/L los promedios fueron de 1.733 cm en la lectura a los ocho días y de 4.667 cm en la lectura de los quince días, con un incremento de 2.934 cm. En ambas concentraciones se obtuvo un diámetro de micelio final superior al obtenido en la cepa testigo, siendo una diferencia de 2.20 cm para la concentración de 1 mg/L y de 1.234 cm en la de 10 mg/L.

El efecto que tuvieron los ingredientes de Trifloxistrobina y la combinación de Fosetil de aluminio + Propamocarb fue la presencia de crecimiento micelial en todos los aislados de las concentraciones evaluadas. En el caso del producto fungicida de Trifloxistrobina las concentraciones de 1 mg/L y de 10 mg/L obtuvieron diámetros de micelio superiores a la cepa testigo, como resultado se obtuvo un promedio de crecimiento de 5.000 cm y 4.300 cm respectivamente.

En el ingrediente de Fosetil de aluminio la cepa H3 obtuvo los siguientes promedios de crecimiento del micelio, a una concentración de 1 mg/L obtuvo 1.533 cm en la lectura realizada a los ocho días y 2.633 cm a los quince días, el incremento micelial fue de 1.100 cm. La concentración de 10 mg/L el crecimiento micelial fue de 2.467 cm en la primera lectura y de 1.400 cm en la segunda, el incremento del micelio fue de 1.67 cm. La concentración de 100 mg/L reportó crecimiento a los ocho días de 1.233 cm y a los quince de 2.033 cm, con un incremento micelial de 0.800 cm.

En la cepa H3, el ingrediente N-Ftalimida (Folpet) obtuvo promedios en el crecimiento micelial en la concentración de 1 mg/L de 1.867 cm en la lectura realizada a los ocho días y de 2.933 cm a los quince días, con un incremento del diámetro del micelio de 1.066 cm. En la concentración de 10 mg/L la primera lectura obtuvo un promedio de 1.833 cm y en la

segunda de 2.800 cm, como resultado se obtuvo un incremento del diámetro de 0.967cm. La concentración de 100 mg/L el crecimiento fue de 0.767 cm en la lectura de los ocho días y 2.067 cm en la de quince días, el incremento obtenido fue de 1.300 cm.

La combinación de los ingredientes activos de Mefenoxam + Mancozeb tuvo como resultado en la concentración de 1 mg/L un crecimiento promedio de 1.933 cm en la primera lectura y 3.633 cm en la segunda, el incremento obtenido fue de 1.700 cm. El diámetro final en los aislados de esta concentración fue superior al de la cepa testigo. En la concentración de 10 mg/L el crecimiento del micelio fue de 1.667 cm en la primera lectura a los ocho días y de 2.833 cm en la segunda lectura realizada a los quince días, el incremento fue de 1.166 cm.

En el cuadro 5 se muestra la comparación de los resultados obtenidos con las cepas en la efectividad de los ingredientes activos (fungicidas) y sus diferentes concentraciones. Si se presentó crecimiento micelial en el aislado se consideró “no efectivo” y si no se obtuvo crecimiento se catalogó como “efectivo”.

Cuadro 5. Efectividad de ingredientes activos fungicidas y sus concentraciones en cepas de *Phytophthora infestans* colectadas en Guatemala en el año 2018.

Ingrediente activo (I.A.)	Concentración (mg/L)	Efectividad de I.A. en cepas de <i>Phytophthora infestans</i>			
		"2" Chimaltenango	"12" San Marcos	"3" Quetzaltenango	"H3" Huehuetenango
Mancozeb	1	No efectivo	No efectivo	No efectivo	No efectivo
	10	No efectivo	No efectivo	No efectivo	No efectivo
	100	Efectivo	Efectivo	Efectivo	Efectivo
	500	Efectivo	Efectivo	Efectivo	Efectivo
	1000	Efectivo	Efectivo	Efectivo	Efectivo
Trifloxistrobina	1	No efectivo	No efectivo	No efectivo	No efectivo
	10	No efectivo	No efectivo	No efectivo	No efectivo
	100	No efectivo	No efectivo	No efectivo	No efectivo
	500	No efectivo	No efectivo	No efectivo	No efectivo
	1000	No efectivo	No efectivo	No efectivo	No efectivo
Fosetil aluminio + Propamocarb	1	No efectivo	No efectivo	No efectivo	No efectivo
	10	No efectivo	No efectivo	No efectivo	No efectivo
	100	No efectivo	No efectivo	No efectivo	No efectivo
	500	No efectivo	No efectivo	No efectivo	No efectivo
	1000	No efectivo	No efectivo	No efectivo	No efectivo
Fosetil aluminio	1	No efectivo	No efectivo	No efectivo	No efectivo
	10	No efectivo	No efectivo	No efectivo	No efectivo
	100	No efectivo	No efectivo	No efectivo	No efectivo
	500	Efectivo	Efectivo	Efectivo	Efectivo
	1000	Efectivo	Efectivo	Efectivo	Efectivo
N-Ftalimida "Folpet"	1	No efectivo	No efectivo	No efectivo	No efectivo
	10	No efectivo	No efectivo	No efectivo	No efectivo
	100	No efectivo	No efectivo	No efectivo	No efectivo
	500	No efectivo	Efectivo	No efectivo	Efectivo
	1000	No efectivo	Efectivo	Efectivo	Efectivo
Mefenoxam + Mancozeb	1	No efectivo	No efectivo	No efectivo	No efectivo
	10	No efectivo	Efectivo	No efectivo	No efectivo
	100	Efectivo	Efectivo	Efectivo	Efectivo
	500	Efectivo	Efectivo	Efectivo	Efectivo
	1000	Efectivo	Efectivo	Efectivo	Efectivo

La comparación de las lecturas de crecimiento micelial realizada a los 15 días en las cuatro cepas de *Phytophthora infestans* para cada tratamiento evaluado puede observarse en la figura 4.

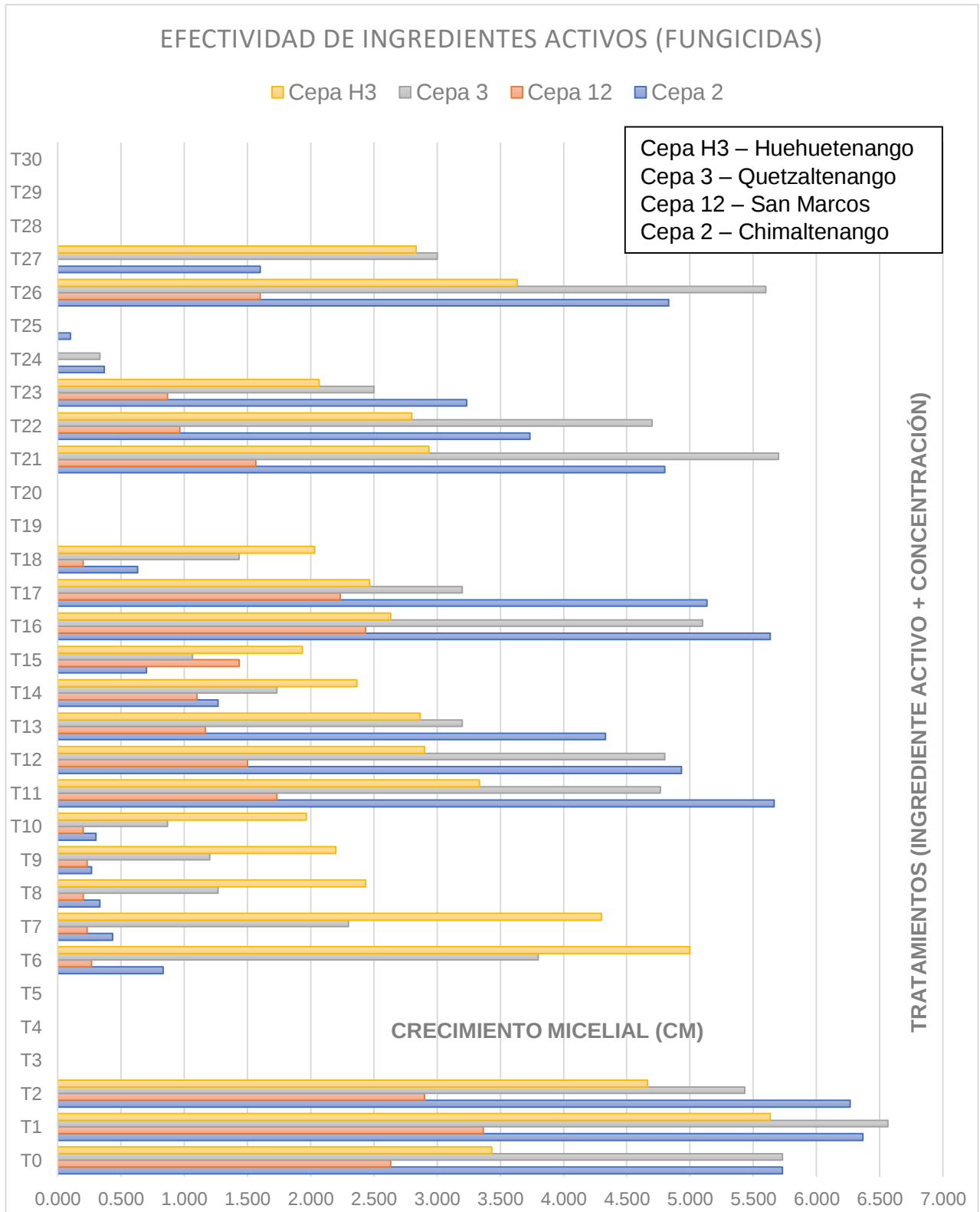


Figura 4. Crecimiento micelial en cepas de *Phytophthora infestans* colectadas en Guatemala en el año 2018 a ingredientes activos (fungicidas) y concentraciones.

En las cuatro cepas evaluadas las concentraciones de 1 mg/L y 10 mg/L del ingrediente activo “Mancozeb” presentaron crecimiento micelial mayor que el de los testigos, por lo que puede deberse a que estas concentraciones bajas incentivan el crecimiento y desarrollo del patógeno debido a cierta resistencia que se ha generado al fungicida.

Los ingredientes activos de Mancozeb y la combinación de Mefenoxam + Mancozeb fueron efectivos en las concentraciones de 100 mg/L, 500 mg/L y 1,000 mg/L, con excepción de Mefenoxam + Mancozeb la cual fue efectiva a partir de la concentración de 10 mg/L en la cepa “12”.

En el caso de Fosetil aluminio y de N- Ftalimida (Folpet) fue efectivo en la mayoría de las cepas a partir de las concentraciones de 500 mg/L y 1,000 mg/L. Los ingredientes de Trifloxistrobina y Fosetil aluminio + Propamocarb no fueron efectivos para ninguna de las cepas evaluadas ya que presentaban crecimiento micelial los aislados en todas las concentraciones.

Debido a los resultados que se obtuvieron en la evaluación de concentraciones de ingredientes activos se realizó un análisis de varianza para determinar si existían diferencias significativas en los tratamientos.

De acuerdo con el cuadro 6 se obtuvieron diferencias significativas en las variables de cepa, ingrediente activo y concentraciones, además de las interacciones en las mismas por lo que se utilizó la prueba de medias usando el comparador de Tukey ($\alpha=0.05$).

Cuadro 6. Análisis de varianza en función de la variable de crecimiento micelial para las cepas evaluadas de *Phytophthora infestans*.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1363.20	119	11.46	129.36	<0.0001
Cepa	120.95	3	40.32	455.27	<0.0001
Ingrediente activo	80.79	5	16.16	182.46	<0.0001
Concentración	738.58	4	184.65	2085.09	<0.0001
Cepa* Ingrediente activo	81.98	15	5.47	61.72	<0.0001
Cepa* Concentración	97.98	12	8.16	92.20	<0.0001
Ingrediente activo * Concentración	177.34	20	8.87	100.13	<0.0001
Cepa* Ingrediente activo * Concentración	65.58	60	1.09	12.34	<0.0001
Error	21.25	240	0.09		
Total	1384.45	359			

F.V.= Fuentes de variación

gl= Grados de libertad

F= Valor de F

SC= Suma de cuadrados

CM= Cuadrados medios

En el cuadro 7 se muestran los resultados obtenidos en la prueba de medias con el comparador Tukey realizada a los datos obtenidos del crecimiento micelial relacionado con las variables de ingredientes activos y las concentraciones de los ingredientes. En el cuadro 17A. se muestra los resultados de la prueba de medias con el comparador Tukey realizado a los 3 factores evaluados, es decir, la triple interacción entre las cepas de *Phytophthora infestans*, los ingredientes activos y las concentraciones de los ingredientes.

Cuadro 7. Resultado de prueba de medias usando el comparador de Tukey para ingredientes activos y concentraciones evaluadas.

Ingrediente activo	Concentración (mg/L)	Medias crecimiento micelial (cm)	n	E.E.	Comparador Tukey
Mancozeb	100	0.00	12	0.10	A
Mancozeb	500	0.00	12	0.10	A
Mancozeb	1,000	0.00	12	0.10	A
Mefenoxam+ Mancozeb	100	0.00	12	0.10	A
Mefenoxam+ Mancozeb	500	0.00	12	0.10	A
Mefenoxam+ Mancozeb	1,000	0.00	12	0.10	A
Fosetil aluminio	500	0.00	12	0.10	A
Fosetil aluminio	1,000	0.00	12	0.10	A
Ftalimida	500	0.00	12	0.10	A
Ftalimida	1,000	0.00	12	0.10	A
Trifloxistrobina	100	0.00	12	0.10	B
Trifloxistrobina	500	0.00	12	0.10	B
Trifloxistrobina	1,000	0.00	12	0.10	B
Fosetil aluminio	100	1.08	12	0.10	B C
Fosetil aluminio+ Propomocarb	1,000	1.28	12	0.10	B C D
Fosetil aluminio+ Propomocarb	500	1.62	12	0.10	C D E
Trifloxistrobina	10	1.82	12	0.10	D E
Mefenoxam+ Mancozeb	10	1.86	12	0.10	E
Ftalimida	100	2.17	12	0.10	E F
Trifloxistrobina	1	2.48	12	0.10	F G
Fosetil aluminio+ Propomocarb	100	2.89	12	0.10	G H
Ftalimida	10	3.05	12	0.10	H I
Fosetil aluminio	10	3.26	12	0.10	H I J
Fosetil aluminio+ Propomocarb	10	3.53	12	0.10	I J K
Ftalimida	1	3.75	12	0.10	J K
Fosetil aluminio+ Propomocarb	1	3.88	12	0.10	K
Mefenoxam+ Mancozeb	1	3.92	12	0.10	K
Fosetil aluminio	1	3.95	12	0.10	K
Mancozeb	10	4.82	12	0.10	L
Mancozeb	1	5.48	12	0.10	M

Si existieron diferencias significativas en el uso de los ingredientes activos que fueron efectivos para el control en general de las cuatro cepas de *Phytophthora infestans* los cuales fueron Mancozeb y la combinación de Mefenoxam + Mancozeb en las concentraciones de 100 mg/L, 500 mg/L y 1,000 mg/L; y en los ingredientes de Fosetil aluminio y N-Ftalimida “Folpet” en las concentraciones de 500 mg/L y 1,000 mg/L, los cuales contienen la literal A.

6.2. Determinación de la sensibilidad a ingredientes fúngicos

Se determinó la sensibilidad de las cepas de *Phytophthora infestans* a los seis ingredientes activos evaluados con sus respectivas concentraciones mediante el análisis del porcentaje de inhibición del crecimiento micelial establecido por Shattock (1988).

En los resultados que corresponden a la cepa “2” del área de Santa Cruz Balanyá del departamento de Chimaltenango (cuadro 12A.) al evaluar el comportamiento de sensibilidad de la cepa con los ingredientes de Mancozeb, la concentración de 1 mg/L resultó ser resistente al obtener un porcentaje de inhibición del 111.06 %, al ser un porcentaje mayor al 100 % nos indica que el crecimiento micelial fue mayor al que se obtuvo de la cepa testigo. La concentración de 10 mg/L obtuvo sensibilidad intermedia ya que su porcentaje fue de 56.99 % no superando el 60 % para ser catalogada como resistente. En las concentraciones de 100 mg/L, 500 mg/L y 1,000 mg/L la cepa fue sensible ya que no presentó crecimiento micelial y el porcentaje de inhibición fue del 0 %.

Con el ingrediente de Trifloxistrobina la cepa 2, obtuvo una sensibilidad intermedia en la concentración de 1 mg/L ya que su porcentaje superó el 10 % del límite considerado sensible al ser del 14.53 %. En las concentraciones de 10 mg/L, 100 mg/L, 500 mg/L y 1,000 mg/L se catalogaron como sensibles al fungicida ya que se mantuvo dentro del rango menor al 10 % con porcentajes de 7.55 %, 5.81 %, 4.66 % y 5.23 % respectivamente.

La Trifloxistrobina no inhibió completamente el crecimiento micelial del patógeno pero los porcentajes de inhibición fueron menores al 10 % al compararlo con el testigo. Cabe mencionar también que el crecimiento micelial obtenido en la concentración de 1,000 mg/L fue mayor al de la concentración de 500 mg/L, por lo que si se incrementa las concentraciones mayores a 1,000 mg/L se podrían obtener resultados no deseados de sensibilidad al ingrediente activo.

En la combinación de ingredientes activos de Fosetil aluminio + Propamocarb para las concentraciones de 1 mg/L, 10 mg/L y 100 mg/L la cepa 2 resultó ser resistente ya que se

obtuvieron porcentajes de inhibición de 98.85 %, 86.05 % y 75.58 % respectivamente; y en las concentraciones de 500 mg/L y 1,000 mg/L una sensibilidad intermedia con 22.10 % y 12.21 %. No se obtuvieron concentraciones sensibles para este producto fungicida.

Los resultados que se obtuvieron en la cepa 2 para el ingrediente activo de Fosetil aluminio fue para las concentraciones de 1 mg/L y 10 mg/L resistentes debido a que los porcentajes fueron de 98.26 % y de 89.53 %. Para la concentración de 100 mg/L un porcentaje de 11.04 % por lo que se consideró una sensibilidad intermedia y en las concentraciones de 500 mg/L y 1,000 mg/L se determinó que fue sensible la cepa ya que no presentó crecimiento micelial y, por ende, los porcentajes miceliales fueron del 0 %.

El comportamiento de sensibilidad de la cepa 2 para el ingrediente de N-Ftalimida (Folpet) las concentraciones de 1 mg/L y 10 mg/L fueron resistentes con porcentajes de inhibición del 83.73 % y 65.11 % respectivamente. En la concentración de 100 mg/L presentó sensibilidad intermedia con un porcentaje de 56.39 % y para las concentraciones de 500 mg/L y 1,000 mg/L fueron sensibles con porcentajes de inhibición de 6.40 % y de 1.74 %, los cuales fueron menores al 10 % de crecimiento de la cepa testigo.

La cepa 2 en la combinación de ingredientes activos de Mefenoxam + Mancozeb la concentración de 1 mg/L el porcentaje obtenido fue de 84.30 % por lo que se catalogó como resistente. En la concentración de 10 mg/L el porcentaje fue de 27.91 % considerándose una sensibilidad intermedia, y para las concentraciones de 100 mg/L, 500 mg/L y 1,000 mg/L los aislados fueron sensibles ya que no presentaron crecimiento micelial.

La sensibilidad obtenida en la cepa "12" la cual fue colectada en el municipio de San Lorenzo del departamento de San Marcos (cuadro 13A.), para el ingrediente activo de Mancozeb en las concentraciones de 1 mg/L y 10 mg/L los porcentajes de inhibición fueron de 127.88 % y 110.14 % respectivamente, por lo que se catalogaron como resistentes. Ambas concentraciones superaron el 100 % por lo que el crecimiento micelial obtenidos en estos tratamientos fueron mayores al que se obtuvo del crecimiento de la cepa testigo. En las concentraciones de 100 mg/L, 500 mg/L y 1,000 mg/L se consideraron sensibles ya que la

cepa fue susceptible al ingrediente fungicida y no presentó crecimiento micelial, siendo sus porcentajes de inhibición del 0 % cada uno.

Con el ingrediente activo de Trifloxistrobina, la cepa 12 en la concentración de 1 mg/L la sensibilidad obtenida fue intermedia con un porcentaje de 10.14 % y las concentraciones de 10 mg/L, 100 mg/L, 500 mg/L y 1,000 mg/L resultaron sensibles, ya que el crecimiento que presentaron los aislados correspondían a menos del 10 % que presentó la cepa testigo con porcentajes de inhibición de 8.85 %, 7.60 %, 8.85 % y 7.60 % respectivamente. Al igual que en la cepa 2, el ingrediente de Trifloxistrobina mostró comportamientos donde en concentraciones superiores el crecimiento micelial fue mayor al de la concentración inferior, por lo que podemos considerar la efectividad del producto.

El comportamiento de la cepa 12 en la combinación de ingredientes activos de Fosetil aluminio + Propamocarb en la concentración de 1 mg/L la cepa fue resistente de 65.82 %. Las concentraciones de 10 mg/L, 100 mg/L, 500 mg/L y 1,000 mg/L la sensibilidad se consideró intermedia ya que los porcentajes de inhibición fueron de 56.97 %, 44.32 %, 41.78 % y de 54.2 % respectivamente y no superaron el 60 % del crecimiento micelial de la cepa testigo. La concentración de 1,000 mg/L fue mayor a la de las concentraciones de 100 mg/L y 500 mg/L.

