

**Universidad de San Carlos de Guatemala.**  
**Centro Universitario de San Marcos**  
**Ingeniero Agrónomo con Orientación en Agricultura Sostenible**

**“Evaluación de la resistencia de cinco ecotipos de papa silvestre a la inoculación de dos aislamientos de tizón tardío (*Phytophthora infestans* Mont. De Bary), provenientes de los departamentos de San Marcos y Quetzaltenango”.**

**Por:**

Otto David Santiago Gómez

**Previo a optar al título profesional que lo acredita como:**  
**Ingeniero Agrónomo con Orientación en Agricultura Sostenible en el grado de licenciado en Ciencias Agrícolas**

**Asesora principal:**

Inga. Agr. Glenda Edelmira Pérez García

**Asesor adjunto:**

Ing. Agr. Rodolfo Carredano Romero

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

San Marcos septiembre del 2024



EL INFRASCrito SECRETARIO DEL COMITÉ DE TRABAJO DE GRADUACIÓN, DE LA CARRERA DE INGENIERO AGRÓNOMO CON ORIENTACIÓN EN AGRICULTURA SOSTENIBLE, DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE SAN MARCOS, DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, CERTIFICA: LOS PUNTOS: PRIMERO, SEGUNDO, TERCERO Y NOVENO DEL ACTA No. 005-2024, LOS QUE LITERALMENTE DICEN:

### ACTA No. 005-2024

En la ciudad de San Marcos, siendo las quince horas en punto, del día martes tres de septiembre del año dos mil veinticuatro, reunidos los integrantes del Comité de Trabajo de Graduación de la Carrera de Ingeniero Agrónomo con Orientación en Agricultura Sostenible, en su orden: Ing. Agr. Jorge Robelio Juárez González Coordinador, Lcda. Lourdes Carrera Munguía Vocal y quién suscribe Ing. Agr. Fredy Roberto Pérez Monzón Secretario, con el objeto de dejar constancia de lo siguiente:

**PRIMERO:** Establecido el quórum se conoció la agenda la que fue aprobada de la siguiente manera: 1) Bienvenida, 2) Solicitudes de aprobación de informes finales de Trabajo de Graduación y 3) Varios

**SEGUNDO:** El Coordinador del Comité da la bienvenida a los presentes y somete en consideración la aprobación de la agenda... **TERCERO:** El secretario del Comité de Trabajo de Graduación dio a conocer solicitud de informe final de Trabajo de Graduación del estudiante Otto David Santiago Gómez con número de carné 201844959 estudiante de la carrera de Ingeniero Agrónomo con Orientación en Agricultura Sostenible para la aprobación del informe final de trabajo de graduación "Evaluación de la resistencia de cinco ecotipos de papa silvestre a la inoculación de dos aislamientos de tizón tardío (*Phytophthora infestans* Mont. De Bary), provenientes de los departamentos de San Marcos y Quetzaltenango". Cumpliendo con los requisitos establecidos en el artículos 56 y 57 del normativo de Trabajo de Graduación. El Comité Trabajo de Graduación con base en el artículo 58 acuerda aprobar el Informe Final del estudiante Otto David Santiago Gómez con número de carné 201844959 adjuntando los dictámenes favorables del asesor principal Inga. Agr. Glenda Pérez y asesor adjunto Ing. Agr. Rodolfo Carredano... **NOVENO:** Dando por finalizada la reunión en el mismo lugar y fecha a cuatro horas después de su inicio, previa lectura que se hizo a lo escrito y enterados de su contenido y efectos legales, aceptamos, ratificamos y firmamos.

Y A SOLICITUD DEL INTERESADO SE EXTIENDE, FIRMA Y SELLA LA PRESENTE CERTIFICACIÓN DE ACTA, EN UNA HOJA DE PAPEL MEMBRETADO DEL CENTRO UNIVERSITARIO, EN LA CIUDAD DE SAN MARCOS A LOS ONCE DÍAS DEL MES DE SEPTIEMBRE DEL AÑO DOS MIL VEINTICUATRO.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

  
Ing. Agr. Fredy Roberto Pérez Monzón  
Secretario Comité Trabajo de Graduación



Comité de Trabajo de Graduación  
Centro Universitario de San Marcos.  
Universidad de San Carlos de Guatemala.