La sensibilidad obtenida en la cepa 12 con el ingrediente activo de Fosetil aluminio en las concentraciones de 1 mg/L y 10 mg/L la cepa resultó ser resistente, ya que los porcentajes de inhibición obtenidos fueron de 92.40 % y de 84.81 % respectivamente, ubicándose dentro del rango mayor al 60 % de crecimiento micelial con respecto a la cepa testigo. En las concentraciones de 100 mg/L, 500 mg/L y 1,000 mg/L los porcentajes de inhibición obtenidos fueron de 7.60 %, 0 % y 0 % respectivamente, por lo que se consideraron los aislados como sensibles.

Con el ingrediente activo de N-Ftalimida (Folpet), la cepa 12 obtuvo sensibilidad intermedia en las concentraciones de 1 mg/L, 10 mg/L y 100 mg/L con porcentajes de 59.51 %, 36.73 % y de 32.93 % respectivamente, ubicándose dentro del rango de crecimiento del 10 % al

60 % en comparación con la cepa testigo. En las concentraciones de 500 mg/L y 1,000 mg/L, los porcentajes de inhibición fueron del 0 % ya que no se observó crecimiento micelial en los aislados, por lo que se consideran sensibles.

La combinación de Mefenoxam + Mancozeb para la cepa 12, únicamente la concentración de 1 mg/L resultó ser resistente con un porcentaje de inhibición del 60.77 %. En las concentraciones de 10 mg/L, 100 mg/L, 500 mg/L y 1,000 mg/L los aislados evaluados fueron sensibles, al no presentar crecimiento micelial.

En la figura 5 se muestra la gráfica con la sensibilidad obtenida en cada tratamiento (ingrediente activo y concentración utilizada) de cada cepa de *Phytophthora infestans* evaluada.

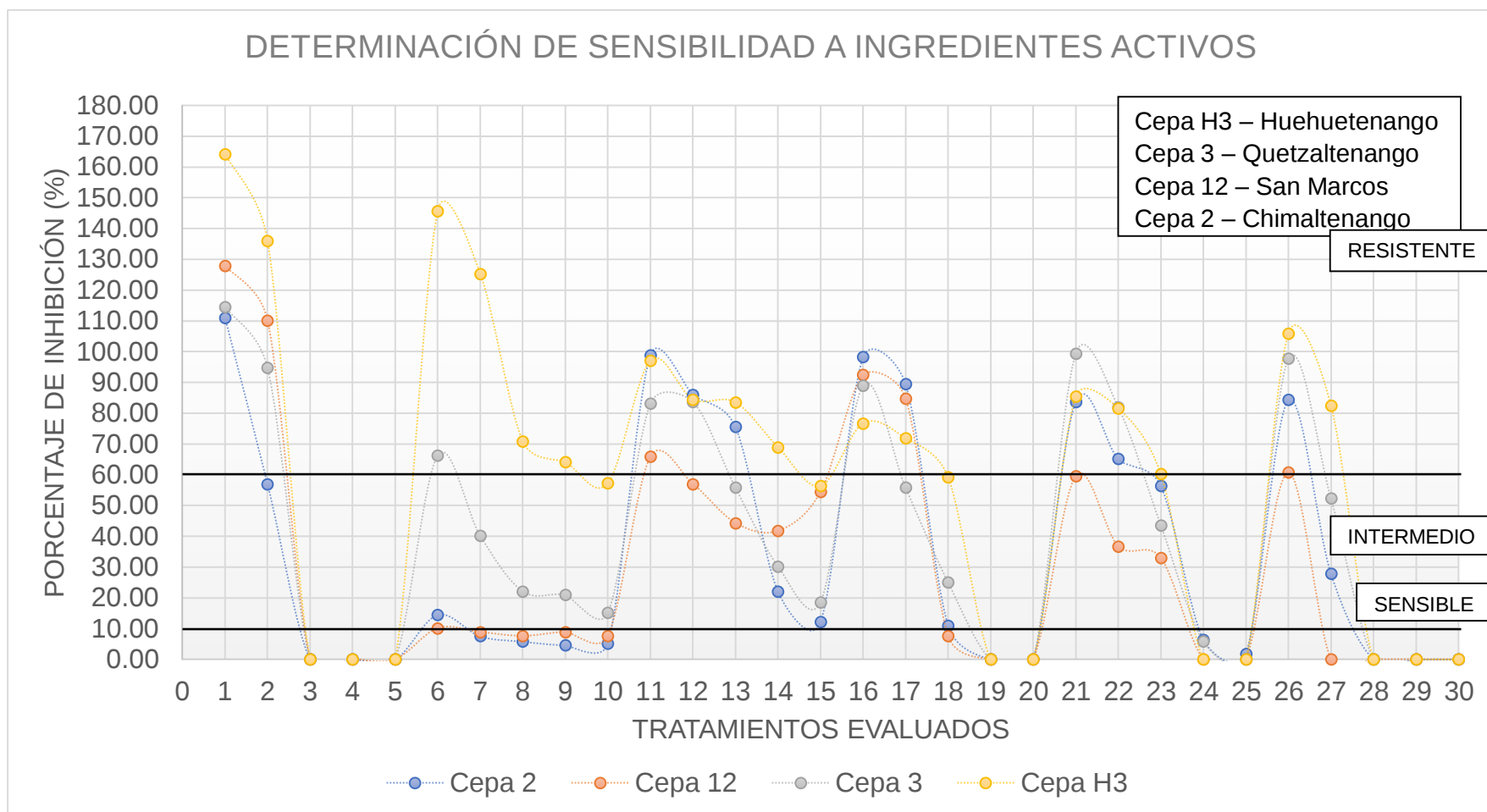


Figura 5. Sensibilidad de cepas de *Phytophthora infestans* colectadas en Guatemala en el año 2018 a los tratamientos evaluados de ingredientes activos fungicidas y concentraciones.

El comportamiento de sensibilidad que mostraron los aislados de la cepa “3” correspondientes al municipio de San Juan Ostuncalco del departamento de Quetzaltenango (cuadro 14A.), para el ingrediente Mancozeb las concentraciones de 1 mg/L y 10 mg/L fueron resistentes ya que los porcentajes de inhibición fueron de 114.55 % y de 94.77 % respectivamente. La concentración de 1 mg/L el crecimiento del aislado fue superior al de la cepa testigo, por lo que el porcentaje fue mayor al 100 %. En las concentraciones de 100 mg/L, 500 mg/L y 1,000 mg/L la cepa resultó ser sensible ya que no hubo crecimiento micelial.

La sensibilidad de la cepa 3 para el ingrediente de Trifloxistrobina la concentración de 1 mg/L fue resistente con un porcentaje de 66.28 % y las de 10 mg/L, 100 mg/L, 500 mg/L y 1,000 mg/L fueron de una sensibilidad intermedia al producto fungicida. Los porcentajes obtenidos fueron de 40.12 %, 22.10 %, 20.93 % y 15.12 % respectivamente, encontrándose dentro del rango intermedio del 10 % al 60 % de crecimiento micelial al compararlo con la cepa testigo.

En la combinación de ingredientes activos de Fosetil aluminio + Propamocarb en la cepa 3 las concentraciones de 1 mg/L y 10 mg/L fueron catalogadas como resistentes dado que los porcentajes de inhibición obtenidos fueron de 83.15 % y de 83.73 % respectivamente. En las concentraciones de 100 mg/L, 500 mg/L y 1,000 mg/L se obtuvo una sensibilidad intermedia ya que los porcentajes no superaron el rango de crecimiento micelial superior al 60 % con 55.82 %, 30.23 % y 18.61 % respectivamente. No se obtuvieron aislados sensibles a esta combinación de ingredientes activos fungicidas para esta cepa.

La sensibilidad de la cepa 3 para el ingrediente activo de Fosetil aluminio en la concentración de 1 mg/L se obtuvo un porcentaje de inhibición del 88.96 % por lo que se considera que los aislados fueron resistentes a este tratamiento. En las concentraciones de 10 mg/L y 100 mg/L se consideraron de sensibilidad intermedia ya que se obtuvieron porcentajes de 55.82 % y de 25.00 % respectivamente. Y en las concentraciones de 500 mg/L y 1,000 mg/L se consideraron los aislados sensibles ya que no se reportó crecimiento micelial por lo que los porcentajes de inhibición fueron del 0 % en ambas.

Con el ingrediente activo fungicida de N-Ftalimida (Folpet) la cepa 3 en las concentraciones de 1 mg/L y 10 mg/L fueron consideradas resistentes con porcentajes de inhibición del 99.42 % y del 81.98 % lo cual indica que los aislados tuvieron crecimientos miceliales superiores al 60 % del crecimiento que se obtuvo de la cepa testigo. La concentración de 100 mg/L los aislados obtuvieron una sensibilidad intermedia con un porcentaje de 43.61 %, no superando el 50 % del crecimiento micelial de la cepa testigo; y en las concentraciones de 500 mg/L y 1,000 mg/L la cepa fue sensible con porcentajes de 5.81 % y de 0 % respectivamente. En esta última concentración en los aislados no se reportó crecimiento micelial.

La cepa 3 ante la combinación de ingredientes activos fungicidas de Mefenoxam + Mancozeb obtuvo en la concentración de 1 mg/L resistencia debido a que los aislados tuvieron un crecimiento micelial superior al 60 % del crecimiento de la cepa testigo con un porcentaje del 97.68 %. La concentración de 10 mg/L la sensibilidad fue intermedia con un porcentaje de inhibición del 52.33 % y en las concentraciones de 100 mg/L, 500 mg/L y 1,000 mg/L los aislados fueron sensibles ya que no se observó crecimiento micelial y los porcentajes obtenidos fueron del 0 % en cada uno.

Los resultados que corresponden a la cepa "H3" colectada en el municipio de Todos Santos Cuchumatanes del departamento de Huehuetenango (cuadro 15A.), su comportamiento con respecto a la sensibilidad para el ingrediente activo fungicida de Mancozeb en las concentraciones de 1 mg/L y 10 mg/L los porcentajes de inhibición obtenidos fueron de 164.08 % y de 135.95 % respectivamente. Los porcentajes fueron superiores al 100 % por lo que los aislados evaluados su crecimiento micelial fue superior al crecimiento obtenido en la cepa testigo, considerándose resistentes. En las concentraciones de 100 mg/L, 500 mg/L y 1,000 mg/L los aislados fueron sensibles ya que no se reportó crecimiento micelial y los porcentajes de inhibición obtenidos fueron del 0 %.

Con el ingrediente activo de Trifloxistrobina, la cepa H3 en las concentraciones de 1 mg/L, 10 mg/L, 100 mg/L y 500 mg/L los aislados resultaron ser resistentes ya que los porcentajes de inhibición fueron superiores al 60 % de acuerdo a la escala utilizada. Los porcentajes

fueron de 145.65 %, 125.25 %, 70.87 % y de 64.08 % respectivamente. Los primeros dos porcentajes fueron superiores al 100 % por lo que el crecimiento de los aislados evaluados fue superior al crecimiento que se obtuvo en la cepa testigo. En la concentración de 1,000 mg/L la cepa H3 obtuvo una sensibilidad intermedia ya que el porcentaje de inhibición fue del 56.31 %.

En la combinación de ingredientes activos de Fosetil aluminio+ Propamocarb las concentraciones de 1 mg/L, 10 mg/L, 100 mg/L y 500 mg/L los aislados de la cepa H3 fueron resistentes al producto fungicida, ya que los porcentajes de inhibición fueron de 97.09 %, 84.47 %, 83.51 % y de 68.95 % respectivamente, los cuales son superiores al rango del 60 % de la escala. La concentración de 1,000 mg/L la sensibilidad fue intermedia con un porcentaje del 56.31 %.

El comportamiento de sensibilidad que obtuvo los aislados con el ingrediente activo de Fosetil aluminio en las concentraciones de 1 mg/L y 10 mg/L fueron resistentes con porcentajes del 76.70 % y de 71.86 %. La concentración de 100 mg/L obtuvo un porcentaje de 59.22 % por lo que se catalogó como sensibilidad intermedia, y en las concentraciones de 500 mg/L y 1,000 mg/L los porcentajes de inhibición fueron del 0 % ya que no se obtuvo crecimiento micelial en los aislados, por lo tanto, fueron sensibles.

El ingrediente activo de N-Ftalimida (Folpet), los aislados de la cepa H3 en las concentraciones de 1 mg/L, 10 mg/L y 100 mg/L fueron catalogadas como resistentes con porcentajes de inhibición de 85.44 %, 81.56 % y de 60.21 % respectivamente. Las concentraciones de 500 mg/L y 1,000 mg/L los aislados no reportaron crecimiento micelial, por lo cual los porcentajes de inhibición fueron del 0 % y se consideraron sensibles.

La combinación de ingredientes activos fungicidas de Mefenoxam + Mancozeb, el comportamiento de la cepa H3 en las concentraciones de 1 mg/L y 10 mg/L fueron resistentes con porcentajes de inhibición de 105.83 % para la primera concentración, siendo superior al 100 % indicando que el crecimiento de los aislados fue superior al crecimiento micelial que se obtuvo en la cepa testigo; y un porcentaje de 82.52 % para la segunda

concentración. Las concentraciones de 100 mg/L, 500 mg/L y 1,000 mg/L fueron consideradas sensibles por los aislados ya que no presentaron crecimiento micelial y sus porcentajes de inhibición fueron del 0 %.

Si se observa la gráfica de la figura 5 el comportamiento de sensibilidad, los aislados de la cepa H3 presentan mayor resistencia a los tratamientos evaluados, esto puede ser debido a las condiciones climáticas y edáficas que presenta la zona de Todos Santos Cuchumatanes, se considera que esta cepa de *Phytophthora infestans* ataca los cultivos de tomate y papa de una manera más agresiva además de que se encuentra en una constante exposición a fungicidas.

La producción de papa (*Solanum tuberosum* L.) en Guatemala según datos del Ministerio de Alimentación y Ganadería –MAGA- en el año 2016, se encuentra distribuida de la siguiente forma: el 32 % para el departamento de Huehuetenango, 23 % para Quetzaltenango, 21 % en San Marcos, 6 % para Guatemala, Sololá el 14 % y el resto de los departamentos de la República conforman el 14 % restante (el departamento de Chimaltenango ocupa 3.70 % de la producción).

En el caso de la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), el MAGA lo distribuyó de la siguiente forma: Jutiapa con el 20 %, Baja Verapaz con un 20 %, Chiquimula con 11 %, Guatemala con 8 %, Zacapa 6 % al igual que Alta Verapaz, Jalapa con 5 %, Chimaltenango con 1 % y en el resto de la República el 16 % restante (MAGA 2016). Las cepas de *Phytophthora infestans* utilizadas en la investigación son representativas de las zonas productoras para Guatemala en ambos cultivos.

La tendencia de *Phytophthora infestans* en estas zonas productoras es generar resistencia a los ingredientes fungicidas ya que al comparar el comportamiento que tuvieron todas las cepas de evaluadas con el ingrediente activo de Mancozeb generalmente en las concentraciones de 1 mg/L y 10 mg/L, se puede observar que el crecimiento micelial fue mayor que el crecimiento obtenido en los testigos de las cepas, por esta razón algunos porcentajes de inhibición superan el 100 %.

Este comportamiento también se obtuvo en las concentraciones del ingrediente activo fungicida Trifloxistrobina en la cepa H3. Por lo que puede asumirse que las cepas han adquirido resistencia al fungicida debido a que es un producto aplicado regularmente por los agricultores en los cultivos de tomate y papa, y al utilizarlos en estas concentraciones mínimas llega a incrementar el crecimiento del patógeno en los cultivos o el modo/sitio de acción ya no es efectivo para el control del oomiceto.

Las concentraciones efectivas de los ingredientes activos y que resultaron ser sensibles en las cepas de este estudio corresponden a los 100 mg/L, 500 mg/L y 1,000 mg/L del producto y en comparación con otros estudios que han realizado, las concentraciones que evaluaban no superaban los 100 mg/L (Rekanović, E. et al. 2012).

La resistencia a ingredientes como Mefenoxam puede observarse en la investigación de Saville et al. 2015, en donde las líneas clonales US de *Phytophthora infestans* presentaron altas variaciones en el crecimiento micelial en las concentraciones evaluadas, contrastando con ingredientes activos como azoxystrobin, cymoxanil, fluopicolide, mandipropamid o cyazofamid en donde se consideraron sensibles los aislados.

7. CONCLUSIONES

1. Los productos efectivos para el control del crecimiento micelial de las cepas de *Phytophthora infestans* fueron: Mancozeb y la combinación de Mefenoxam + Mancozeb en concentraciones de 100 mg/L, 500 mg/L y 1,000 mg/L y los ingredientes de Fosetil aluminio y N Ftalimida (Folpet) en concentraciones de 500 mg/L y 1,000 mg/L. La combinación de ingredientes de Fosetil aluminio + Propamocarb y Trifloxistrobina no fueron efectivos en el control de *P. infestans* debido a que presentaron crecimiento micelial en todas las concentraciones evaluadas.
2. La sensibilidad de los aislados evaluados se pudo observar en los cuatro productos que se consideraron efectivos en el manejo de *Phytophthora infestans* y en las concentraciones respectivas. Sin embargo, se obtuvo resistencia y sensibilidad intermedia en todos los ingredientes activos, debido a los mecanismos del patógeno que utiliza para generar resistencia.

8. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda evitar el uso de productos fungicidas en donde los ingredientes activos sean Fosetil aluminio + Propamocarb y Trifloxistrobina, ya que no fueron efectivos en el control de *Phytophthora infestans* en las cepas obtenidas de Santa Cruz Balanyá (Chimaltenango), San Juan Ostuncalco (Quetzaltenango), San Lorenzo (San Marcos) y Todos Santos Cuchumatanes (Huehuetenango), debido a que se determinó que el patógeno presentaba resistencia o una sensibilidad intermedia a las concentraciones evaluadas.
2. Se recomienda también realizar una investigación para determinar si las concentraciones de 100 mg/L, 500 mg/L y 1,000 mg/L de los ingredientes que fueron efectivos para el control de *Phytophthora infestans* pueden llegar a causar fitotoxicidad en los cultivos.
3. Debido a la capacidad del patógeno de generar resistencia a los ingredientes activos, es necesario la investigación del uso de nuevos ingredientes activos para el manejo de este oomiceto, debido al impacto económico que pueden llegar a generar si se establece en cultivos de importancia en campo.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. Acuña, I; Araya, M. 2017. Fitopatología: Enfermedades de la papa. Chile, Instituto de Investigaciones Agropecuarias -INIA-, Sanidad Vegetal. 2 p. (Ficha técnica).
2. Agrios, GN. 2005. Plant pathology. 5 ed. San Diego, California, USA, Elsevier Academic Press. 992 p.
3. Alarcón, J; Galindo, J. 2001. Plagas y enfermedades de la papa. Colombia, ICA. p. 66-74. (Boletín de Sanidad).
4. Botero, H; Gilchrist, E. 1997. Evaluación de la compatibilidad de diferentes aislamientos del hongo *Phytophthora infestans* Mont. De Bary con algunas especies de la familia Solanaceae. Medellín, Colombia, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias. 73 p. Disponible en <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/30014>
5. CITEPAPA (Centro de Innovación Productiva y Transferencia Tecnológica Privado Papa y Otros Cultivos Andinos, Perú). 2018. Morfología del cultivo de la papa. *In* Todo sobre la papa. Perú. Disponible en <https://www.citepapa.pe/todo-sobre-la-papa/morfologia-de-la-papa/>
6. Cornell University, Departament of Plant Pathology and Plant Microbe-Biology, USA. 2005. Protocol: Pea broth (for micelial growth and DNA extraction). *In* Biology of *Phytophthora infestans* and management of late blight. USA. Consultado 20 feb. 2018. Disponible en <http://www.plantpath.cornell.edu/Fry/Protocols-PeaBroth.html>
7. Daayf, F; Platt, HW; Peeters, RD. 2000. Changes in mating type, resistance to metalaxyl, and *gpi*-allozyme genotypes of *Phytophthora infestans* in Canada provinces from 1996 to 1998. *Journal Plant Pathology* 22:110–116. Disponible en <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/07060661.2014.892900?src=recss>
8. Deahl, KL; Inglis, DA; DeMuth, SP.1993. Testing for resistance to metalaxyl in *Phytophthora infestans*, isolates from north-western Washington. *American Potato Journal* 70:770-795. Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02849105>
9. Erwin, DC; Ribeiro, OK. 1996. *Phytophthora* diseases worldwide. Minnesota, USA. The American Phytopathology Society. 562 p.
10. FAO, Italia. 2012. Código internacional de conducta para la distribución y utilización de plaguicidas: Directrices sobre la prevención y manejo de la resistencia a los plaguicidas. Roma, Italia. 41 p. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-a0220s.pdf>

11. Forbes, G. 2001. Resistance to fungicides: Theory and practice. *In* Proceedings of the International Workshop on Complementing Resistance to Late Blight (*Phytophthora infestans*) in the Andes (1., 2001, Cochabamba, Bolivia, GILB Latin American Workshops 1). Lima, Peru, International Potato Center. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/237717349_Resistencia_a_los_Fungicidas_Teoria_y_Practica
12. FRAC (Fungicide Resistance Action Committee, Suiza). 2019. Clasificación de fungicidas y bactericidas según el modo de acción. Consultado 6 jun. 2019. Disponible en <https://www.syngenta.es/sites/g/files/zhg516/f/2019/04/clasificacion-fungicidas-bactericidas-segun-modo-accion.pdf>
13. _____. 2019. FRAC code list. Fungicides sorted by mode of action. Pathogen risk list. Consultado 15 ene. 2019. Disponible en <http://www.frac.info/docs/default-source/publications/frac-code-list/frac-code-list-2019.pdf>
14. Fry, WE. 2008. *Phytophthora infestans*: The plant destroyer. *Molecular Plant Pathology* 9(3):385-402. Disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6640234/>
15. Fry, WE; Mizubuti, ES. 1998. Potato late blight. *In* The epidemiology of plant diseases. D. Gareth Jones (ed.). Dordrecht, Netherlands, Kluwer Publishers. p. 371-388.
16. Galindo, J; Gallegly, ME. 1960. The nature of sexuality in *Phytophthora infestans*. *Phytopathology* 50:123-128. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/327615835_Interthallic_Sexual_Reactions_Among_Achlya_Isolates_from_Natural_Populations
17. Gallegly, ME; Galindo, J. 1958. Mating types and oospores of *Phytophthora infestans* in nature in Mexico. *Phytopathology* 48:274-277.
18. García, HG; Marín, M; Jaramillo, S; Cotes, JM. 2008. Sensitivity to four systemic fungicides of Colombian isolates of *Phytophthora infestans*. *Agronomía Colombiana* 26(1):47-57. Disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99652008000100007
19. Gepp, V; Mondino, P. 2011. Control químico. Uruguay, Universidad de la República, Facultad de Agronomía. Consultado 20 abr. 2018. Disponible en <http://www.pv.fagro.edu.uy/cursos/pvh/DocsPVH/C-QUIMICO.pdf>
20. Goodwin, SB; Cohen, BA; Fry, WE. 1994. Panglobal distribution of a single clonal lineage of the Irish potato famine fungus. *In* Proceedings of the National Academy of Sciences 91(24):11591-11595. Disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC45277/>

21. Goodwin, SB; Sujkowski, LS; Fry, WE. 1996. Widespread distribution and probable origin of Resistance to metalaxyl in clonal genotypes of *Phytophthora infestans* in the United States and Western Canada. *Phytopathology* 86(7):793-799. Disponible en https://www.apsnet.org/publications/phytopathology/backissues/Documents/1996Articles/Phyto86n07_793.PDF
22. Grünwald, NJ; Flier, WG. 2005. The biology of *Phytophthora infestans* at its center of origin. *Annual Review Phytopathology* 43:171-90. Disponible en <https://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.phyto.43.040204.135906>
23. Jaramillo Villegas, S. 2003. Monografía sobre *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary. Medellín, Colombia, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Ciencias Agronómicas. 141 p. Disponible en <https://es.slideshare.net/johannaperezcandia/monografia-phytophthora>
24. Kováts, K; Binder, A; Hohl, HR. 1991. Cytology of induced systemic resistance of tomato to *Phytophthora infestans*. *Planta* 183(4):191-196. Disponible en https://www.jstor.org/stable/23380643?seq=1#page_scan_tab_contents
25. Llácer, G; Jiménez Díaz, RM. 2000. Patología vegetal. *Sociedad Española de Fitopatología* 2:739-769.
26. López Bautista, EA; González Ramírez, BH. 2016. Diseño y análisis de experimentos: Fundamentos y aplicaciones en agronomía. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. p. 199-209. Disponible en https://issuu.com/byrong/docs/dise_o_y_an_lisis_de_exp._2_ed_2013
27. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Guatemala). 2016. El agro en cifras. Guatemala. Disponible en <https://www.maga.gob.gt/download/El%20agro16.pdf>
28. Mantecón, JD. 2002. Enfermedades y plagas de la papa: Tizón tardío (*Phytophthora infestans* (Mont.) De Bary). Argentina, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria –INTA-, Actualidad Papera no. 3.
29. Nuez, F. 2001. El cultivo de tomate: anatomía y fisiología de la planta. Madrid, España, Mundi Prensa. p. 63-84.
30. Patiño, I; Rodríguez, M. 2001. Aislamiento e identificación de hongos fitopatógenos y evaluación de fungicidas frente a los hongos más relevantes en vid (*Vitis vinifera*), variedad Chardonnay en el viñedo San Martín, en el municipio de Sogamoso, departamento de Boyacá. Tesis Ing. Agr. Colombia, Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ciencias Básicas.
31. Pérez, W; Forbes, G. 2008. Manual técnico: El tizón tardío de la papa. Lima, Perú, Centro Internacional de la Papa, Departamento de Comunicación y Difusión del

CIP. 41 p. Disponible en <http://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/08/004271.pdf>

32. Rekanović, E; Potočnik, I; Milijašević-Marčić, S; Stepanović, M; Todorović, B; Mihajlović, M. 2012. Toxicity of metalaxyl, azoxystrobin, dimetomorph, cymoxanil, zoxamide and mancozeb to *Phytophthora infestans* isolates from Serbia. Journal of Environmental Science and Health (Part B) 47(5):403-409. Disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22424065>
33. Sánchez-Pérez, A; Ruiz-Chutan, JA; Berdúo-Sandoval, JE. 2018. Diversidad genética de aislados de *Phytophthora infestans* colectados en zonas productoras de papa y tomate de Guatemala. Ciencia, Tecnología y Salud 5(2):151-161. Disponible en <https://digi.usac.edu.gt/ojsrevistas/index.php/cytes/article/view/489/467>
34. Saville, A; Graham, K; Grünwald, NJ; Myers, K; Fry, WE; Ristaino, JB. 2015. Fungicide sensitivity of U.S. genotypes of *Phytophthora infestans* to six oomycete-targeted compounds. Plant Disease 99(5):659-666. Disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30699679>
35. Shattock, R. 1988. Studies on the inheritance o resistance to metalaxyl in *Phytophthora infestans*. Plant Pathology 37:4-11. Disponible en <https://bsppjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-3059.1988.tb02188.x>
36. Smart, CD; Sandrock, R; Fry, W. 2000. Molecular techniques and mystery of the potato late blight pathogen. Plant-microbe Interactions. New York, US, APS Press. v. 5, p. 21-41.
37. Tabares, F. 2002. Evaluación *in vitro* de diferentes compuestos químicos agrícolas para el control de los hongos *Colletotrichum gloeosporoides* y *C. acutatum*, causantes de la antracnosis de los cítricos. Tesis Microbiol. Ind. Colombia, Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ciencias Básicas.
38. Tooley, PW; Fry, WE; Villarreal Gonzalez, MJ. 1985. Isozyme characterization of sexual and asexual *Phytophthora infestans* populations. Journal of Heredity 76(6):431-435. Disponible en <https://academic.oup.com/jhered/article-abstract/76/6/431/819927?redirectedFrom=fulltext>
39. Villeda, JD. 1993. El cultivo de tomate. Guatemala, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Programa de Desarrollo Agrícola. 142 p.

10. ANEXOS

Cuadro 8A. Crecimiento micelial obtenido en los distintos tratamientos evaluados para la cepa "2" de *Phytophthora infestans*.

Ingrediente activo	Concentración (mg/L)	Promedio crecimiento micelial (cm) a 8 días	Promedio crecimiento micelial (cm) a 15 días
Testigo	-	2.733	5.733
Mancozeb	1	1.933	6.367
	10	1.233	6.267
	100	0.000	0.000
	500	0.000	0.000
	1,000	0.000	0.000
Trifloxistrobina	1	0.733	0.833
	10	0.367	0.433
	100	0.233	0.333
	500	0.200	0.267
	1,000	0.267	0.300
Fosetil aluminio + Propomocarb	1	2.367	5.667
	10	1.900	4.933
	100	1.633	4.333
	500	0.533	1.267
	1,000	0.267	0.700
Fosetil aluminio	1	2.167	5.633
	10	1.733	5.133
	100	0.367	0.633
	500	0.000	0.000
	1,000	0.000	0.000
N- Ftalimida "Folpet"	1	2.367	4.800
	10	1.567	3.733
	100	0.567	3.233
	500	0.100	0.367
	1,000	0.100	0.100
Mefenoxam + Mancozeb	1	2.400	4.833
	10	1.000	1.600
	100	0.000	0.000
	500	0.000	0.000
	1,000	0.000	0.000

Fuente: elaboración propia, 2018.

Cuadro 9A. Crecimiento micelial obtenido en los distintos tratamientos evaluados para la cepa "12" de *Phytophthora infestans*.

Ingrediente activo	Concentración (mg/L)	Promedio crecimiento micelial (cm) a 8 días	Promedio crecimiento micelial (cm) a 15 días
Testigo	-	0.967	2.633
Mancozeb	1	0.833	3.367
	10	0.800	2.900
	100	0.000	0.000
	500	0.000	0.000
	1,000	0.000	0.000
Trifloxistrobina	1	0.200	0.267
	10	0.167	0.233
	100	0.100	0.200
	500	0.167	0.233
	1,000	0.133	0.200
Fosetil aluminio + Propomocarb	1	0.733	1.733
	10	0.367	1.500
	100	0.567	1.167
	500	0.267	1.100
	1,000	0.333	1.433
Fosetil aluminio	1	1.167	2.433
	10	1.033	2.233
	100	0.233	0.200
	500	0.000	0.000
	1,000	0.000	0.000
N- Ftalimida "Folpet"	1	0.933	1.567
	10	0.700	0.967
	100	0.367	0.867
	500	0.000	0.000
	1,000	0.000	0.000
Mefenoxam + Mancozeb	1	0.433	1.600
	10	0.000	0.000
	100	0.000	0.000
	500	0.000	0.000
	1,000	0.000	0.000

Fuente: elaboración propia, 2018.

Cuadro 10A. Crecimiento micelial obtenido en los distintos tratamientos evaluados para la cepa "3" de *Phytophthora infestans*.

Ingrediente activo	Concentración (mg/L)	Promedio crecimiento micelial (cm) a 8 días	Promedio crecimiento micelial (cm) a 15 días
Testigo	-	3.200	5.733
Mancozeb	1	2.833	6.567
	10	1.500	5.433
	100	0.000	0.000
	500	0.000	0.000
	1,000	0.000	0.000
Trifloxistrobina	1	1.500	3.800
	10	0.867	2.300
	100	0.533	1.267
	500	0.533	1.200
	1,000	0.733	0.867
Fosetil aluminio + Propomocarb	1	2.833	4.767
	10	2.433	4.800
	100	2.300	3.200
	500	1.267	1.733
	1,000	0.500	1.067
Fosetil aluminio	1	2.800	5.100
	10	2.867	3.200
	100	1.200	1.433
	500	0.000	0.000
	1,000	0.000	0.000
N- Ftalimida "Folpet"	1	2.733	5.700
	10	2.267	4.700
	100	1.800	2.500
	500	0.200	0.333
	1,000	0.000	0.000
Mefenoxam + Mancozeb	1	2.067	5.600
	10	1.367	3.000
	100	0.000	0.000
	500	0.000	0.000
	1,000	0.000	0.000

Fuente: elaboración propia, 2018.

Cuadro 11A. Crecimiento micelial obtenido en los distintos tratamientos evaluados para la cepa "H3" de *Phytophthora infestans*.

Ingrediente activo	Concentración (mg/L)	Promedio crecimiento micelial (cm) a 8 días	Promedio crecimiento micelial (cm) a 15 días
Testigo	-	2.400	3.433
Mancozeb	1	3.067	5.633
	10	1.733	4.667
	100	0.000	0.000
	500	0.000	0.000
	1,000	0.000	0.000
Trifloxistrobina	1	2.833	5.000
	10	1.967	4.300
	100	1.500	2.433
	500	1.433	2.200
	1,000	1.333	1.967
Fosetil aluminio + Propomocarb	1	1.433	3.333
	10	1.233	2.900
	100	1.133	2.867
	500	0.900	2.367
	1,000	0.900	1.933
Fosetil aluminio	1	1.533	2.633
	10	1.400	2.467
	100	1.233	2.033
	500	0.000	0.000
	1,000	0.000	0.000
N- Ftalimida "Folpet"	1	1.867	2.933
	10	1.833	2.800
	100	0.767	2.067
	500	0.000	0.000
	1,000	0.000	0.000
Mefenoxam + Mancozeb	1	1.933	3.633
	10	1.667	2.833
	100	0.000	0.000
	500	0.000	0.000
	1,000	0.000	0.000

Fuente: elaboración propia, 2018.

Cuadro 12A. Porcentajes de inhibición del crecimiento micelial para la cepa "2" de *Phytophthora infestans*.

Ingrediente activo	Concentración (mg/L)	Promedio crecimiento micelial (cm)	Porcentaje de inhibición (%)	Sensibilidad
Testigo	-	5.733	-	-
Mancozeb	1	6.367	111.06	Resistente
	10	3.267	56.99	Intermedio
	100	0	0.00	Sensible
	500	0	0.00	Sensible
	1,000	0	0.00	Sensible
Trifloxistrobina	1	0.833	14.53	Intermedio
	10	0.433	7.55	Sensible
	100	0.333	5.81	Sensible
	500	0.267	4.66	Sensible
	1,000	0.3	5.23	Sensible
Fosetil aluminio + Propamocarb	1	5.667	98.85	Resistente
	10	4.933	86.05	Resistente
	100	4.333	75.58	Resistente
	500	1.267	22.10	Intermedio
	1,000	0.7	12.21	Intermedio
Fosetil aluminio	1	5.633	98.26	Resistente
	10	5.133	89.53	Resistente
	100	0.633	11.04	Intermedio
	500	0	0.00	Sensible
	1,000	0	0.00	Sensible
N- Ftalimida "Folpet"	1	4.8	83.73	Resistente
	10	3.733	65.11	Resistente
	100	3.233	56.39	Intermedio
	500	0.367	6.40	Sensible
	1,000	0.1	1.74	Sensible
Mefenoxam + Mancozeb	1	4.833	84.30	Resistente
	10	1.6	27.91	Intermedio
	100	0	0.00	Sensible
	500	0	0.00	Sensible
	1,000	0	0.00	Sensible

Fuente: elaboración propia, 2018.

Cuadro 13A. Porcentajes de inhibición del crecimiento micelial para la cepa "12" de *Phytophthora infestans*.

Ingrediente activo	Concentración (mg/L)	Promedio crecimiento micelial (cm)	Porcentaje de inhibición (%)	Sensibilidad
Testigo	-	2.633	-	-
Mancozeb	1	3.367	127.88	Resistente
	10	2.9	110.14	Resistente
	100	0	0.00	Sensible
	500	0	0.00	Sensible
	1,000	0	0.00	Sensible
Trifloxistrobina	1	0.267	10.14	Intermedio
	10	0.233	8.85	Sensible
	100	0.2	7.60	Sensible
	500	0.233	8.85	Sensible
	1,000	0.2	7.60	Sensible
Fosetil aluminio + Propamocarb	1	1.733	65.82	Resistente
	10	1.5	56.97	Intermedio
	100	1.167	44.32	Intermedio
	500	1.1	41.78	Intermedio
	1,000	1.433	54.42	Intermedio
Fosetil aluminio	1	2.433	92.40	Resistente
	10	2.233	84.81	Resistente
	100	0.2	7.60	Sensible
	500	0	0.00	Sensible
	1,000	0	0.00	Sensible
N- Ftalimida "Folpet"	1	1.567	59.51	Intermedio
	10	0.967	36.73	Intermedio
	100	0.867	32.93	Intermedio
	500	0	0.00	Sensible
	1,000	0	0.00	Sensible
Mefenoxam + Mancozeb	1	1.6	60.77	Resistente
	10	0	0.00	Sensible
	100	0	0.00	Sensible
	500	0	0.00	Sensible
	1,000	0	0.00	Sensible

Fuente: elaboración propia, 2018.

Cuadro 14A. Porcentajes de inhibición del crecimiento micelial para la cepa "3" de *Phytophthora infestans*.

Ingrediente activo	Concentración (mg/L)	Promedio crecimiento micelial (cm)	Porcentaje de inhibición (%)	Sensibilidad
Testigo	-	5.733	-	-
Mancozeb	1	6.567	114.55	Resistente
	10	5.433	94.77	Resistente
	100	0	0.00	Sensible
	500	0	0.00	Sensible
	1,000	0	0.00	Sensible
Trifloxistrobina	1	3.8	66.28	Resistente
	10	2.3	40.12	Intermedio
	100	1.267	22.10	Intermedio
	500	1.2	20.93	Intermedio
	1,000	0.867	15.12	Intermedio
Fosetil aluminio + Propamocarb	1	4.767	83.15	Resistente
	10	4.8	83.73	Resistente
	100	3.2	55.82	Intermedio
	500	1.733	30.23	Intermedio
	1,000	1.067	18.61	Intermedio
Fosetil aluminio	1	5.1	88.96	Resistente
	10	3.2	55.82	Intermedio
	100	1.433	25.00	Intermedio
	500	0	0.00	Sensible
	1,000	0	0.00	Sensible
N- Ftalimida "Folpet"	1	5.7	99.42	Resistente
	10	4.7	81.98	Resistente
	100	2.5	43.61	Intermedio
	500	0.333	5.81	Sensible
	1,000	0	0.00	Sensible
Mefenoxam + Mancozeb	1	5.6	97.68	Resistente
	10	3	52.33	Intermedio
	100	0	0.00	Sensible
	500	0	0.00	Sensible
	1,000	0	0.00	Sensible

Fuente: elaboración propia, 2018.

Cuadro 15A. Porcentajes de inhibición del crecimiento micelial para la cepa "H3" de *Phytophthora infestans*.

Ingrediente activo	Concentración (mg/L)	Promedio crecimiento micelial (cm)	Porcentaje de inhibición (%)	Sensibilidad
Testigo	-	3.433	-	-
Mancozeb	1	5.633	164.08	Resistente
	10	4.667	135.95	Resistente
	100	0	0.00	Sensible
	500	0	0.00	Sensible
	1,000	0	0.00	Sensible
Trifloxistrobina	1	5	145.65	Resistente
	10	4.3	125.25	Resistente
	100	2.433	70.87	Resistente
	500	2.2	64.08	Resistente
	1,000	1.967	57.30	Intermedio
Fosetil aluminio + Propamocarb	1	3.333	97.09	Resistente
	10	2.9	84.47	Resistente
	100	2.867	83.51	Resistente
	500	2.367	68.95	Resistente
	1,000	1.933	56.31	Intermedio
Fosetil aluminio	1	2.633	76.70	Resistente
	10	2.467	71.86	Resistente
	100	2.033	59.22	Intermedio
	500	0	0.00	Sensible
	1,000	0	0.00	Sensible
N- Ftalimida "Folpet"	1	2.933	85.44	Resistente
	10	2.8	81.56	Resistente
	100	2.067	60.21	Resistente
	500	0	0.00	Sensible
	1,000	0	0.00	Sensible
Mefenoxam + Mancozeb	1	3.633	105.83	Resistente
	10	2.833	82.52	Resistente
	100	0	0.00	Sensible
	500	0	0.00	Sensible
	1,000	0	0.00	Sensible

Fuente: elaboración propia, 2018.

Cuadro 16A. Cálculos de concentraciones a aplicar de los ingredientes activos al medio de cultivo para determinación de sensibilidad.