**Solicitud de aprobación  
del Seminario 2.**

**Respetable comité de graduación**

Le saludo atentamente esperando que las actividades que realicen sean de beneficio para el desarrollo y progreso de la carrera en el centro universitario.

Por este medio hago la solicitud yo: Otto David Santiago Gómez quién me identifico con el carné: 201844959, estudiante de la carrera de Ingeniero Agrónomo con Orientación en Agricultura Sostenible para la aprobación del seminario 2 de investigación denominado: **"Evaluación de la resistencia de cinco ecotipos de papa silvestre a la inoculación de dos aislamientos de tizón tardío (Phytophthora infestans Mont. de Bary) provenientes de los departamentos de San Marcos y Quetzaltenango."**, que presenté el día 23 de julio en Seminario II.

Así mismo se adjuntan los formularios de evaluación de seminario II

Agradeciendo la atención proporcionada y esperando una respuesta positiva a la presente solicitud.

Atentamente:

T.P.A Otto David Santiago Gómez

Inga. Agr. Glenda Pérez  
Asesor Principal

Ing. Agr. Rodolfo Carredano  
Asesor Adjunto



San Marcos agosto de del 2024



Comité de Trabajo de Graduación  
Centro Universitario de San Marcos.  
Universidad de San Carlos de Guatemala.

**Solicitud de aprobación  
Informe final trabajo de graduación**

**Respetable comité de graduación**

Le saludo atentamente esperando que las actividades que realicen sean de beneficio para el desarrollo y progreso de la carrera en el centro universitario.

Por este medio hago la solicitud yo: Otto David Santiago Gómez quién me identifico con el carné: 201844959, estudiante de la carrera de Ingeniero Agrónomo con Orientación en Agricultura Sostenible para la aprobación del informe final de trabajo de investigación denominado: **“Evaluación de la resistencia de cinco ecotipos de papa silvestre a la inoculación de dos aislamientos de tizón tardío (*Phytophthora infestans* Mont. de Bary) provenientes de los departamentos de San Marcos y Quetzaltenango.”**, que presenté el día 23 de julio en Seminario II.

Así mismo se adjuntan los formularios de evaluación de seminario II

Agradeciendo la atención proporcionada y esperando una respuesta positiva a la presente solicitud.

Atentamente:

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'O. David Santiago Gómez'.

T.P.A Otto David Santiago Gómez

**CENTRO UNIVERSITARIO DE SAN MARCOS**  
**MIEMBROS DEL CONSEJO DIRECTIVO**

Msc. Juan Carlos López Navarro

DIRECTOR

Licda. Astrid Fabiola Fuentes Mazariegos

SECRETARIA CONSEJO DIRECTIVO

Ing. Agr. Rony Walter Villacinda Maldonado

REPRESENTANTE DOCENTES

Lic. Oscar Alberto Ramírez Monzón

REPRESENTANTE ESTUDIANTIL

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**CENTRO UNIVERSITARIO DE SAN MARCOS**  
**MIEMBROS DE LA COORDINACIÓN ACADÉMICA**

PhD. Robert Enrique Orozco Sánchez	COORDINADOR ACADÉMICO
Ing.Agr. Carlos Antulio Barrios Morales	COORDINADOR CARRERAS TÉCNICO EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA E INGENIERO AGRÓNOMO CON ORIENTACIÓN EN AGRICULTURA SOSTENIBLE
Lic. Antonio Ethel Ochoa López	COORDINADOR CARRERA DE PEDAGOGÍA Y CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN
Licda. Amita Esmeralda Guillén Ruíz	COORDINADORA CARRERA DE TRABAJO SOCIAL, TÉCNICO Y LICENCIATURA
Ing. Victor Manuel Fuentes López	COORDINADOR CARRERA DE ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS, TÉCNICO Y LICENCIATURA
Lic. Mauro Estuardo Rodríguez Hernández	COORDINADOR CARRERA DE ABOGADO Y NOTARIO Y LICENCIATURA EN CIENCIAS JUDÍDICAS Y SOCIALES
Doc. Byron Geovany García Orozco	COORDINADOR CARRERA DE MÉDICO Y CIRUJANO
Licda. Julia Maritza Gándara Gonzáles	COORDINADORA EXTENSIÓN MALACATÁN
Licda Mirna Lisbet de León Rodríguez	COORDINADORA EXTENSIÓN DE TEJUTLA
Lic. Marvin Evelio Navarro Bautista	COORDINADOR EXTENSIÓN TACANÁ