No.	Ingrediente activo	Producto comercial	Concentración de Ingrediente activo	Dosis de campo a evaluar		Partes por millón de Ingrediente activos		Concentración de solución madre en ppm		Cantidad de solución madre		Cantidad de producto comercial		Cantidad de medio de cultivo		Cantidad de solución madre agregar a medio de cultivo			
1	Mancozeb	Mancozeb 80 WP	80 g	0.001	g/L	1	ppm	1000	ppm	100	ml	1.25	g	30	ml	0.0020	ml	2	µL
				0.01	g/L	8	ppm	1000	ppm	100	ml	1.25	g	30	ml	0.0240	ml	24	µL
				0.1	g/L	80	ppm	1000	ppm	100	ml	1.25	g	30	ml	0.2400	ml	240	µL
				0.5	g/L	400	ppm	1000	ppm	100	ml	1.25	g	30	ml	1.2000	ml	1200	µL
				1	g/L	800	ppm	1000	ppm	100	ml	1.25	g	30	ml	2.4000	ml	2400	µL
2	Trifloxistrobina	Flint 50 WG	50 g	0.001	g/L	1	ppm	5000	ppm	100	ml	1	g	30	ml	0.0030	ml	3	µL
				0.01	g/L	5	ppm	5000	ppm	100	ml	1	g	30	ml	0.0300	ml	30	µL
				0.1	g/L	50	ppm	5000	ppm	100	ml	1	g	30	ml	0.3000	ml	300	µL
				0.5	g/L	250	ppm	5000	ppm	100	ml	1	g	30	ml	1.5000	ml	1500	µL
				1	g/L	500	ppm	5000	ppm	100	ml	1	g	30	ml	3.0000	ml	3000	µL
3	Fosetil aluminio + Propomocarb	Prevalor 84 SL	84 g	0.001	ml/L	1	ppm	10000	ppm	100	ml	1.19	ml	30	ml	0.003	ml	3	µL
				0.01	ml/L	8	ppm	10000	ppm	100	ml	1.19	ml	30	ml	0.0250	ml	25	µL
				0.1	ml/L	84	ppm	10000	ppm	100	ml	1.19	ml	30	ml	0.2520	ml	252	µL
				0.5	ml/L	420	ppm	10000	ppm	100	ml	1.19	ml	30	ml	1.2600	ml	1260	µL
				1	ml/L	840	ppm	10000	ppm	100	ml	1.19	ml	30	ml	2.5200	ml	2520	µL
4	Fosetil aluminio	Aliette 80 WP	80 g	0.001	g/L	1	ppm	10000	ppm	100	ml	1.25	g	30	ml	0.002	ml	2	µL
				0.01	g/L	8	ppm	10000	ppm	100	ml	1.25	g	30	ml	0.024	ml	24	µL
				0.1	g/L	80	ppm	10000	ppm	100	ml	1.25	g	30	ml	0.240	ml	240	µL
				0.5	g/L	400	ppm	10000	ppm	100	ml	1.25	g	30	ml	1.200	ml	1200	µL
				1	g/L	800	ppm	10000	ppm	100	ml	1.25	g	30	ml	2.400	ml	2400	µL
5	Ftalimida "Folpet"	Folpan 80 WG	80 g	0.001	ml/L	1	ppm	10000	ppm	100	ml	1.25	ml	30	ml	0.002	ml	2	µL
				0.01	ml/L	8	ppm	10000	ppm	100	ml	1.25	ml	30	ml	0.024	ml	24	µL
				0.1	ml/L	80	ppm	10000	ppm	100	ml	1.25	ml	30	ml	0.240	ml	240	µL
				0.5	ml/L	400	ppm	10000	ppm	100	ml	1.25	ml	30	ml	1.200	ml	1200	µL
				1	ml/L	800	ppm	10000	ppm	100	ml	1.25	ml	30	ml	2.400	ml	2400	µL
6	Mefenoxam + Mancozeb	Ridomil gold 64 WP	64 g	0.001	g/L	1	ppm	10000	ppm	100	ml	1.563	g	30	ml	0.002	ml	2	µL
				0.01	g/L	6	ppm	10000	ppm	100	ml	1.563	g	30	ml	0.019	ml	19	µL
				0.1	g/L	64	ppm	10000	ppm	100	ml	1.563	g	30	ml	0.192	ml	192	µL
				0.5	g/L	320	ppm	10000	ppm	100	ml	1.563	g	30	ml	0.960	ml	960	µL
				1	g/L	640	ppm	10000	ppm	100	ml	1.563	g	30	ml	1.920	ml	1920	µL

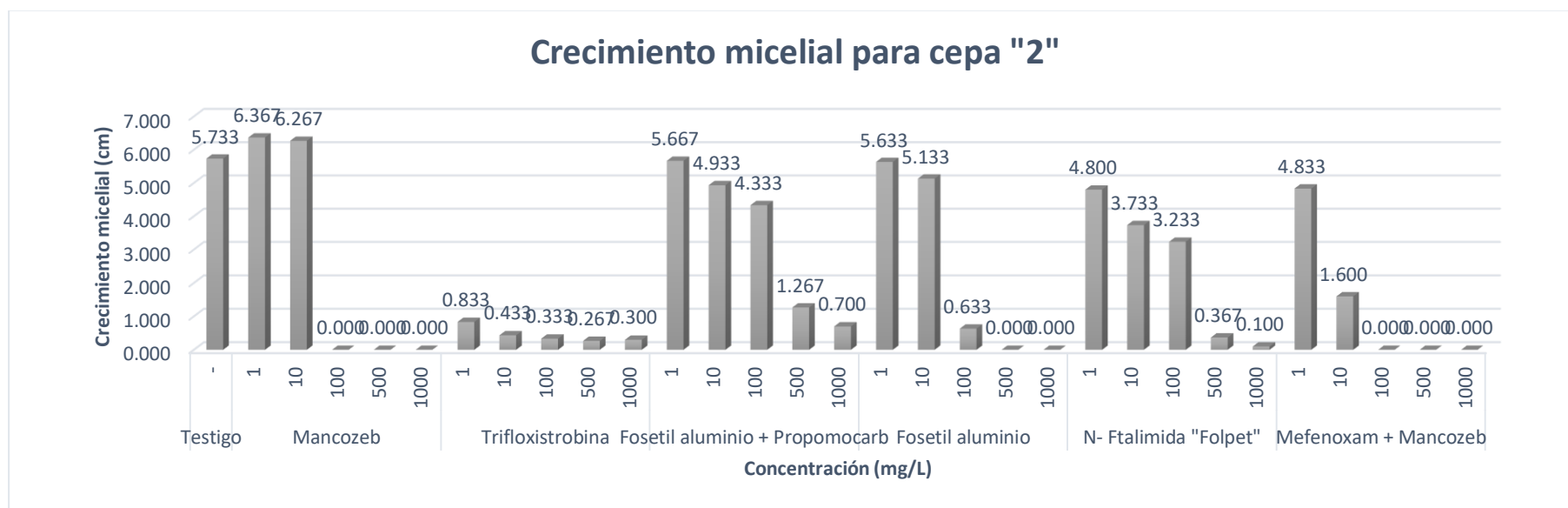
Fuente: elaboración propia, 2018.

Cuadro 17A. Resultado de prueba de medias usando el comparador Tukey en donde se relaciona el origen de cada una de las cepas de *Phytophthora infestans* con los ingredientes activos y las concentraciones evaluadas.

Cepa	Ingrediente activo	Concentración (mg/L)	Medias	n	E.E.	Comparador Tukey
3	Mefenoxam + Mancozeb	100	0.00	3	0.16	A
3	Mefenoxam + Mancozeb	500	0.00	3	0.16	A
3	Mefenoxam + Mancozeb	1000	0.00	3	0.16	A
H3	Mefenoxam + Mancozeb	100	0.00	3	0.16	A
H3	Mancozeb	100	0.00	3	0.16	A
H3	Mancozeb	1000	0.00	3	0.16	A
3	Ftalimida	1000	0.00	3	0.16	A
3	Mancozeb	100	0.00	3	0.16	A
3	Mancozeb	500	0.00	3	0.16	A
H3	Mancozeb	500	0.00	3	0.16	A
3	Mancozeb	1000	0.00	3	0.16	A
2	Fosetil aluminio	1000	0.00	3	0.16	A
2	Mancozeb	100	0.00	3	0.16	A
H3	Mefenoxam + Mancozeb	500	0.00	3	0.16	A
H3	Mefenoxam + Mancozeb	1000	0.00	3	0.16	A
3	Fosetil aluminio	1000	0.00	3	0.16	A
H3	Fosetil aluminio	1000	0.00	3	0.16	A
2	Fosetil aluminio	500	0.00	3	0.16	A
2	Mancozeb	500	0.00	3	0.16	A
2	Mancozeb	1000	0.00	3	0.16	A
12	Mancozeb	100	0.00	3	0.16	A
12	Mancozeb	500	0.00	3	0.16	A
2	Mefenoxam + Mancozeb	500	0.00	3	0.16	A
H3	Fosetil aluminio	500	0.00	3	0.16	A
2	Mefenoxam + Mancozeb	100	0.00	3	0.16	A
2	Mefenoxam + Mancozeb	1000	0.00	3	0.16	A
3	Fosetil aluminio	500	0.00	3	0.16	A
12	Mancozeb	1000	0.00	3	0.16	A
12	Mefenoxam + Mancozeb	100	0.00	3	0.16	A
H3	Ftalimida	500	0.00	3	0.16	A
H3	Ftalimida	1000	0.00	3	0.16	A
12	Mefenoxam + Mancozeb	500	0.00	3	0.16	A
12	Mefenoxam + Mancozeb	1000	0.00	3	0.16	A
12	Fosetil aluminio	500	0.00	3	0.16	A
12	Fosetil aluminio	100	0.00	3	0.16	A
12	Ftalimida	500	0.00	3	0.16	A
12	Ftalimida	1000	0.00	3	0.16	A
12	Mefenoxam + Mancozeb	10	0.00	3	0.16	A

Continuación del cuadro...						Comparador Tukey															
Cepa	Ingrediente activo	Concentración (mg/L)	Medias	n	E.E.																
H3	Ftalimida	1	2.93	3	0.16																
3	Mefenoxam+ Mancozeb	10	3.00	3	0.16																
3	Fosetil aluminio+ Propomocarb	100	3.20	3	0.16																
3	Fosetil aluminio	10	3.20	3	0.16																
2	Ftalimida	100	3.23	3	0.16																
H3	Fosetil aluminio+ Propomocarb	1	3.33	3	0.16																
12	Mancozeb	1	3.37	3	0.16																
H3	Mefenoxam+ Mancozeb	1	3.63	3	0.16																
2	Ftalimida	10	3.73	3	0.16																
3	Trifloxistrobina	1	3.80	3	0.16																
H3	Trifloxistrobina	10	4.30	3	0.16																
2	Fosetil aluminio+ Propomocarb	100	4.33	3	0.16																
H3	Mancozeb	10	4.67	3	0.16																
3	Ftalimida	10	4.70	3	0.16																
3	Fosetil aluminio+ Propomocarb	1	4.77	3	0.16																
3	Fosetil aluminio+ Propomocarb	10	4.80	3	0.16																
2	Ftalimida	1	4.80	3	0.16																
2	Mefenoxam+ Mancozeb	1	4.83	3	0.16																
2	Fosetil aluminio+ Propomocarb	10	4.93	3	0.16																
H3	Trifloxistrobina	1	5.00	3	0.16																
3	Fosetil aluminio	1	5.10	3	0.16																
2	Fosetil aluminio	10	5.13	3	0.16																
3	Mancozeb	10	5.43	3	0.16																
3	Mefenoxam+ Mancozeb	1	5.60	3	0.16																
H3	Mancozeb	1	5.63	3	0.16																
2	Fosetil aluminio	1	5.63	3	0.16																
2	Fosetil aluminio+ Propomocarb	1	5.67	3	0.16																
3	Ftalimida	1	5.70	3	0.16																
2	Mancozeb	10	6.27	3	0.16																
2	Mancozeb	1	6.37	3	0.16																
3	Mancozeb	1	6.57	3	0.16																

Fuente: elaboración propia, 2018.



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 6A. Comparación del crecimiento micelial evaluado en las diferentes concentraciones de los ingredientes activos fungicidas para la cepa "2" de *Phytophthora infestans* colectada en el departamento de Chimaltenango, Guatemala en el año 2018.



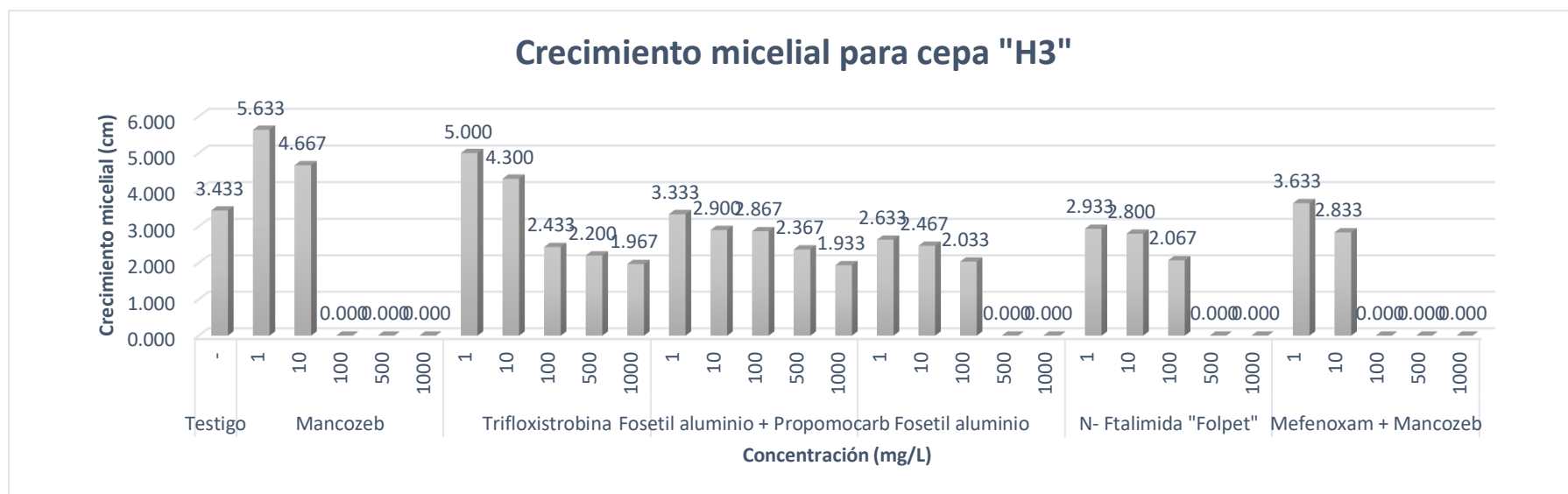
Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 7A. Comparación del crecimiento micelial evaluado en las diferentes concentraciones de los ingredientes activos fungicidas para la cepa "12" de *Phytophthora infestans* colectada en el departamento de San Marcos, Guatemala en el año 2018.



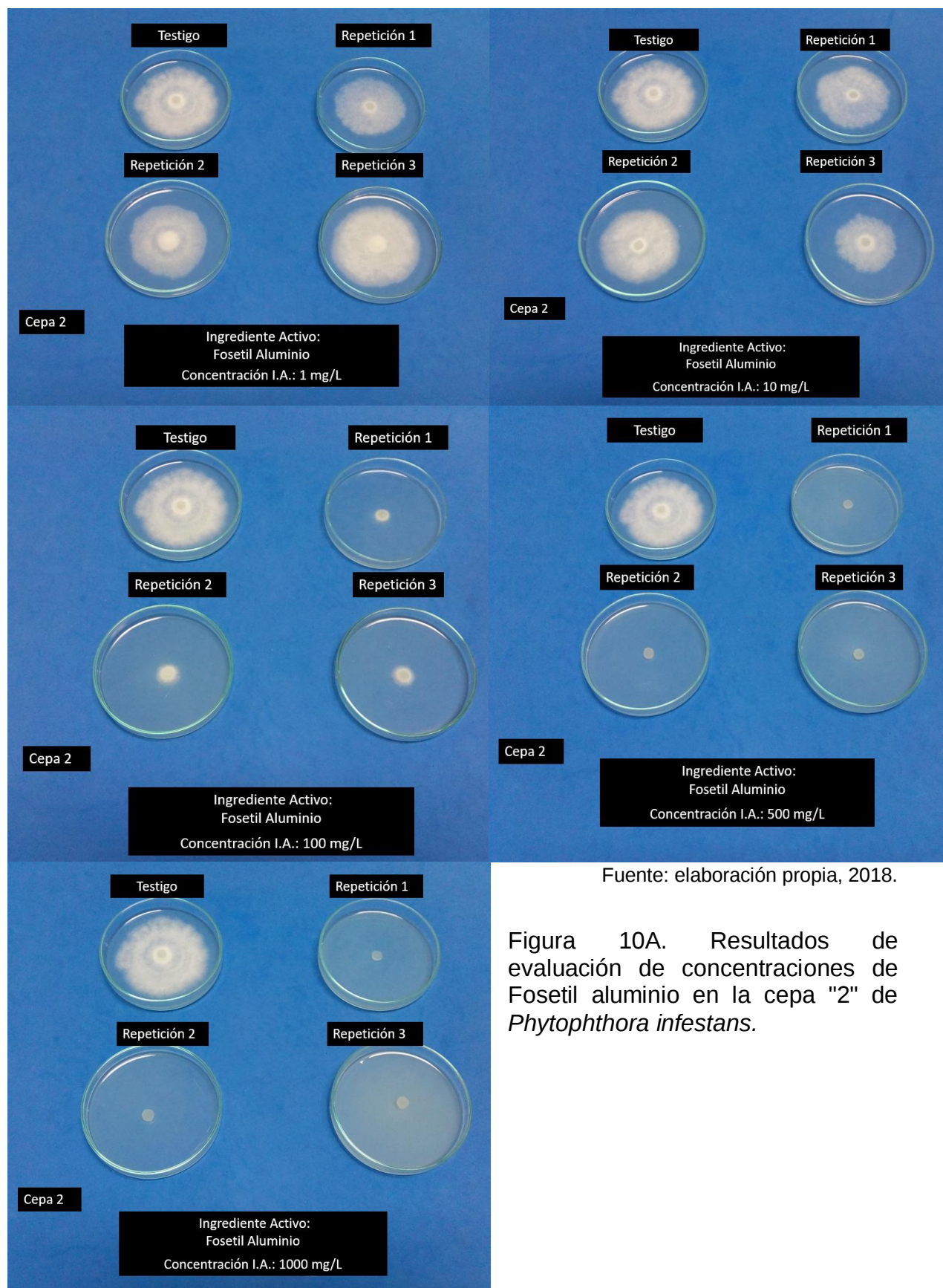
Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 8A. Comparación del crecimiento micelial evaluado en las diferentes concentraciones de los ingredientes activos fungicidas para la cepa "3" de *Phytophthora infestans* colectada en el departamento de Quetzaltenango, Guatemala en el año 2018.



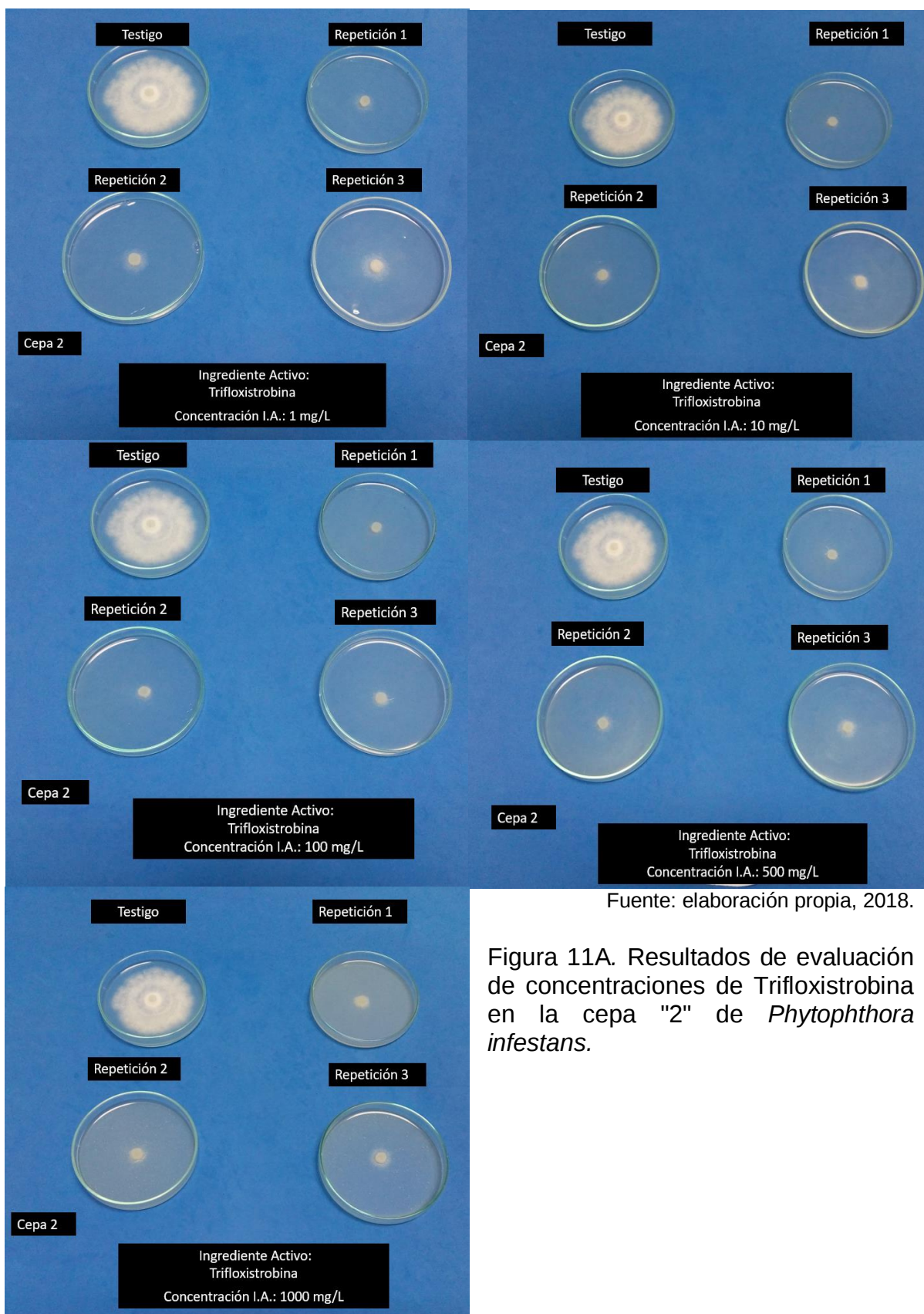
Fuente: elaboración propia, 2018.