Lic. Robert Enrique Orozco Sánchez

COORDINADOR DEL INSTITUTO DE  
INVSTIGACIÓN

Lic. Mario René Requena

COORDINADOR DEL ÁREA DE EXTENSIÓN

Ing. Oscar Ernesto Chávez Angel

COORDINADOR CARRERA DE INGENERIA  
CIVIL

Lic. Carlos Edelmar Velásquez Gonzáles

COORDINADOR CARRERA CONTADURIA  
PÚBLICA Y AUDITORÍA

Lic. Danilo Alberto Fuentes Bravo

COORDINADOR CARRERA PROFESORADO  
EN EDUCACIÓN PRIMARIA BILINGÜE  
INTERCULTURAL

Lic. Yovani Alberto Cux Chan

COORDINADOR CARRERA SOCIOLOGÍA,  
CIENCIA POLÍTICA Y RELACIONES  
INTERNACIONALES

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

MsC. Juan Carlos López Navarro

**DIRECTOR**

Ing.Agr. Carlos Antulio Barrios Morales

COORDINADOR CARRERAS  
TÉCNICO EN PRODUCCIÓN  
AGRÍCOLA E INGENIERO  
AGRÓNOMO CON ORIENTACIÓN  
EN AGRICULTURA SOSTENIBLE

Inga. Agr. Glenda Edelmira Pérez

ASESORA PRINCIPAL

Ing. Agr. Rodolfo Carredano Romero

ASESOR ADJUNTO



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**CENTRO UNIVERSITARIO DE SAN MARCOS**  
**COMITÉ DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**

Ing. Agr. Jorge Robelio Juárez González	COORDINADOR
Ing. Agr. Fredy Roberto Pérez Monzón	SECRETARIO
Licda. María de Lourdes Carrera Munguía	VOCAL

## **DEDICATORIA**

### **A DIOS**

Ser Supremo por excelencia, gracias por brindarme la vida, llenarme de Sabiduría, entendimiento y paciencia para lograr uno de mis sueños que hoy se ve reflejado con éxito a ti Señor Jesucristo sea toda la Gloria, la Honra y el Honor.

### **A MIS PADRES**

Otto Rubén Santiago Morales  
Horcilia Amarilis Gómez Godínez

Por haberme brindado cariño, amor, paciencia, consejos y apoyo incondicional. Gracias por ese sacrificio y esfuerzo que hoy se ve premiado gracias a sus oraciones, apoyarme durante el transcurso de mi lucha para alcanzar este logro.

### **A MIS HERMANOS**

Samuel Fernando Santiago y Yakelin Amarilis Reyes muchas gracias por su apoyo, confianza, consejos y ese amor que nos une siempre.

### **A MIS FAMILIARES**

Por el esfuerzo y números consejos que me dieron durante el trayecto de mi vida estudiantil.

### **A MI PADRINO**

Gustavo que siempre estuvieron al pendiente durante cada año cursado en mi carrera.

### **A MIS CATEDRÁTICOS**

A quienes me impartieron enseñanzas, conocimientos y amistad durante cada clase, en especial al Ing. Rodolfo Carredano por extenderme la mano enseñarme también lecciones de vida que atesoraré para siempre.

## **AGRADECIMIENTOS**

### **UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Alma Mater formadora de profesionales

### **CENTRO UNIVERSITARIO DE SAN MARCOS**

Agradecimiento por ser la forjadora de  
crecimiento profesional

### **CARERA DE INGENIERO AGRÓNOMO**

Por la formación académica, moral y  
social que me brindaron durante el  
proceso de mi formación

### **A MIS ASESORES**

Inga. Agr. Glenda Edelmira Pérez e  
Ing. Agr. Rodolfo Carredano Romero  
Por su apoyo incondicional brindando  
durante la implementación y ejecución del  
trabajo de graduación, consejos, amistad  
y profesionalismo que siempre me  
mostraron.

### **A ICTA, LABOR OVALLE**

Por abrirme las puertas, permitir el  
desarrollo del tema de investigación y  
construir conocimiento en pro de la  
agricultura guatemalteca.

### **A MIS AMIGOS**

Por su valioso apoyo, esfuerzo, luchas y  
convivencia que nos unió durante la  
carrera.

## Índice.

1	Título.....	4
2	Introducción.....	7
3	Planteamiento del problema.....	9
4	Justificación.....	11
5	Marco teórico.....	12
5.1	Marco conceptual.....	12
5.1.1	Antecedentes.....	12
5.1.2	<i>Solanum tuberosum</i> .....	12
5.1.3	Especies cultivadas de papa.....	14
5.1.4	Importancia del cultivo de papa en Guatemala.....	16
5.1.5	Pool o acervo genético.....	17
5.1.6	Papas silvestres Diversidad genética y uso del germoplasma.....	17
5.1.7	Tizón tardío.....	18
5.1.8	Variabilidad genética de <i>Phytophthora infestans</i> (Mont.) de Bary.....	24
5.1.9	Tipo de apareamiento.....	25
5.1.10	Interacción hospedante-patógeno.....	25
5.1.11	Resistencia al tizón Tardío.....	26
5.1.12	Mejoramiento genético en papa.....	27
6	Objetivos.....	29
6.1	General:.....	29
6.2	Específicos:.....	29
7	Hipótesis.....	30
8	Materiales y métodos.....	31
8.1	Localización.....	31
8.1.1	Colindancias.....	31
8.1.2	Topografía.....	31
8.1.3	Situación Ecológica:.....	31
8.2	Material experimental.....	32
8.2.1	<i>Solanum agrimonifolium</i> .....	32
8.2.2	<i>Solanum demissum</i> .....	32
8.2.3	<i>Solanum morelliforme</i> .....	33

8.2.4	Solanum tuberosum subespecie andigenum .....	33
8.2.5	Solanum oxycarpum .....	33
8.3	Material testigo.....	33
8.4	Diseño experimental. ....	33
8.5	Codificación de tratamientos: .....	34
8.6	Unidad experimental. ....	34
8.6.1	Modelo de campo de ensayo de plantas.....	34
8.6.2	Modelo in vitro de ensayo de hojas.....	35
8.7	Manejo del patógeno.....	36
8.7.1	Obtención del inóculo de Phytophthora infestans Mont. de Bary. ....	36
8.7.2	Multiplicación de los patógenos Phytophthora infestans (Mont.) de Bary e incremento del inoculo.....	36
8.7.3	Multiplicación del inóculo. ....	37
8.7.4	Colecta de zoosporas después de la producción de inóculo.....	37
8.7.5	Trasplante de los ecotipos silvestres de papa.....	38
8.7.6	Toma de datos.....	39
8.8	VARIABLES DE RESPUESTA.....	39
8.8.1	Incidencia. ....	39
8.8.2	Severidad. ....	39
8.9	Análisis de la información.....	40
8.9.1	Área bajo la curva del progreso de la enfermedad.....	40
8.9.2	Área bajo la curva del progreso de la enfermedad relativo. ....	40
8.9.3	Escala de susceptibilidad.....	40
8.9.4	Análisis de Varianza .....	41
9	Resultados y Discusión. ....	42
9.1	Resultados .....	42
9.2	Incidencia del patógeno de San Marcos.....	42
9.3	Severidad del patógeno de San Marcos.....	46
9.4	Incidencia del patógeno de Quetzaltenango .....	50
9.5	Severidad del patógeno de Quetzaltenango .....	54
9.6	Discusión .....	58
10	Conclusiones.....	61
11	Recomendaciones.....	62