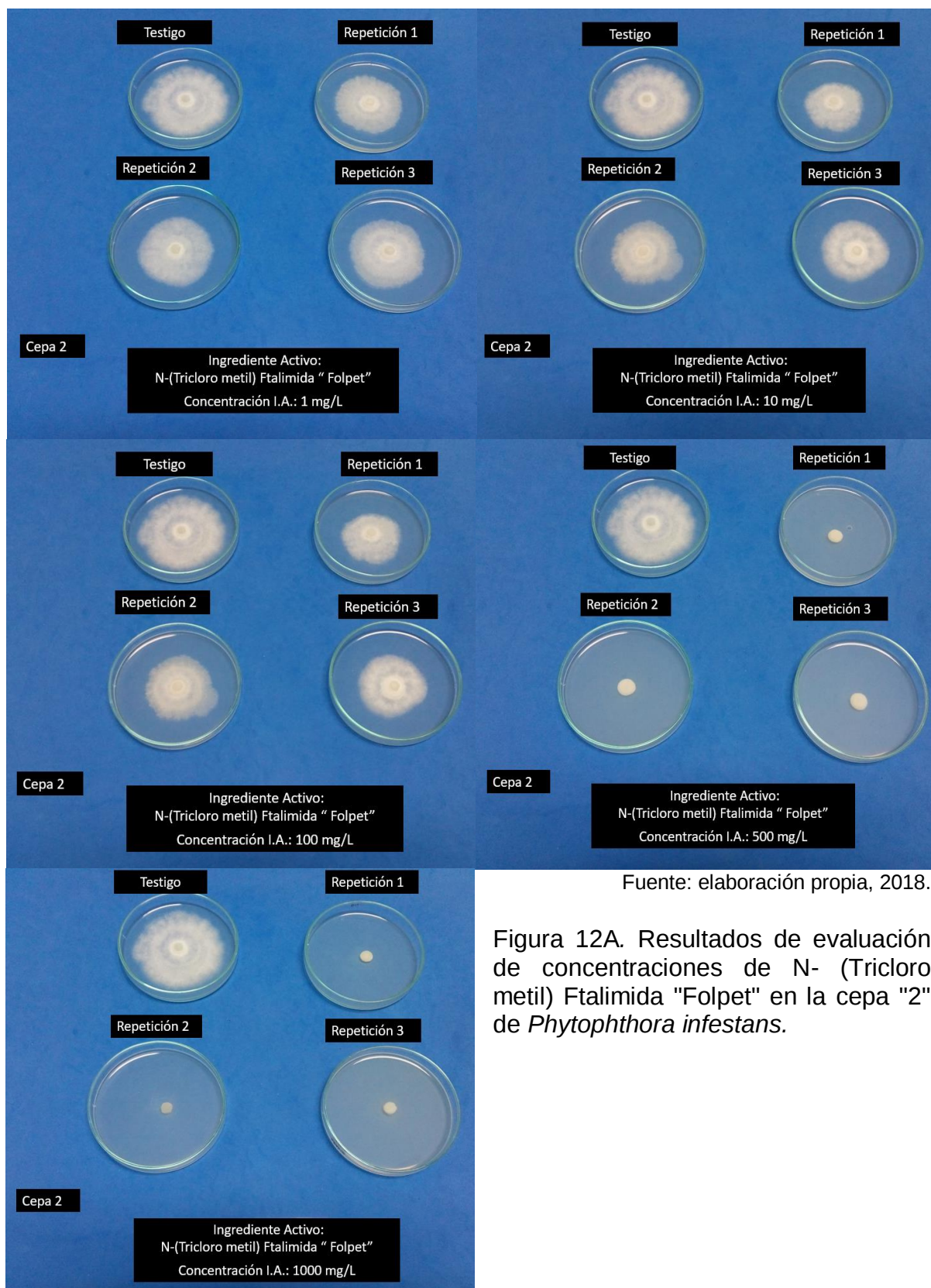
Figura 9A. Comparación del crecimiento micelial evaluado en las diferentes concentraciones de los ingredientes activos fungicidas para la cepa "H3" de *Phytophthora infestans* colectada en el departamento de Huehuetenango, Guatemala en el año 2018.

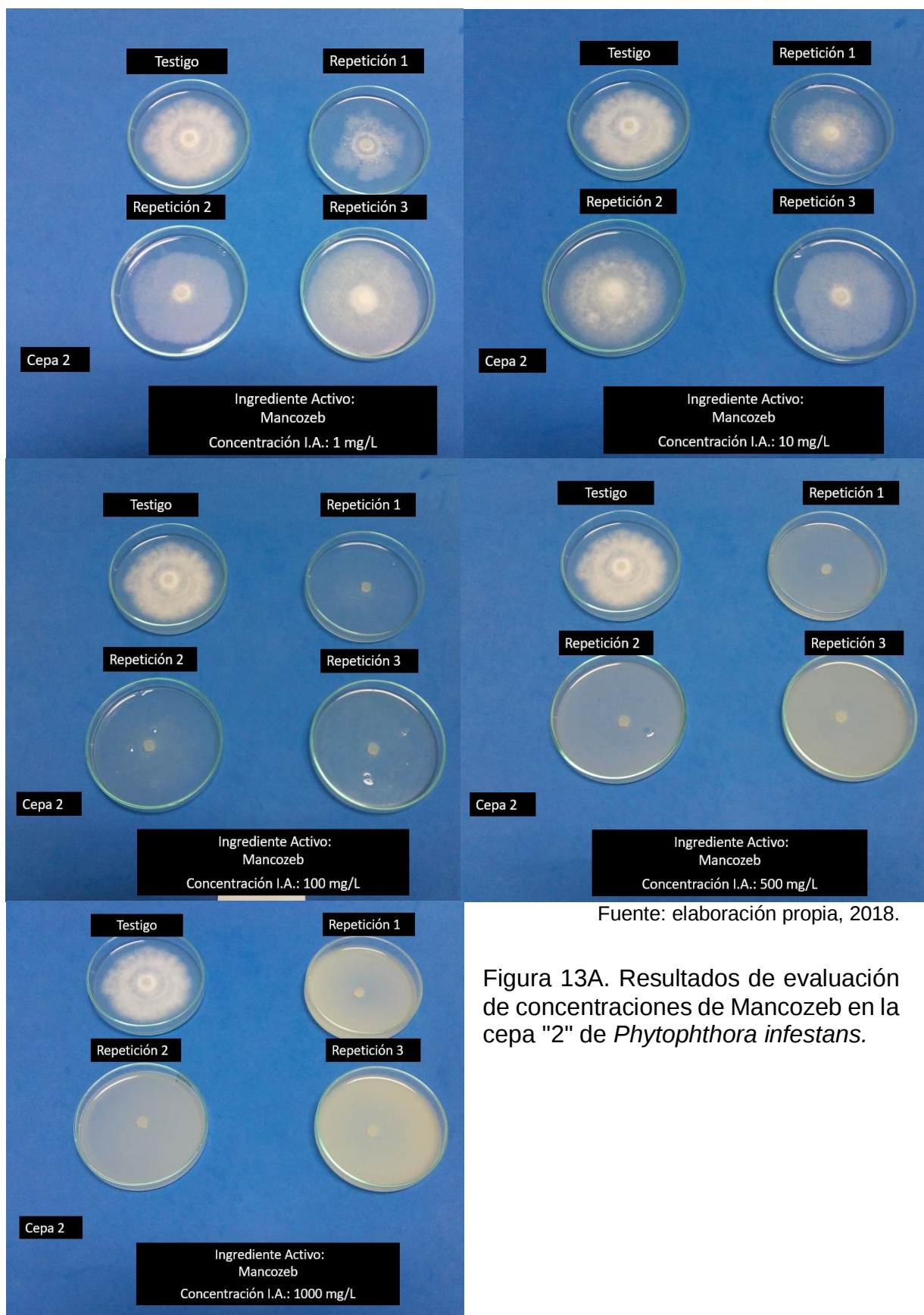


Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 10A. Resultados de evaluación de concentraciones de Fosetil aluminio en la cepa "2" de *Phytophthora infestans*.

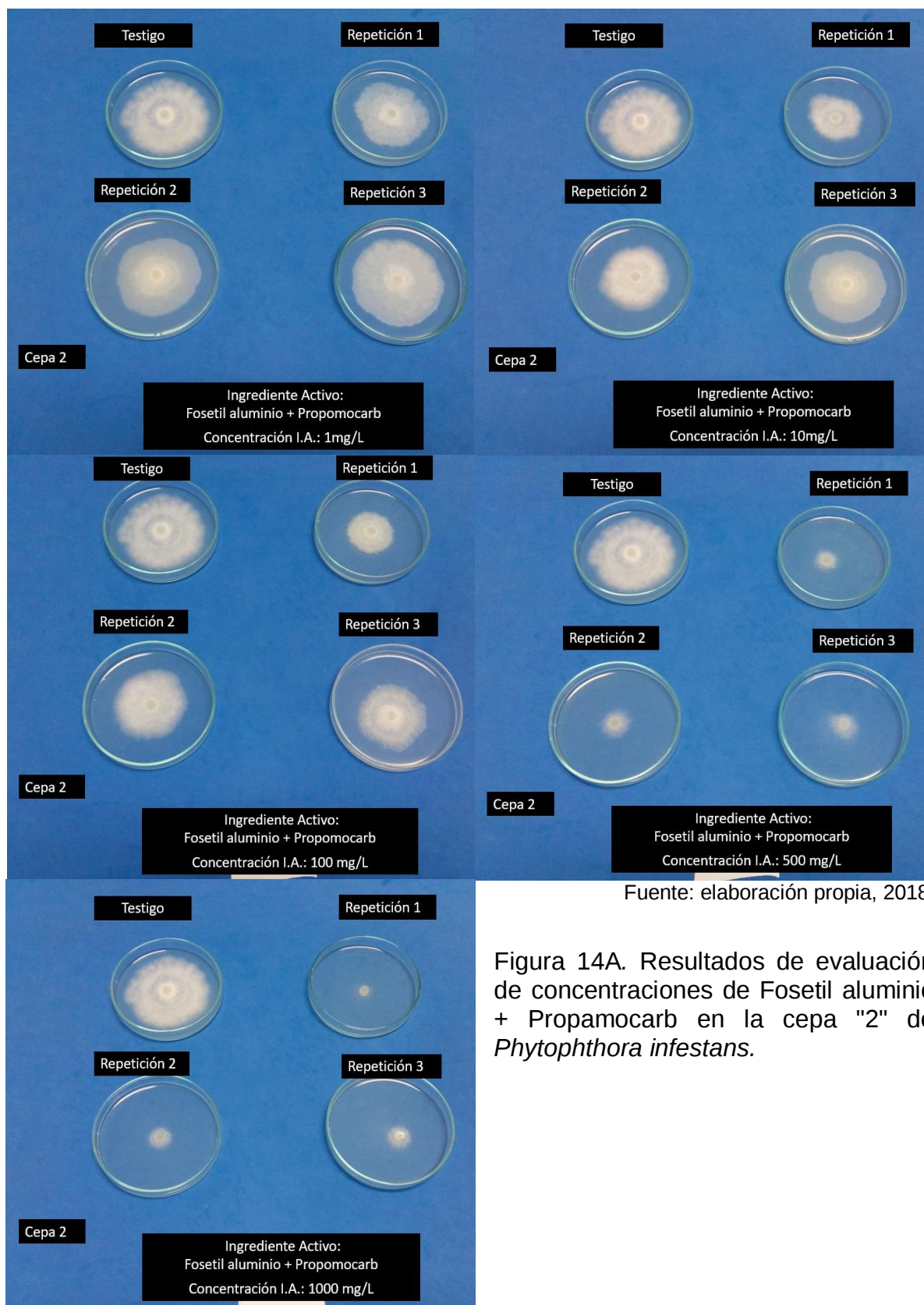






Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 13A. Resultados de evaluación de concentraciones de Mancozeb en la cepa "2" de *Phytophthora infestans*.



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 14A. Resultados de evaluación de concentraciones de Fosetil aluminio + Propomocarb en la cepa "2" de *Phytophthora infestans*.

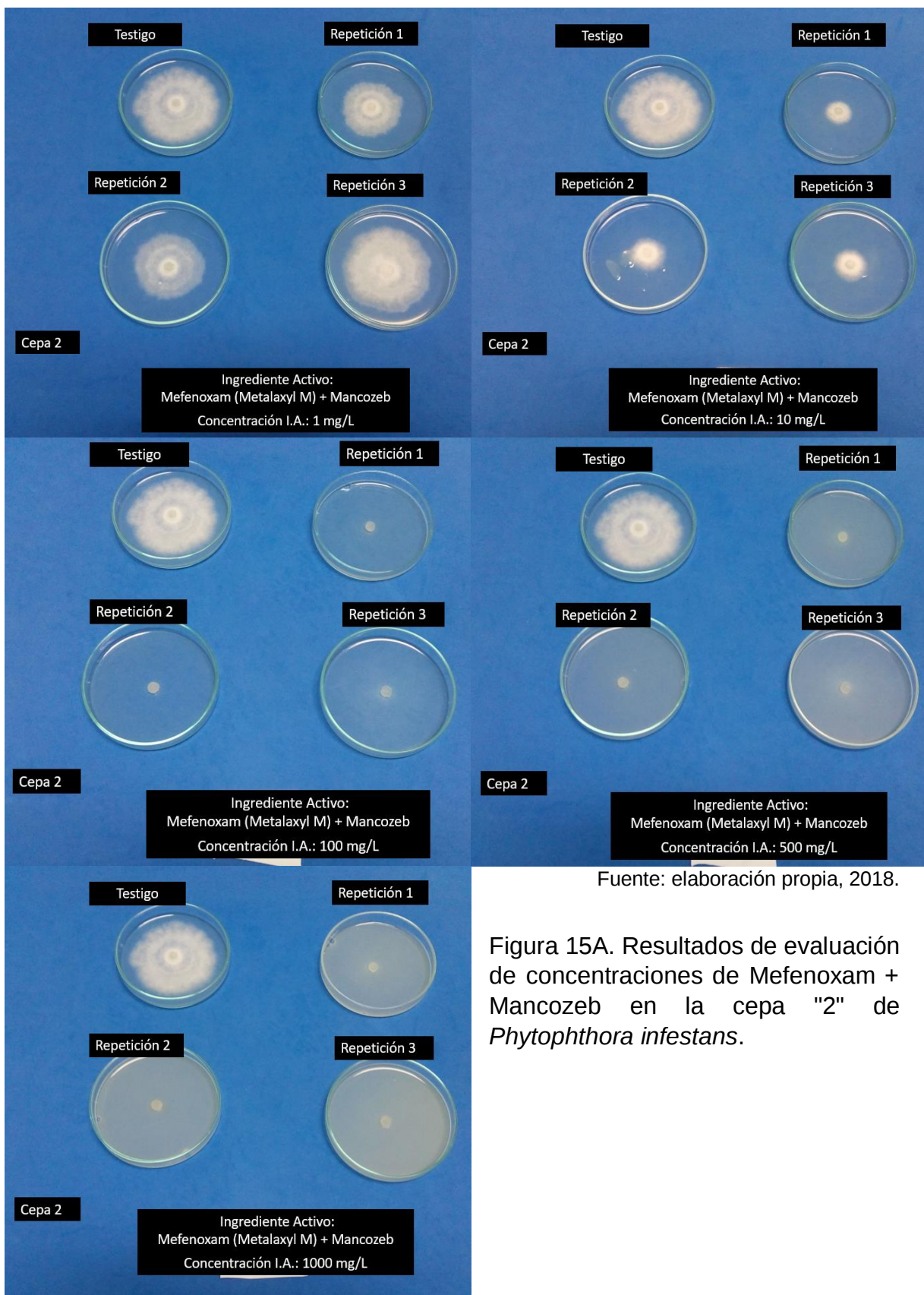


Figura 15A. Resultados de evaluación de concentraciones de Mefenoxam + Mancozeb en la cepa "2" de *Phytophthora infestans*.

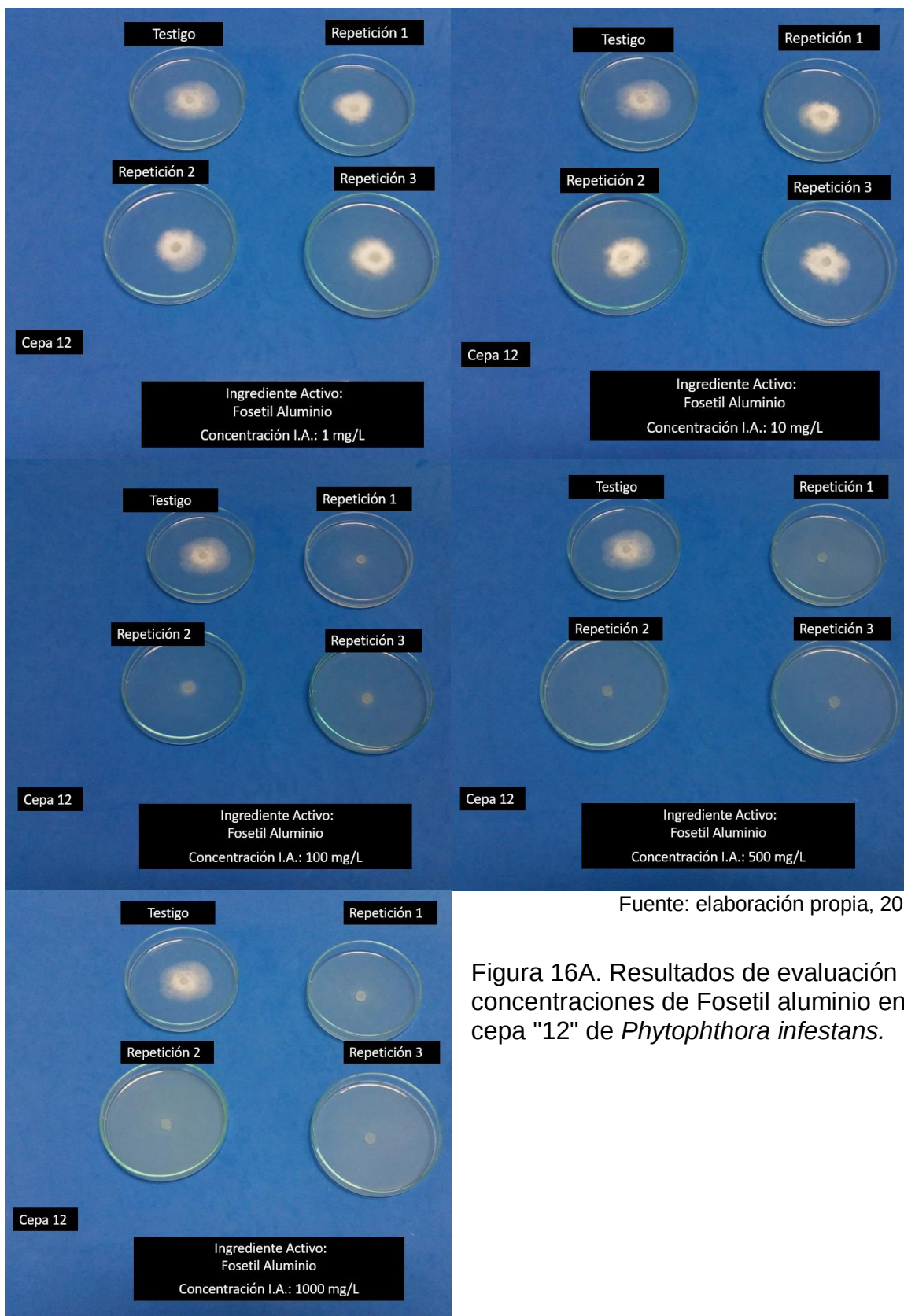
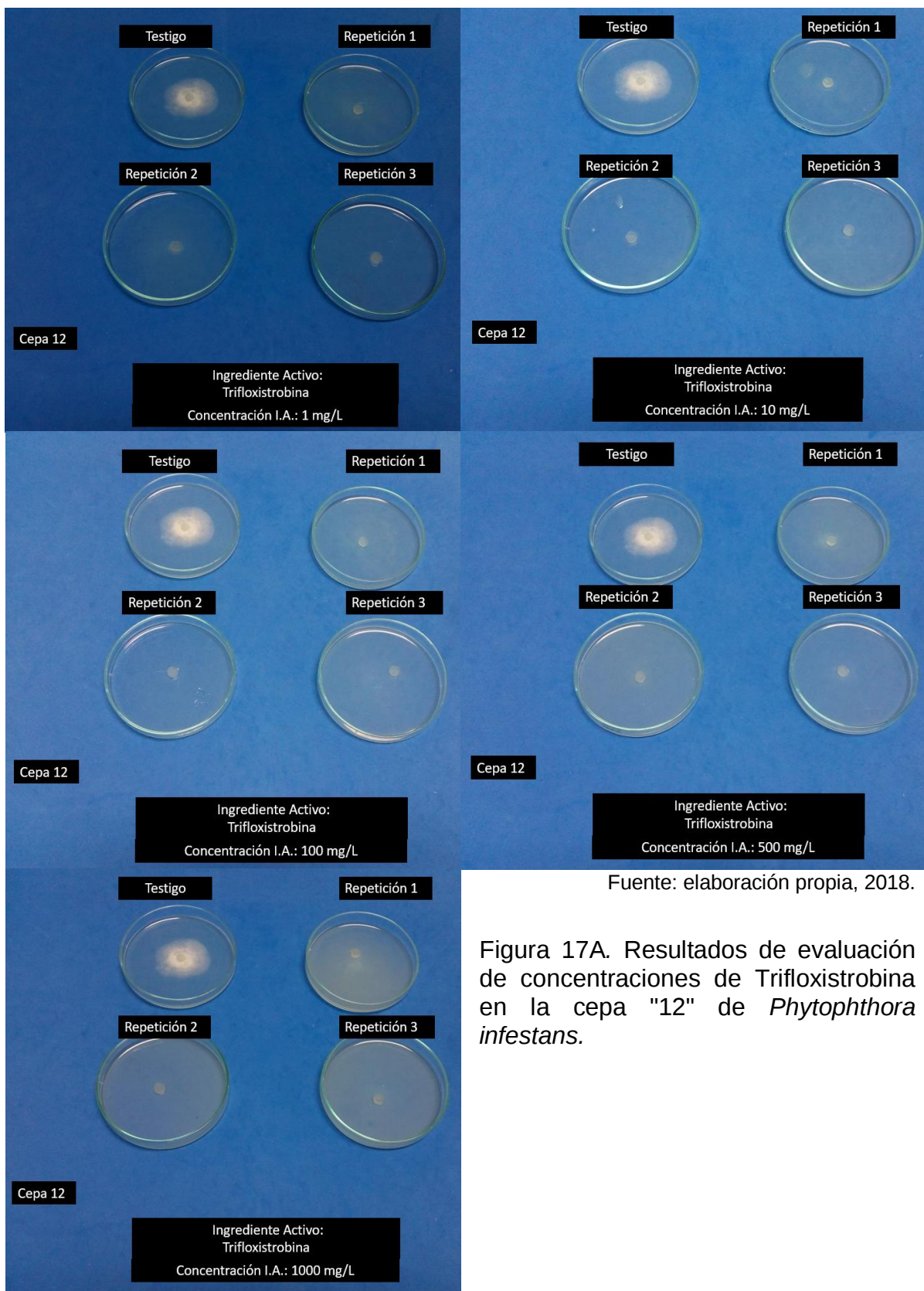
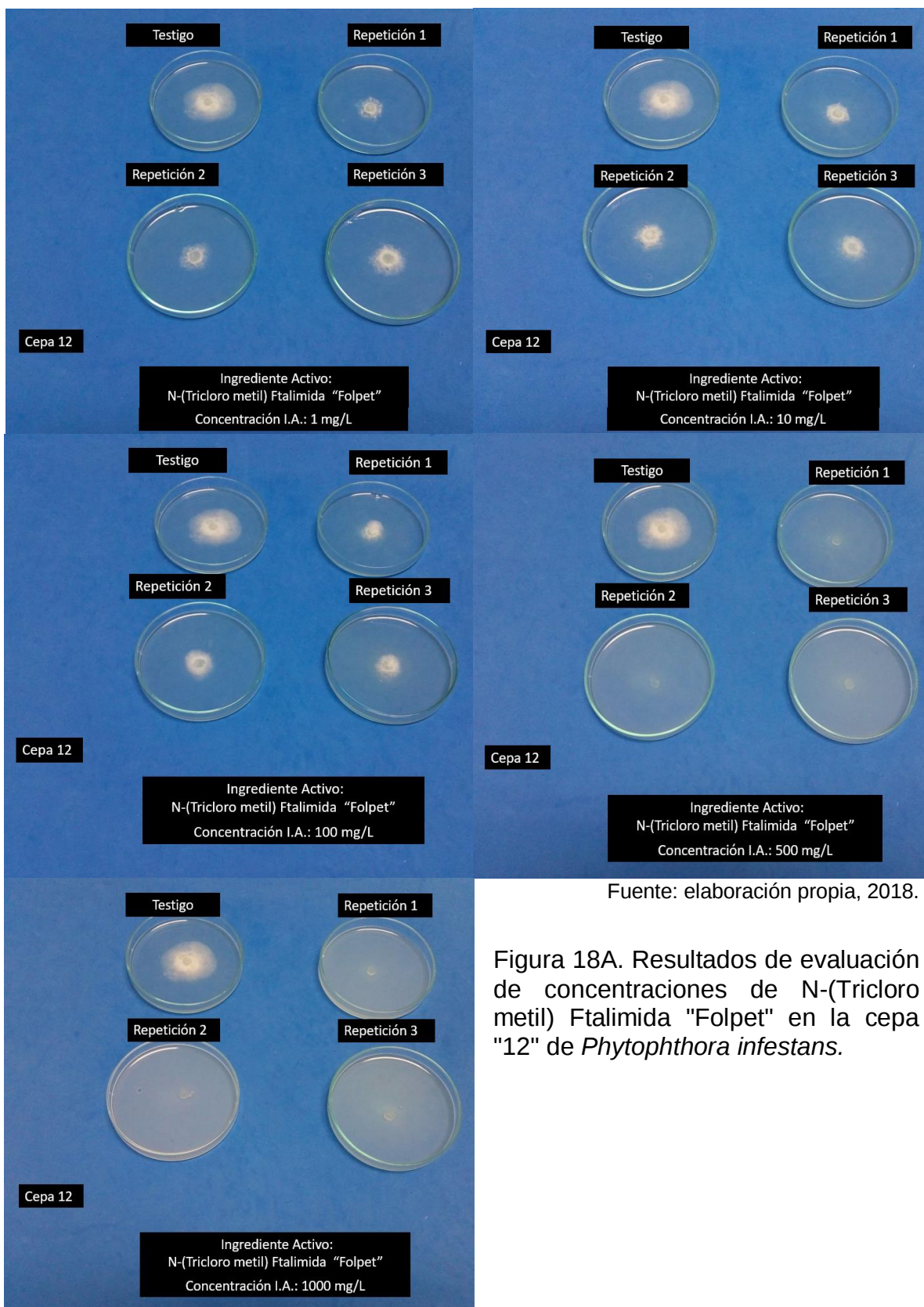