12	Bibliografía .....	63
13	Anexos.....	67

### INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Clasificación taxonómica de la papa .....	14
Tabla 2	Clasificación taxonómica del tizón tardío.....	19
Tabla 3	Codificación de ecotipos silvestres .....	32
Tabla 4	Datos de la incidencia en especies silvestres de papa del inóculo de San Marcos.....	42
Tabla 5	Datos de severidad de especies silvestres de papa del inóculo de San Marcos.....	42
Tabla 6	Valores obtenidos de incidencia del inóculo de Quetzaltenango.....	49
Tabla 7	Valores de la severidad de inóculo de Quetzaltenango.....	53

### INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Producción de papa en Guatemala (Toneladas).....	16
Figura 2	Comparación de los valores de ABCPE en especies silvestres ante inóculo de aldea Santa Rita, San Antonio,Sac., San Marcos .....	43
Figura 3	Progreso de la incidencia del inóculo de aldea Santa Rita, San Antonio,Sac., San Marcos .....	44
Figura 4	Variabilidad de incidencia de especies silvestres de papa ante inóculo de aldea Santa Rita, San Antonio,Sac., San Marcos .....	45
Figura 5	Comparación de ABCPE de severidad del inóculo de aldea Santa Rita, San Antonio,Sac., San Marcos.....	47
Figura 6	Progreso de la severidad del inóculo de aldea Santa Rita, San Antonio,Sac.,San Marcos .....	47
Figura 7	Comparación de severidad en especies silvestres de papa ante inóculo de aldea Santa Rita, San Antonio,Sac.,San Marcos .....	48
Figura 8	Valores de la curva ABCPE de incidencia del inóculo de ICTA,Quetzaltenango .	50
Figura 9	Progreso de la incidencia del inóculo de ICTA, Quetzaltenango .....	52
Figura 10	Variabilidad de respuesta en cultivares silvestres de papa ante inóculo de ICTA, Quetzaltenango .....	53
Figura 11	Curva ABCPE de severidad del inóculo de ICTA, Quetzaltenango .....	55
Figura 12	Progreso de la severidad del inóculo de ICTA, Quetzaltenango.....	56
Figura 13	Comparación de severidad en especies silvestres de papa ante inóculo de ICTA, Quetzaltenango. ....	57



## INDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Área de cosecha y rendimiento de papa periodo 2011-2016. ....	67
Anexo 2 Unidades productivas cultivadas de papa por departamento. ....	67
Anexo 3 Ciclo de vida de Phytophthora infestans Mont. de Bary. ....	67
Anexo 4 Mapa de ubicación de investigación, ICTA, Labor Ovalle. ....	68
Anexo 5 Escala modificada para evaluar incidencia en papa, propuesta modificada por Clive (1970), expresada en porcentaje. ....	69
Anexo 6 Clave de campo para evaluar severidad en tizón tardío de la papa. ....	69
Anexo 7 Ecotipos silvestres in vitro. ....	70
Anexo 8 Trasplante de especies silvestres a bandejas de crecimiento. ....	70
Anexo 9 Macetas de crecimiento para especies silvestres de papa. ....	71
Anexo 10 Trasplante de ecotipos silvestres a macetas de crecimiento. ....	71
Anexo 11 Identificación de la investigación con ecotipos silvestres. ....	72
Anexo 12 Monitoreo de crecimiento de ecotipos silvestres. ....	72
Anexo 13 Cámara de inoculación a) Vista de frente b) Vista lateral. ....	73
Anexo 14 Colocación de humidificador y divisiones. ....	73
Anexo 15 Colocación de plantas a) Inoculación de las plantas con patógeno. b) colocación de las plantas en la cámara de inoculación. ....	74
Anexo 16 Colocación del termohigrómetro en la cámara de inoculación. ....	74
Anexo 17 Prueba de cámara húmeda a) función del humidificador y termohigrómetro b) colocación de nylon negro para cámara oscura. ....	75
Anexo 18 Propagación del inóculo en rodajas de papa Loman. ....	75
Anexo 19 Raspado de en rodajas de papa infectadas con P. infestans. Mont de Bary. ....	76
Anexo 20 Conteo de inóculos con cámara de Neubauer . ....	76
Anexo 21 Manipulación de inóculos. A) preparación de esporas b) agitador de esporas. ....	76
Anexo 22 Observación del progreso de la enfermedad en campo. ....	77
Anexo 23 Inoculación en hojas de tratamientos. ....	77
Anexo 24 Cámara para crecimiento de esporas en hojas de especies de papa. ....	78
Anexo 25 Datos en ensayo de campo del inóculo de Quetzaltenango. ....	79
Anexo 26 Datos en ensayo de campo del inóculo de San Marcos. ....	85
Anexo 27 Datos de severidad en laboratorio Del inóculo de Quetzaltenango. ....	91
Anexo 28 Datos de severidad en laboratorio Del inóculo de San Marcos. ....	100
Anexo 29. Valores de incidencia del ABCPE del inóculo de San Marcos. ....	108
Anexo 30. Valores de severidad de ABCPE de inóculo de San Marcos. ....	108
Anexo 31. Valores de incidencia del ABCPE del inóculo de Quetzaltenango. ....	108
Anexo 32. Valores de severidad en ABCPE por especie del inóculo de Quetzaltenango. ....	108

**ACRÓNIMOS**

<b>AFLP</b>	Polimorfismo en la longitud de fragmentos amplificados
<b>ABCPE</b>	Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad
<b>ADN</b>	Ácido Desoxirribonucleico
<b>Avr</b>	Avirulencia
<b>CAMAGRO</b>	Cámara del Agro
<b>CUR</b>	<i>Solanum curtilobum</i>
<b>GON</b>	<i>Solanum gonicalyx</i>
<b>GP1</b>	Acervo Genético Primario
<b>GP2</b>	Acervo Genético Secundario
<b>GP3</b>	Acervo Genético Terciario
<b>GPI</b>	Glucosa-6-fosfato isomerasa
<b>ICTA</b>	Instituto de Ciencias y Tecnología Agrícolas
<b>JUZ</b>	<i>Solanum juzepzukii</i>
<b>MAGA</b>	Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación
<b>PEP</b>	Peptidasa
<b>PHU</b>	<i>Solanum phureja</i>
<b>rABCPE</b>	Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad Relativo
<b>SSR</b>	Repeticiones de Secuencias Simples
<b>STN</b>	<i>Solanum stenotomum</i>
<b>TUB</b>	<i>Solanum tuberosum</i> sub especie <i>tuberosum</i>

## GLOSARIO

<b>Acervo genético</b>	Conjunto de genes que poseen todos los miembros de una especie.
<b>Apresorio</b>	Extremo hinchado de una hifa o tubo germinativo que facilita la fijación y penetración de un hongo en su hospedante.
<b>Ascomycetos</b>	Hongos que se caracterizan por desarrollar esporas sexuales llamadas ascosporas, la mayoría de las veces ocho, en una estructura en forma de saco llamada asca.
<b>Cámara húmeda</b>	Sistema capaz de reproducir una atmósfera saturada de humedad relativa con un punto de rocío tal, que a la temperatura de ensayo se produce la condensación del vapor de agua existente en el interior.
<b>Ecotipo</b>	Es una subpoblación genéticamente diferenciada que está restringida a un hábitat específico, un ambiente particular o un ecosistema definido, con unos límites de tolerancia a los factores ambientales.
<b>Esporangióforos</b>	Estructura que sostiene los esporangios.
<b>Gametangios</b>	Órgano que produce los gametos que se desarrolla a partir de varias células y presenta una cubierta estéril que lo rodea; característico de briofitos y cormofitos.
<b>Germoplasma</b>	Conjunto de genes que se transmiten a la descendencia por medio de células reproductoras, y que permiten perpetuar una especie o una población de organismos.
<b>Haustorios</b>	Extremo de las hifas de un hongo parásito, simbiote o de la raíz modificada de una planta parásita que penetra en el tejido del anfitrión, pero permanece fuera de la membrana de la célula huésped.
<b>Heterotálico</b>	Que pertenece a un micelio con hifas genéticamente incompatibles, es decir, que requieren hifas distintas para formar una zigospora; se aplica a hongos y algas.
<b>Hospedante</b>	Que soporta o alberga, temporal o permanentemente, un parásito
<b><i>In vitro</i></b>	Es la técnica que se realiza fuera del organismo, dentro de un tubo de ensayo, en un medio de cultivo, o en cualquier otro ambiente artificial.
<b>Incidencia</b>	Es el porcentaje o proporción de individuos enfermos en relación al total. Los individuos pueden ser plantas, hojas, flores, folíolos, frutos, etc.