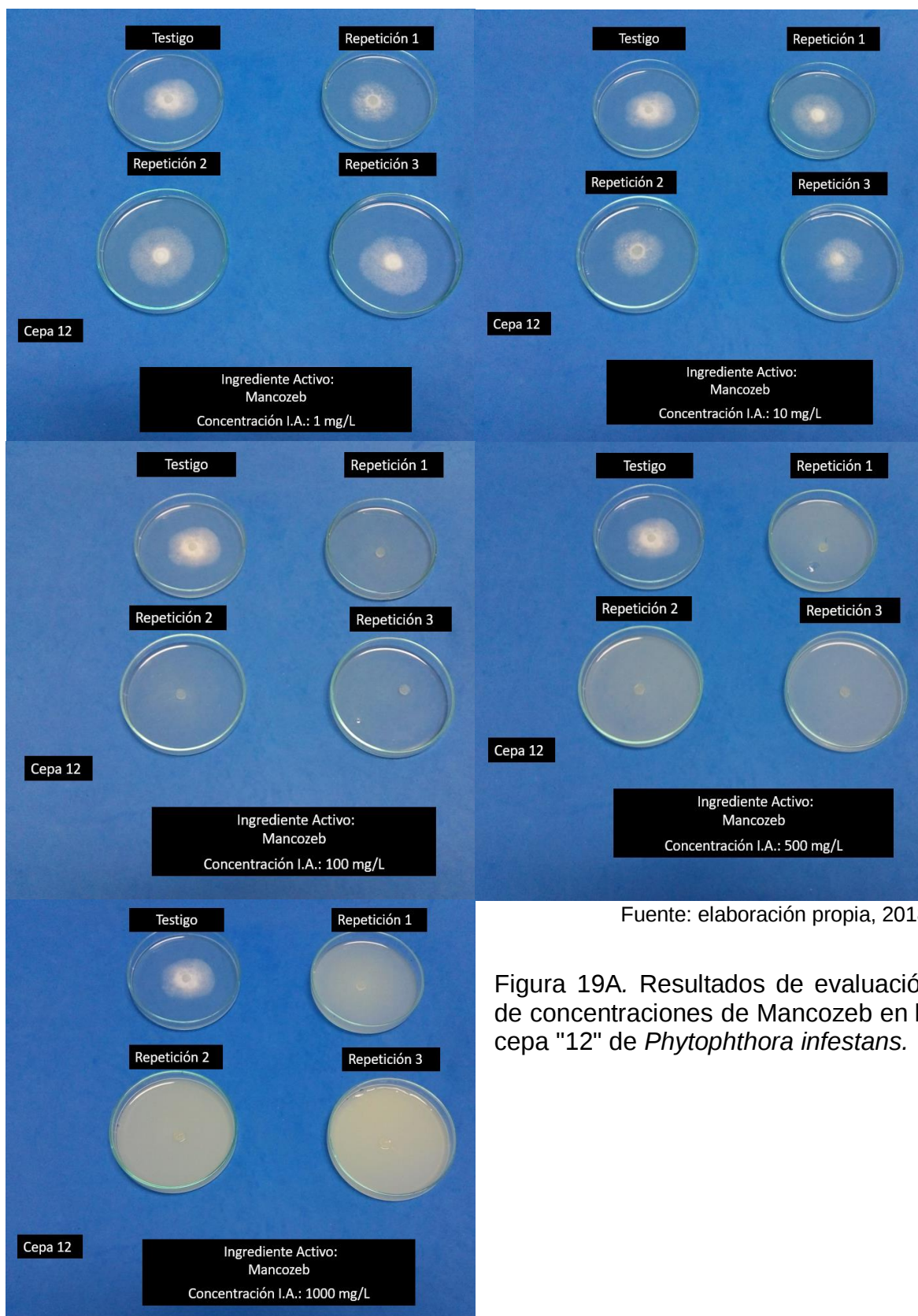
Figura 16A. Resultados de evaluación de concentraciones de Fosetil aluminio en la cepa "12" de *Phytophthora infestans*.





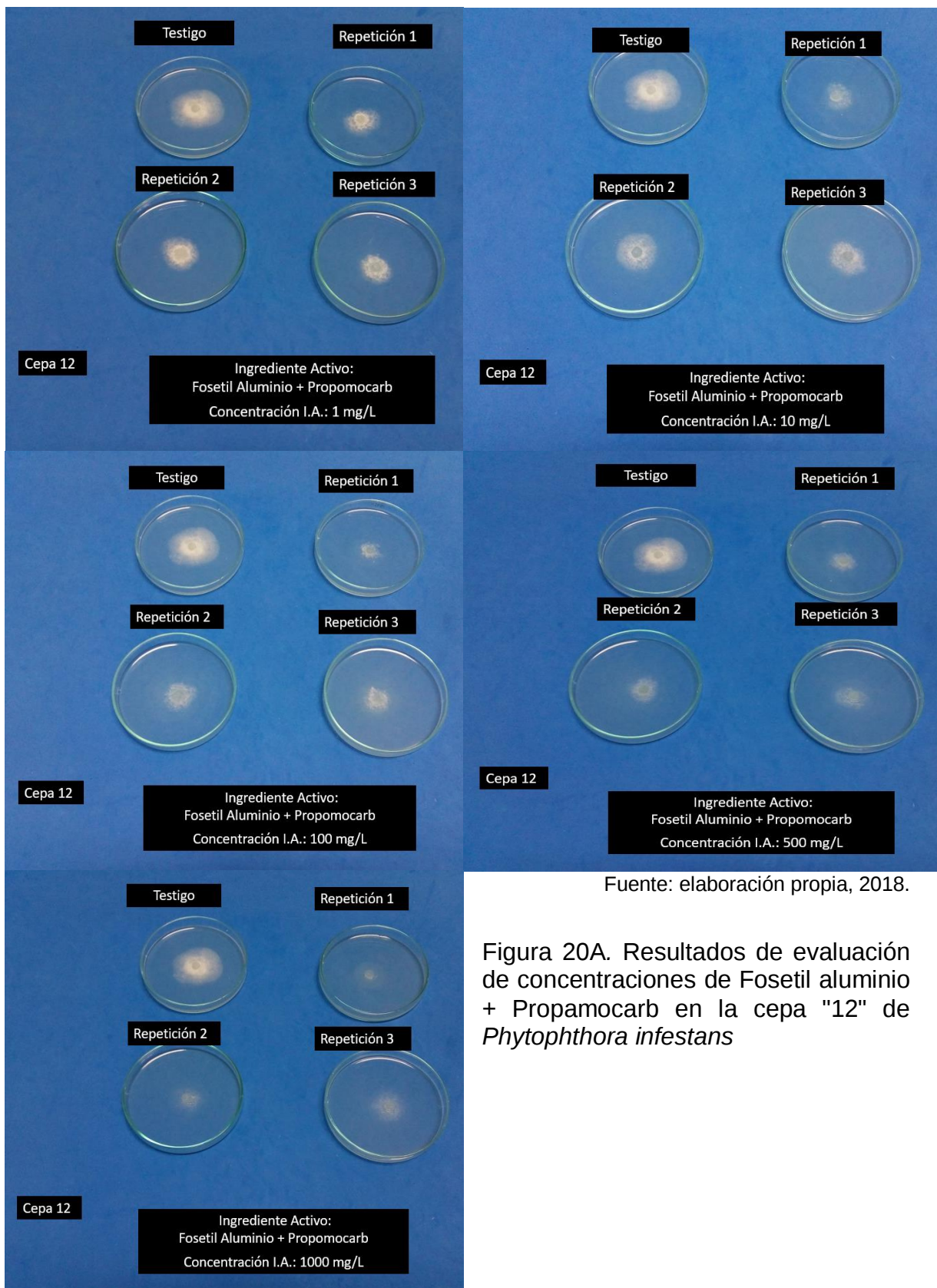
Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 18A. Resultados de evaluación de concentraciones de N-(Tricloro metil) Ftalimida "Folpet" en la cepa "12" de *Phytophthora infestans*.



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 19A. Resultados de evaluación de concentraciones de Mancozeb en la cepa "12" de *Phytophthora infestans*.



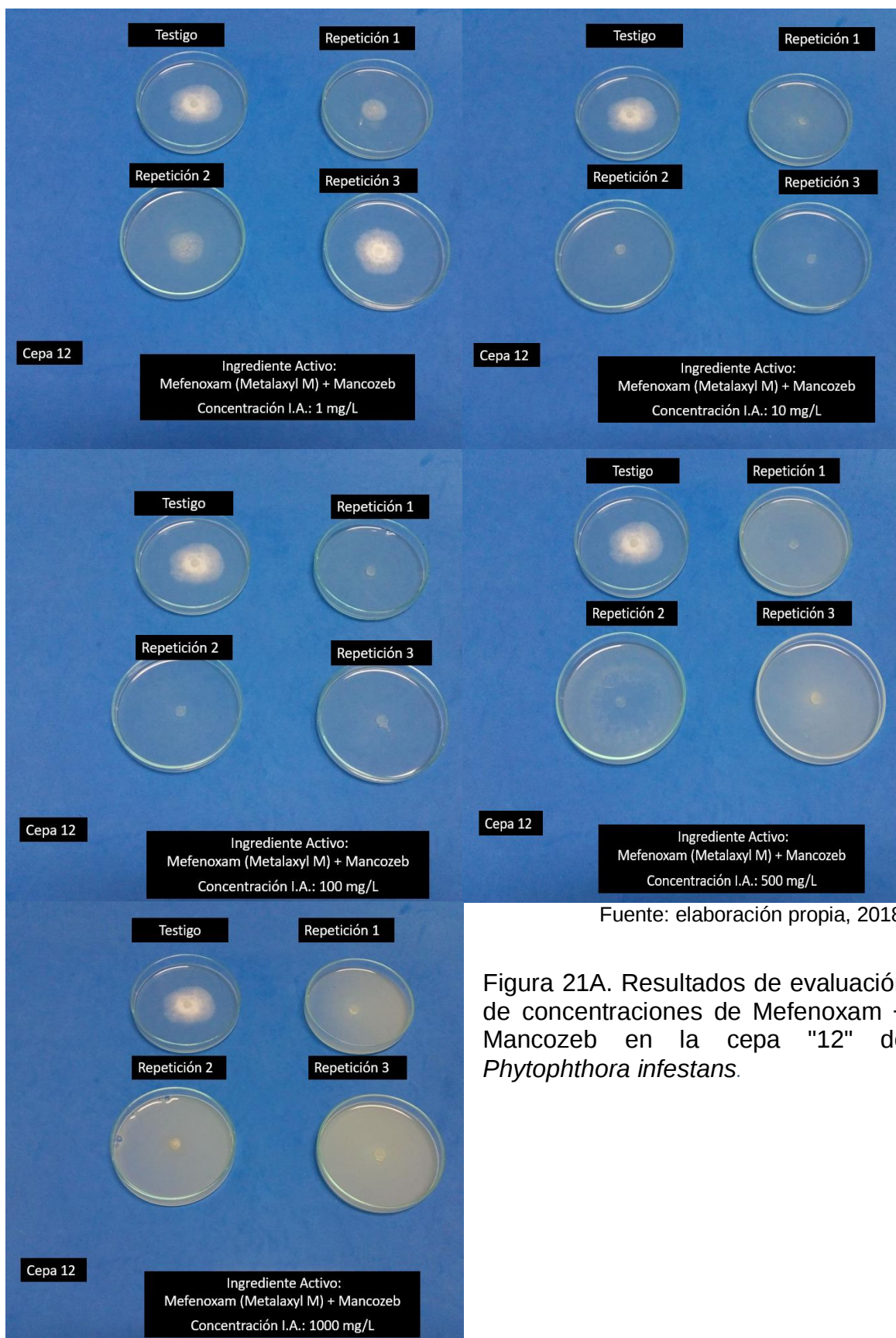
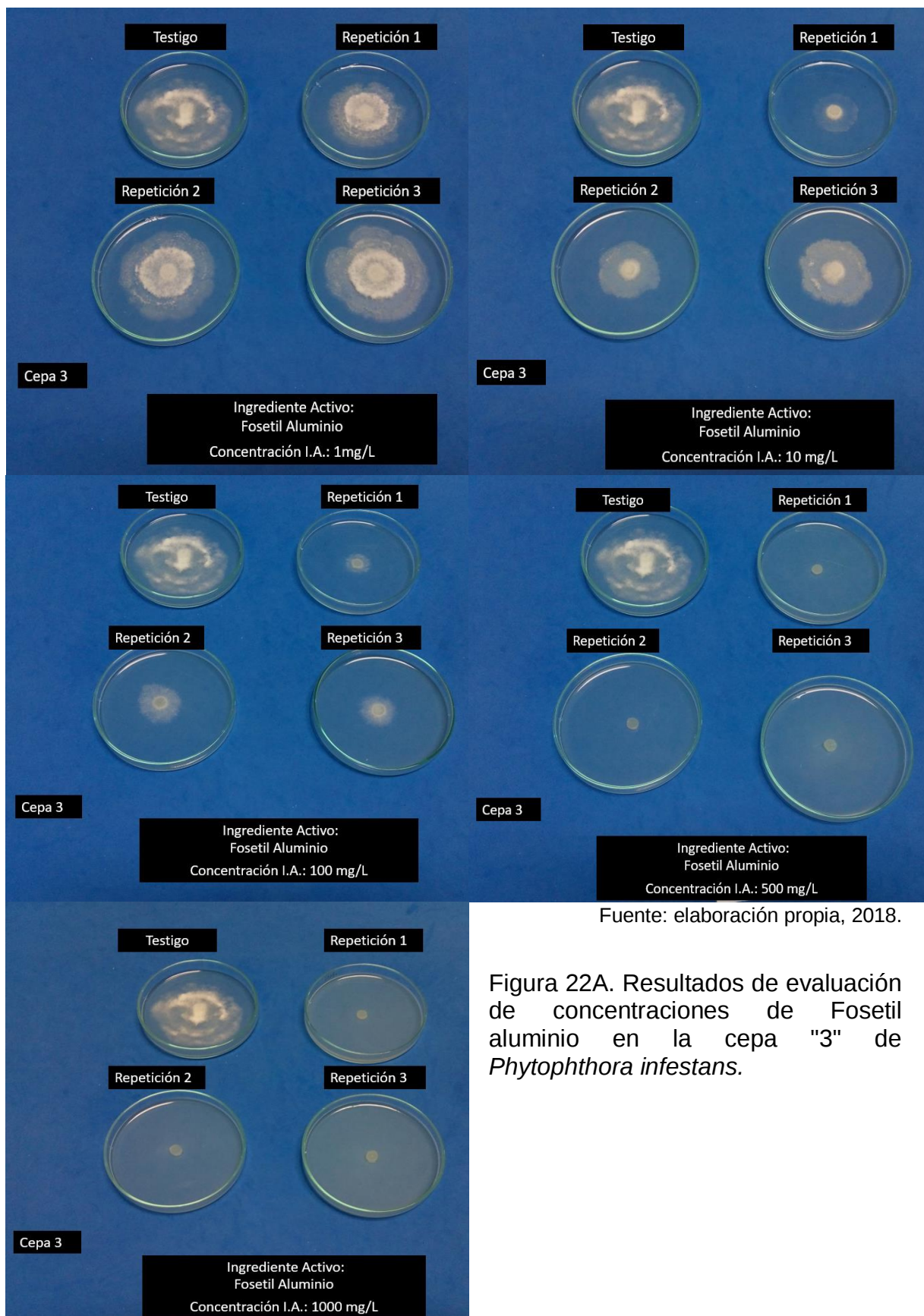


Figura 21A. Resultados de evaluación de concentraciones de Mefenoxam + Mancozeb en la cepa "12" de *Phytophthora infestans*.



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 22A. Resultados de evaluación de concentraciones de Fosetil aluminio en la cepa "3" de *Phytophthora infestans*.

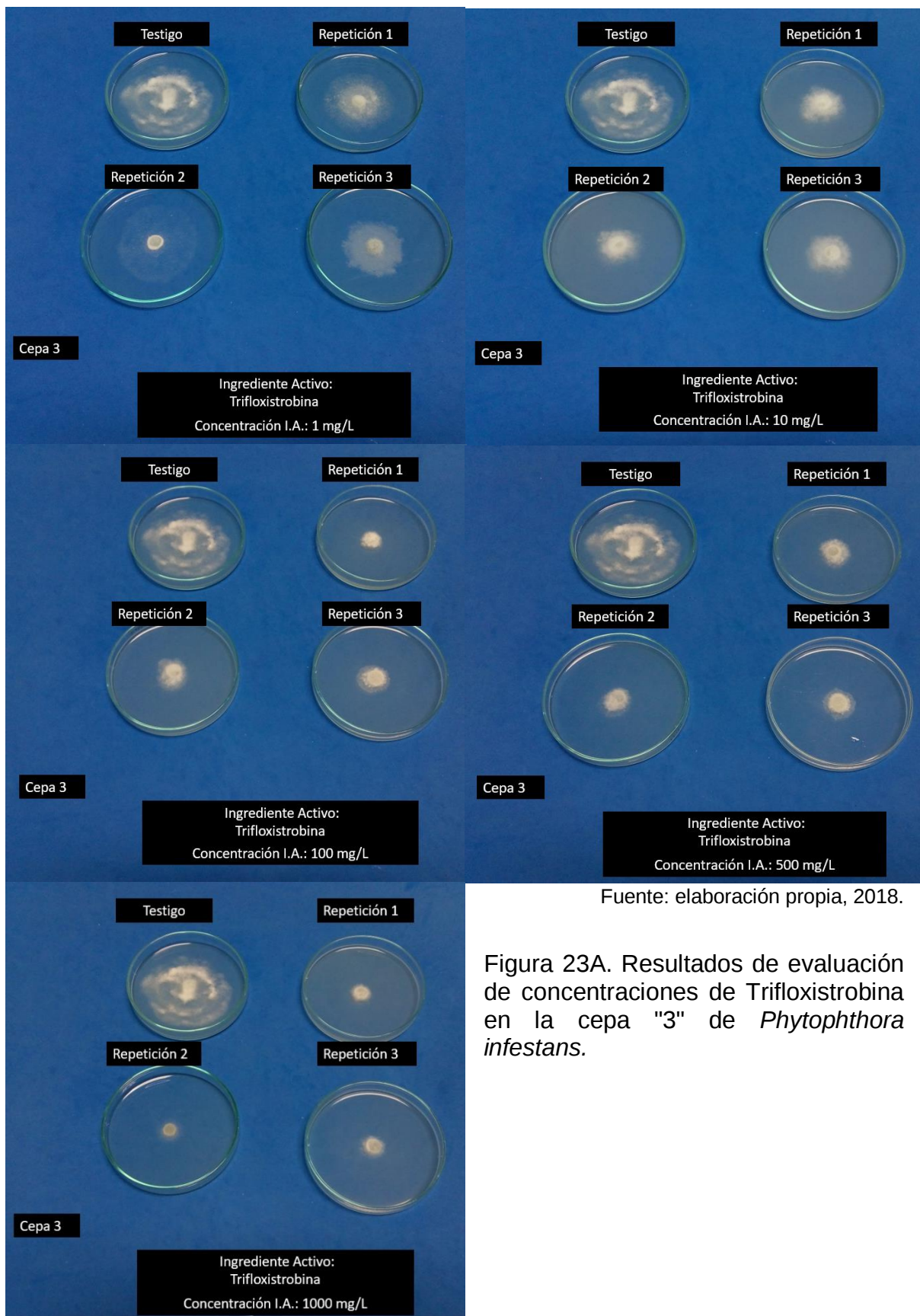
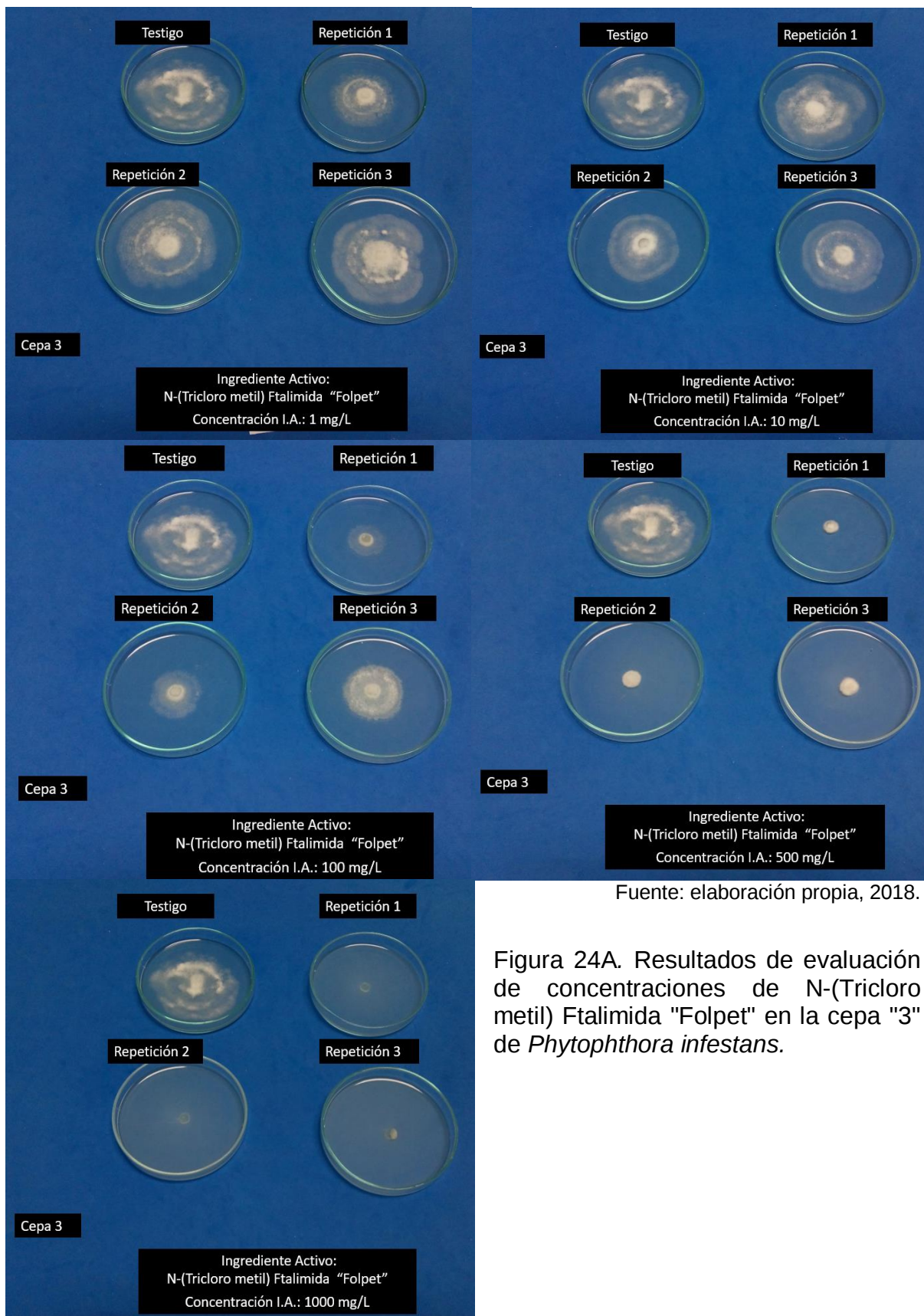
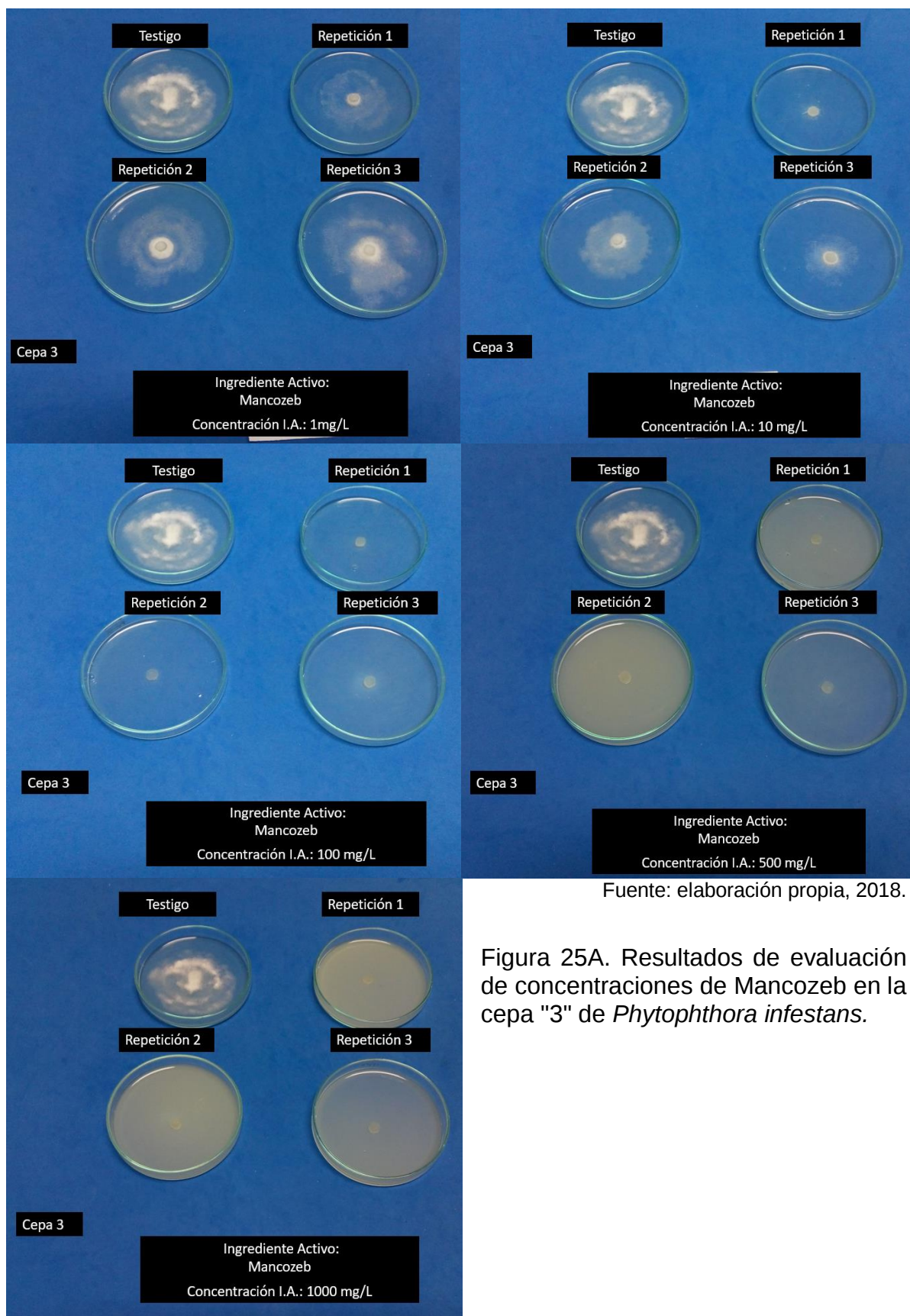


Figura 23A. Resultados de evaluación de concentraciones de Trifloxistrobina en la cepa "3" de *Phytophthora infestans*.



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 24A. Resultados de evaluación de concentraciones de N-(Tricloro metil) Ftalimida "Folpet" en la cepa "3" de *Phytophthora infestans*.



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 25A. Resultados de evaluación de concentraciones de Mancozeb en la cepa "3" de *Phytophthora infestans*.

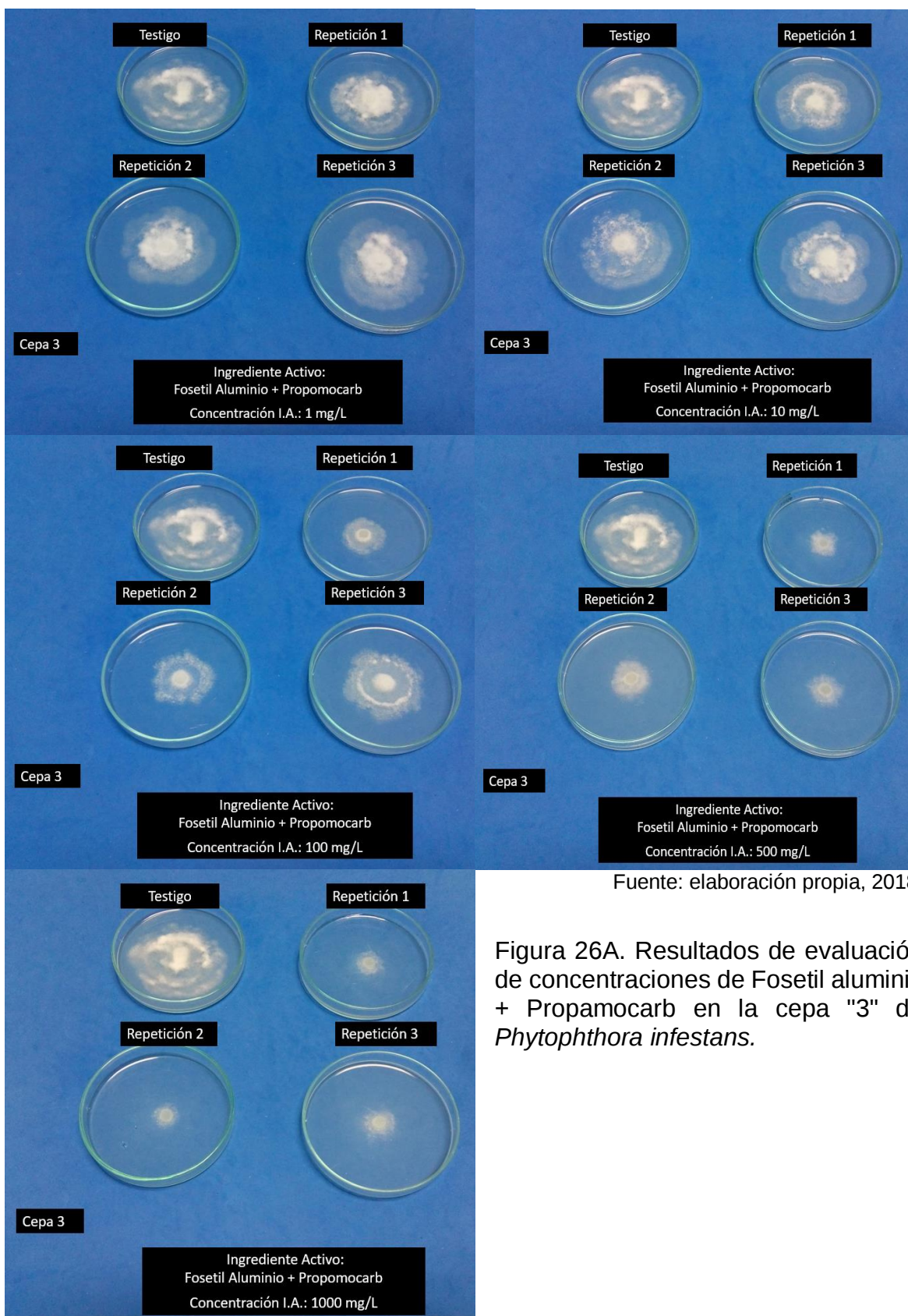
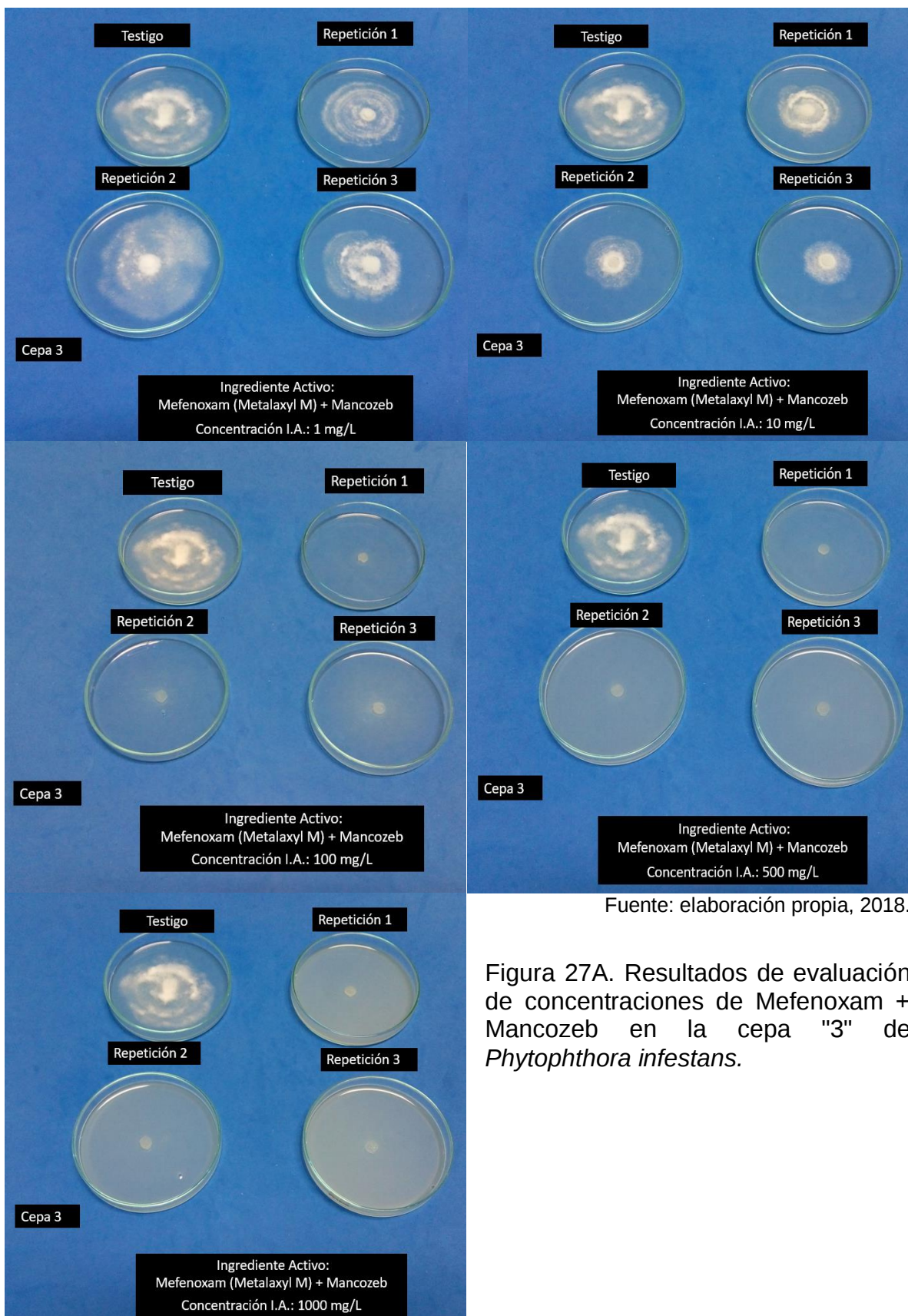
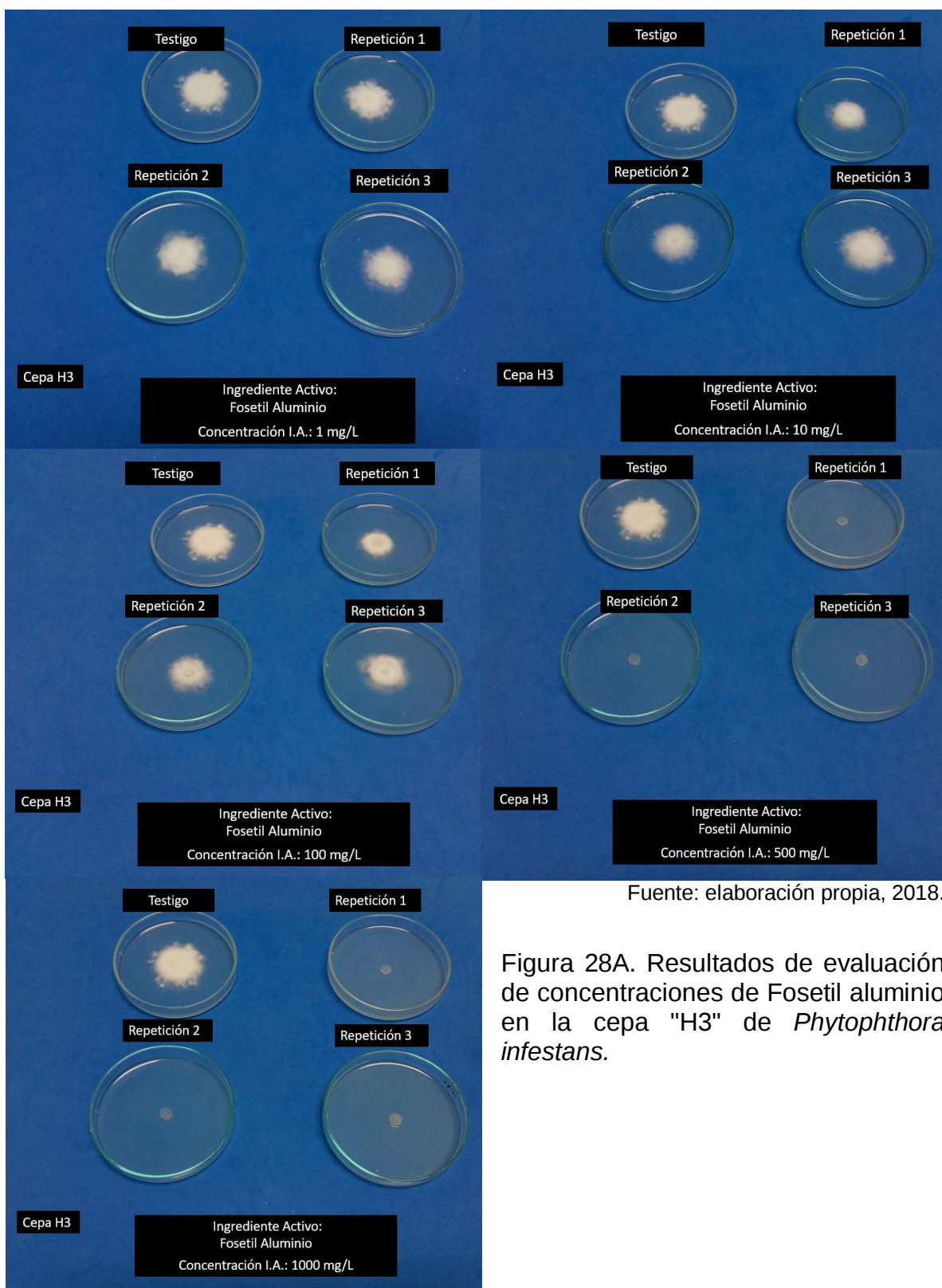


Figura 26A. Resultados de evaluación de concentraciones de Fosetil aluminio + Propamocarb en la cepa "3" de *Phytophthora infestans*.