<b>Linaje</b>	Es una secuencia de especies que forman una línea directa de descendencia, siendo cada nueva especie el resultado directo de la evolución desde una especie ancestral inmediata
<b>Oomycete</b>	Es un grupo de protistas filamentosos superficialmente parecidos a hongos
<b>Patógeno</b>	Los patógenos son agentes infecciosos que pueden provocar enfermedades a su huésped
<b>Plaguicidas</b>	Los plaguicidas son sustancias químicas utilizadas para controlar, prevenir o destruir las plagas que afectan a las plantaciones agrícolas.
<b>Raza</b>	Cada uno de los grupos en que se subdividen algunas especies biológicas y cuyos caracteres diferenciales se perpetúan por herencia.
<b>Resistencia</b>	Capacidad de una variedad para limitar el crecimiento y/o desarrollo de una plaga específica y/o el daño que ésta causa cuando se compara con variedades susceptibles, bajo condiciones medioambientales y presiones de plaga similares.
<b>Septas</b>	Tabique que separa las células de las hifas en el micelio de los hongos.
<b>Severidad</b>	Es el porcentaje de la superficie del órgano enfermo, ya sea de hojas, tallos, raíces o frutos afectado por la enfermedad y varía entre 0 y 100.
<b>Silvestre</b>	Organismo que nace, crece y se reproduce de forma natural sin la intervención directa del hombre
<b>Tolerancia</b>	reducción del daño que causa a un huésped la infección por un patógeno,
<b>Virulencia</b>	Habilidad de un parásito para originar enfermedad.
<b>Zoospora</b>	Es una espora asexual provista de flagelos para locomoción, producida dentro de esporangios.

## 1 Título.

**Evaluación de la resistencia de cinco ecotipos de papa silvestre a la inoculación de dos aislamientos de tizón tardío (*Phytophthora infestans* Mont. De Bary), provenientes de los departamentos de San Marcos y Quetzaltenango.**

## RESUMEN

La diversidad genética que existe de especies silvestres de papa en Guatemala deriva de las condiciones climáticas y edáficas que ofrece para su crecimiento y desarrollo. condiciones climáticas y edáficas que ofrece para su crecimiento y desarrollo. El banco genético del ICTA cuenta con 5 ecotipos silvestres de papa que son valiosos en un programa de mejoramiento genético en papa para contribuir a la búsqueda de resistencia a enfermedades en diferentes cultivares establecidos en dos regiones del occidente de Guatemala.

Los programas de mejoramiento genético están orientadas a la búsqueda constante de genes que permitan al cultivo de papa limitar el desarrollo de patógenos entre ellos el tizón tardío. El presente trabajo de investigación tuvo a fin evaluar cinco ecotipos silvestres de papas siendo: *Solanum tuberosum* spp. *andigenum*, *Solanum oxycarpum*, *Solanum morelliforme*, *Solanum agrimonifolium* y *Solanum demissum*, ante la inoculación de dos patógenos provenientes de Olintepeque, Quetzaltenango y San Antonio Sacatepéquez, San Marcos, lugares donde existe producción de papa. Se propagaron *in vitro* los cinco ecotipos silvestres y después del trasplante a maceta se establecieron dos ensayos continuos, bajo condiciones controladas. El primer ensayo se inocularon plantas de 51 días; el segundo ensayo se utilizaron foliolos (hojas compuestas), cada ensayo se inoculó con dos aislamientos de forma separada en el laboratorio de protección vegetal del Instituto de Ciencias y Tecnología Agrícolas, Labor Ovalle, Quetzaltenango.