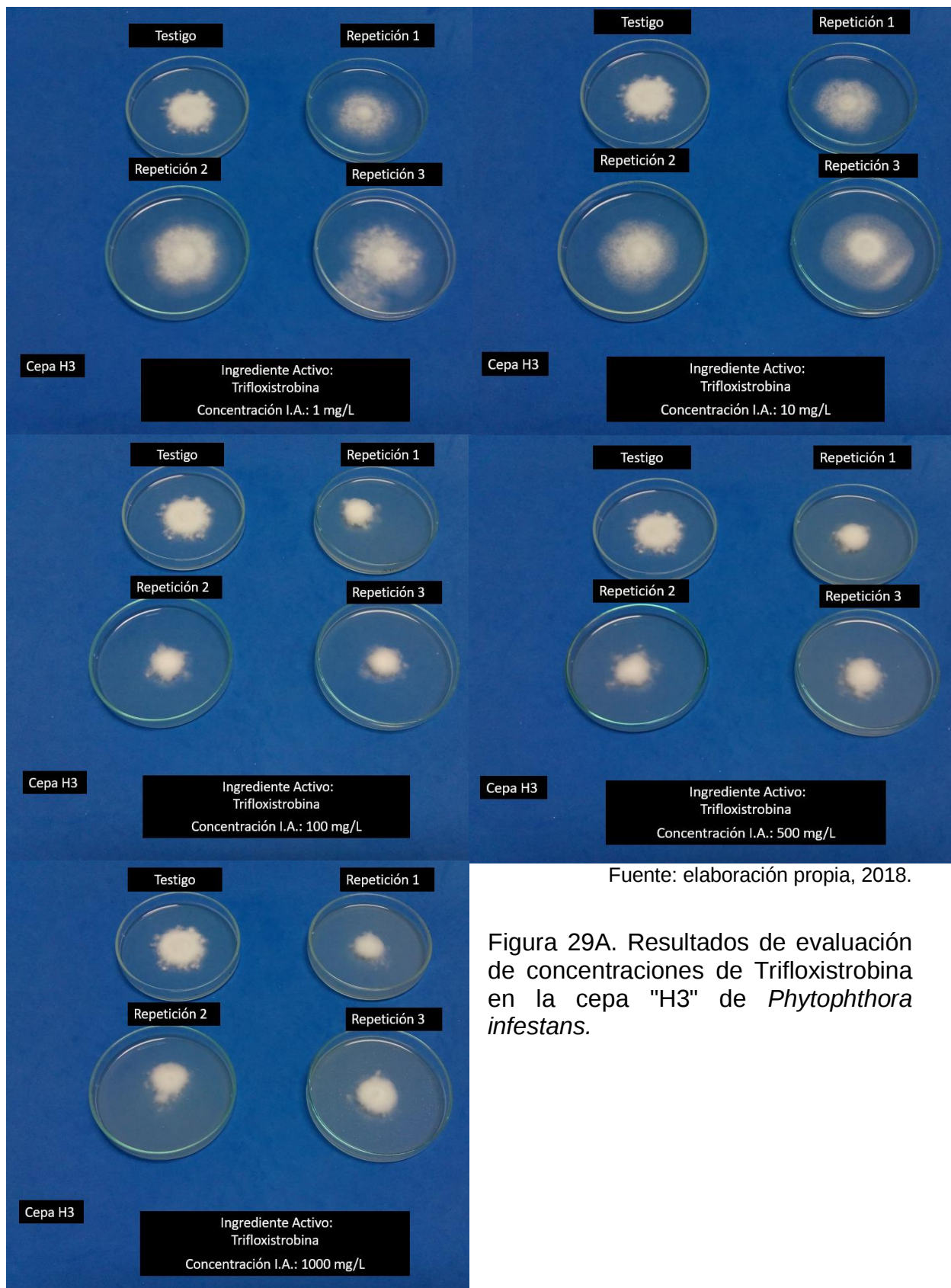
Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 27A. Resultados de evaluación de concentraciones de Mefenoxam + Mancozeb en la cepa "3" de *Phytophthora infestans*.



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 28A. Resultados de evaluación de concentraciones de Fosetil aluminio en la cepa "H3" de *Phytophthora infestans*.



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 29A. Resultados de evaluación de concentraciones de Trifloxistrobina en la cepa "H3" de *Phytophthora infestans*.

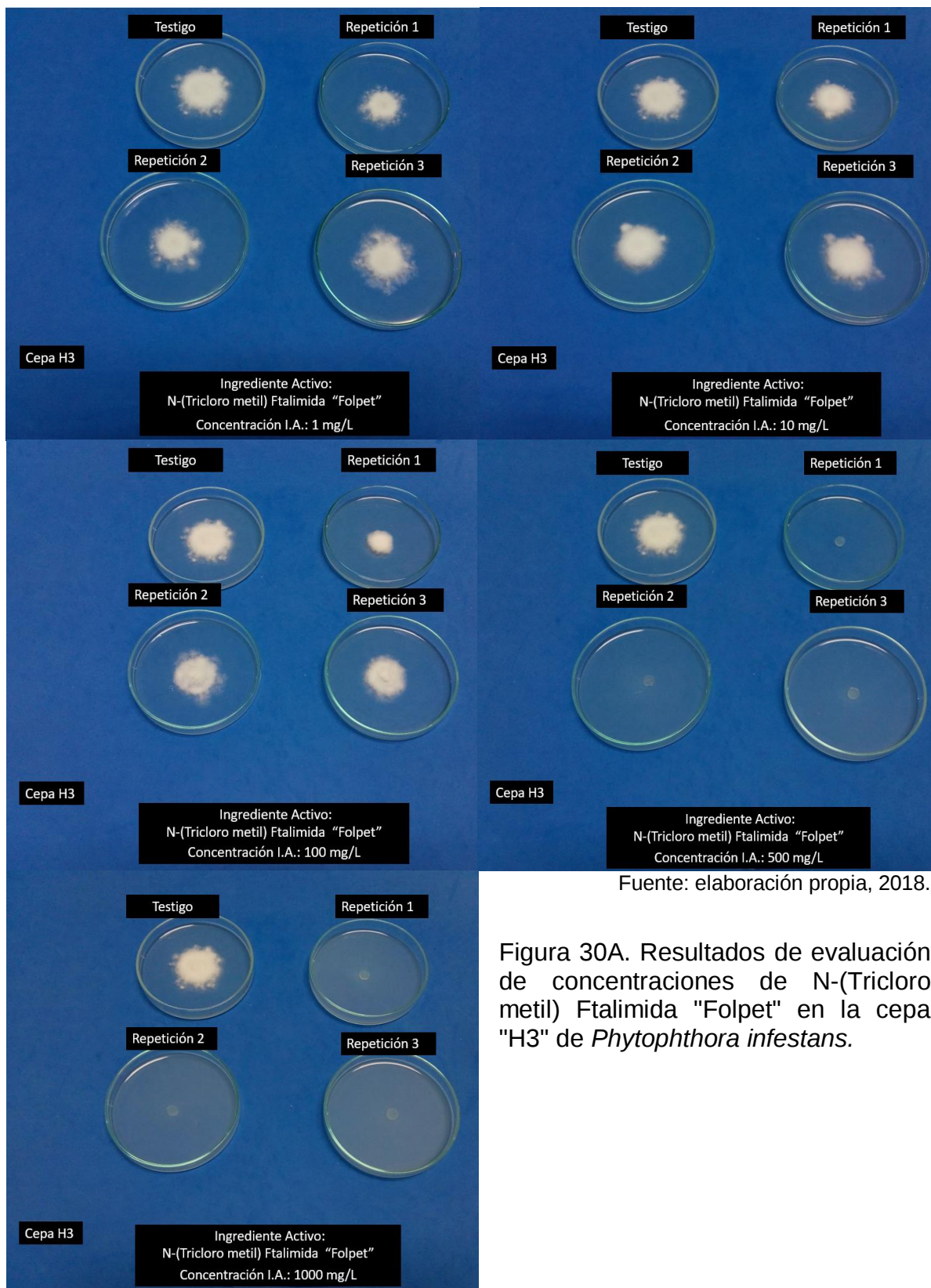


Figura 30A. Resultados de evaluación de concentraciones de N-(Tricloro metil) Ftalimida "Folpet" en la cepa "H3" de *Phytophthora infestans*.

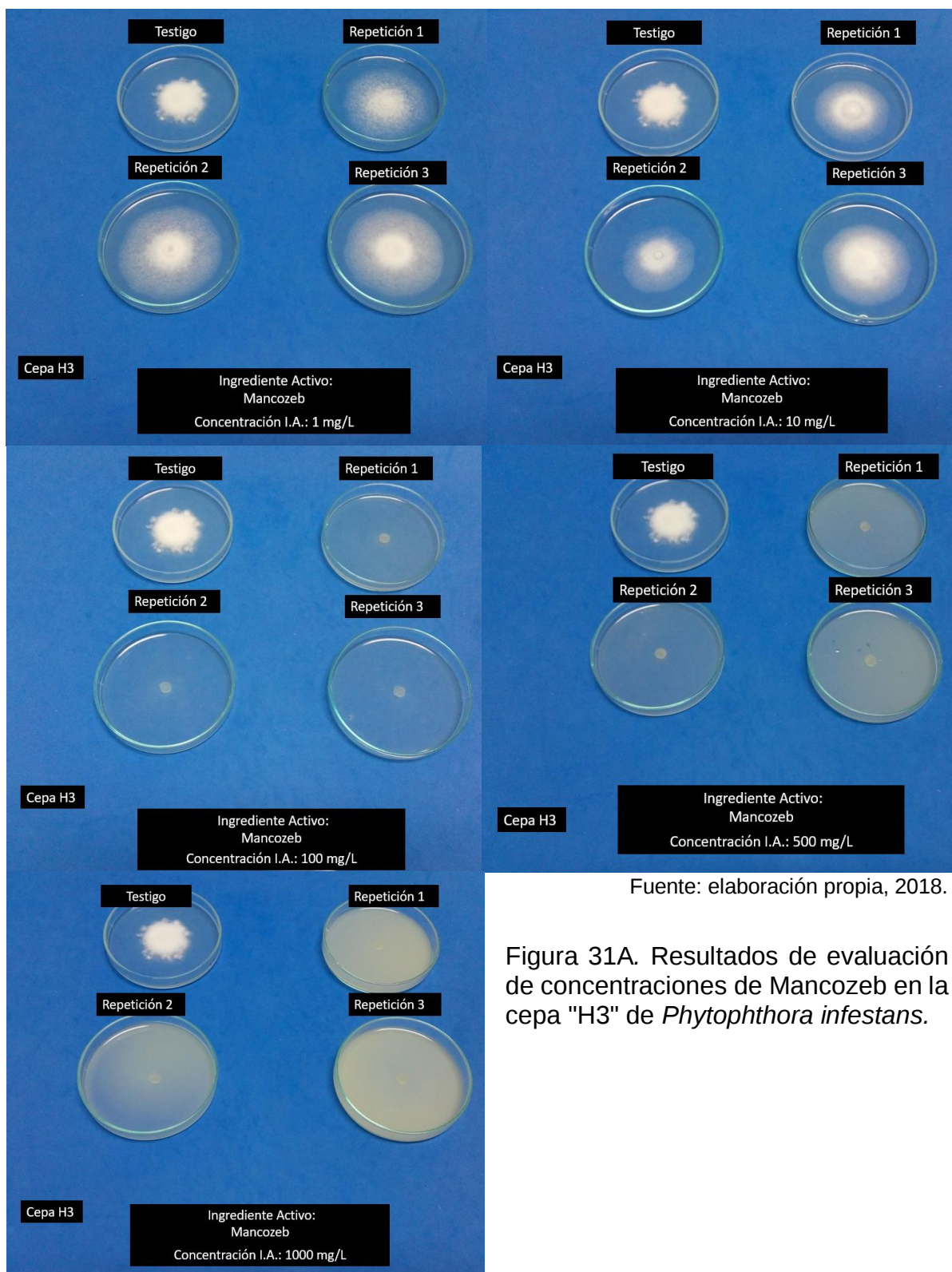
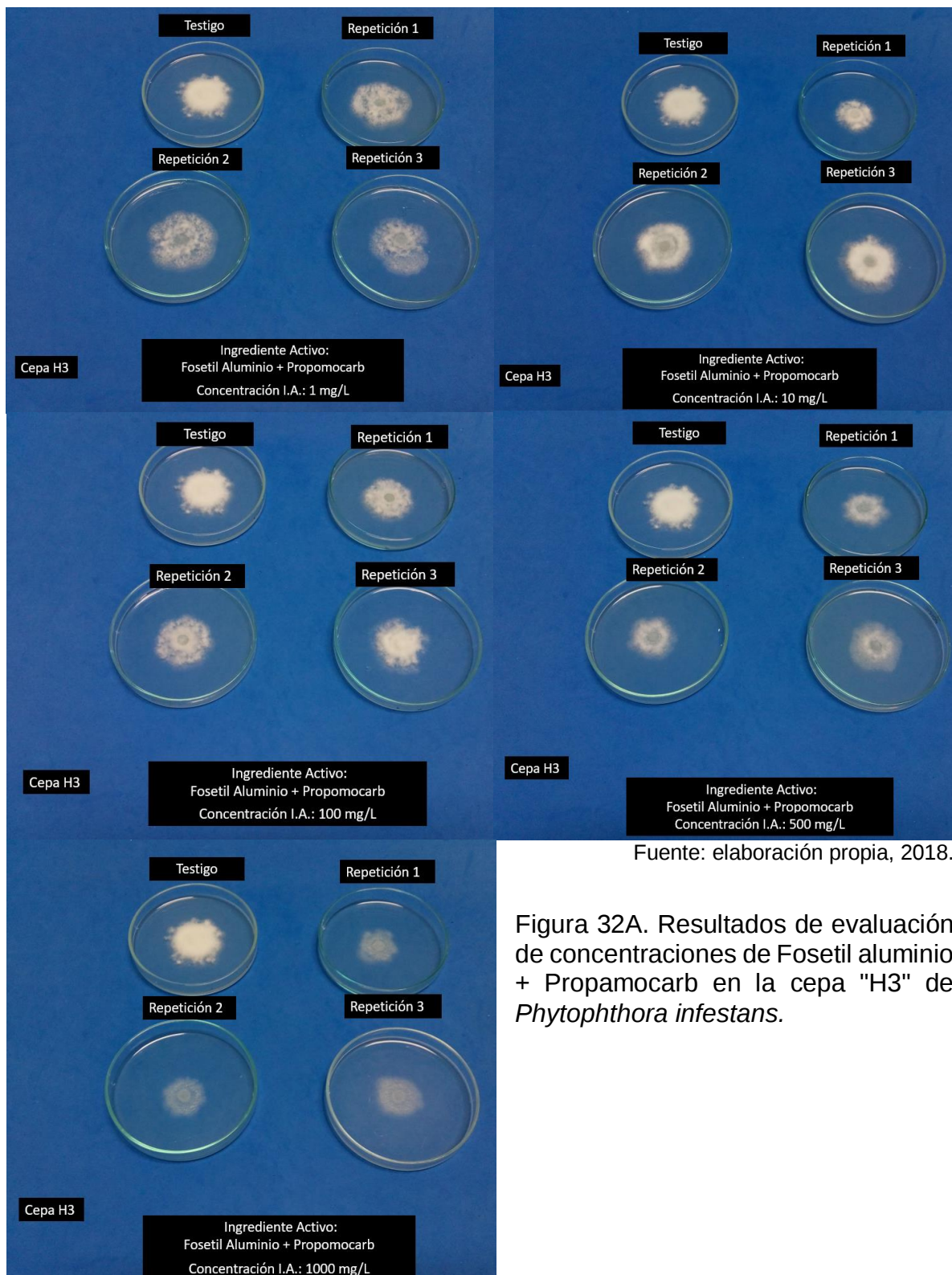
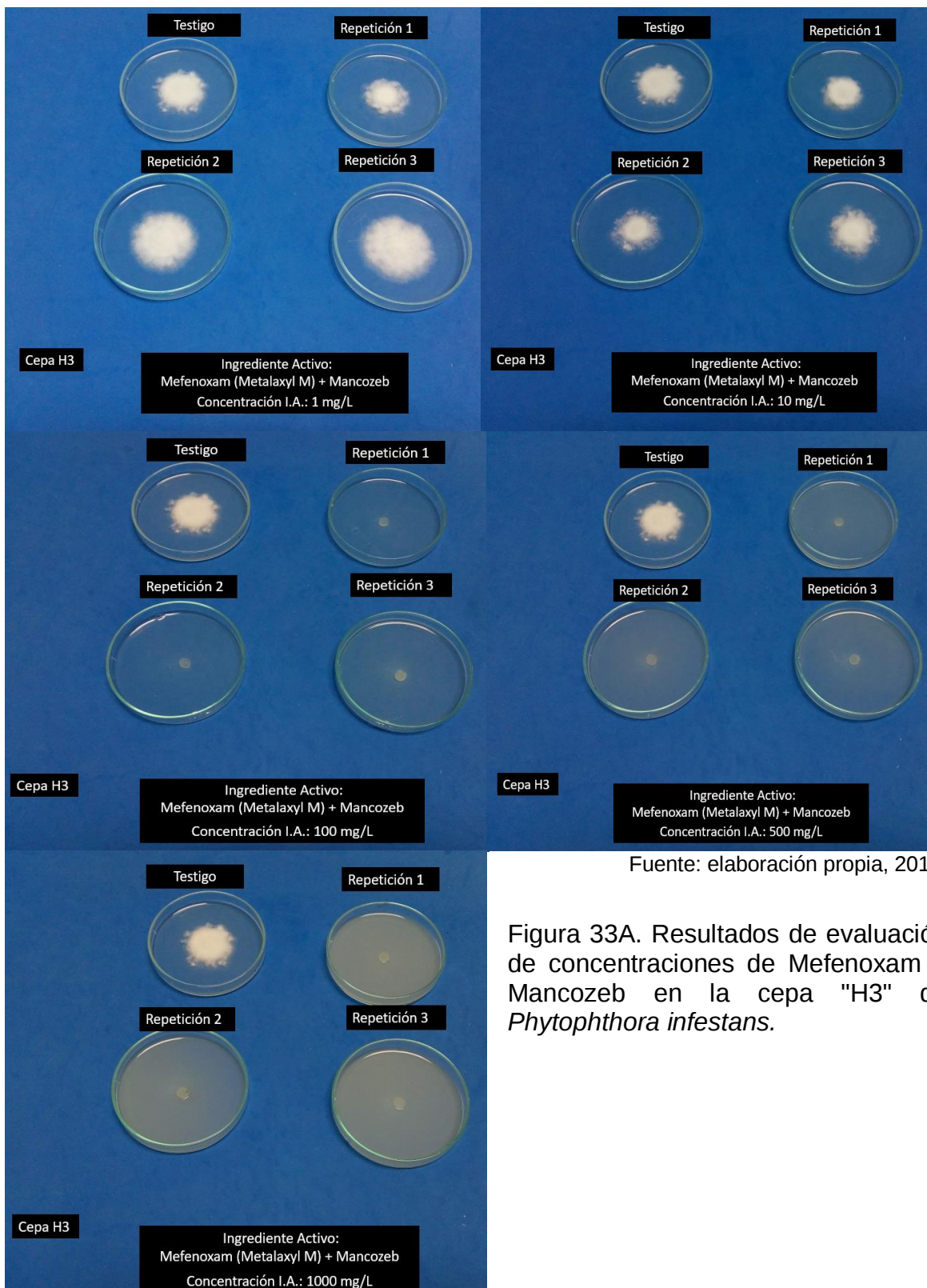


Figura 31A. Resultados de evaluación de concentraciones de Mancozeb en la cepa "H3" de *Phytophthora infestans*.



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 32A. Resultados de evaluación de concentraciones de Fosetil aluminio + Propamocarb en la cepa "H3" de *Phytophthora infestans*.



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 33A. Resultados de evaluación de concentraciones de Mefenoxam + Mancozeb en la cepa "H3" de *Phytophthora infestans*.