Como testigo se utilizó el cultivar comercial loman, llegado a determinar el Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad (ABCPE). Se identificaron que las especies silvestres no presentaron resistencia ante los inóculos de San Antonio Sacatepéquez, San Marcos y Olintepeque, Quetzaltenango, derivado a que la severidad de los patógenos puede deberse a la diversidad de *Phytophthora infestans*, condiciones climáticas o a al uso excesivo de plaguicidas.

**Palabras clave:** *Phytophthora infestans*, *Solanum demissum*, *Solanum oxycarpum*, *Solanum tuberosum* spp *andigenum*, *Solanum morellifore*, *Solanum agrimonifolium*, mejoramiento genético, ABCPE, patógeno, resistencia.



## SUMMARY (INGLÉS)

The genetic diversity that exists in wild potato species in Guatemala derives from the climatic and edaphic conditions offered for their growth and development. The ICTA gene bank has 5 wild potato ecotypes that are valuable in a potato genetic improvement program to contribute to the search for disease resistance in different cultivars established in two regions of western Guatemala.

Genetic improvement programs are aimed at the constant search for genes that allow potato crops to limit the development of pathogens, including late blight. The purpose of this research was to evaluate five wild ecotypes of potatoes: *Solanum tuberosum* spp. *Andigenum*, *Solanum oxycarpum*, *Solanum morelliflorum*, *Solanum agrimonifolium* and *Solanum demissum*, before the inoculation of two pathogens from Orintepeque, Quetzaltenango and San Antonio Sacatepéquez, San Marcos, places where there are potato production. The five wild ecotypes were propagated *in vitro* and after transplanting into pots, two continuous experiments were established under controlled conditions. In the first experiment plants were inoculated to the 51 days old. The second experiment, used leaflets (compound leaves), each test was inoculated with two isolates separately in the plant protection laboratory of the Institute of Agricultural Sciences and Technology, Labor Ovalle, Quetzaltenango.

The commercial cultivar Loman was used as a control, determining the Area Under the Disease Progress Curve (AUDPC). It was identified that wild species did not present resistance to the inoculum from San Antonio Sacatepéquez, San Marcos and Orintepeque, Quetzaltenango, due to the fact that the severity of the pathogens may be due to the diversity of *Phytophthora infestans*, climatic conditions or the excessive use of pesticides.

Keywords: *Phytophthora infestans*, *Solanum demissum*, *Solanum oxycarpum*, *Solanum tuberosum* spp *andigenum*, *Solanum morelliflorum*, *Solanum agrimonifolium*, genetic improvement, AUDPC, pathogen, resistance.

## 2 Introducción.

En Guatemala el cultivo de papa (*S. tuberosum*) desde tiempos prehispánicos se ha constituido en un cultivo importante en la dieta del guatemalteco. La importancia económica se basa en el incremento en la superficie cultivada, debido a que muestra un aumento en la productividad en los últimos años con rendimientos promedio arriba de las 27 tm/ha (CAMAGRO, 2015). El incremento en la producción conlleva al empleo de insumo agrícolas para el desarrollo del tubérculo, así también para la protección contra plagas y enfermedades.

El cultivo de papa es susceptible a tizón tardío causado por el Oomyceto *Phytophthora infestans* Mont. de Bary, afectando el follaje principalmente lo cual reduce la actividad fisiológica de la planta, también ocasiona daños en tallos y tubérculos (Forbes, G. A., & Huarte, M., 2016).

En el país el control para tizón tardío se basa empleando químicos, conduciendo a un incremento en los costos de producción, riesgos en la salud del productor y resistencia del hongo que puede conducir a una variabilidad genética causado por factores como la mutación del patógeno derivado por el uso constante de plaguicidas. (Cifuentes et. al., 2019).

Para el mejoramiento de papa se utilizan técnicas de mejoramiento genético, las cuales se obtienen materiales resistentes al hongo y adaptables a la zona de producción. El estudio de especies silvestres de papa son empleadas para el mejoramiento, sin embargo, el país cuenta con especies silvestres que han sido caracterizadas, pero aún no cuentan con estudios de resistencia.

La presente investigación se hizo en coordinación con el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA), Labor Ovalle, Quetzaltenango para generar información y poder utilizarla ha futuro en programas de mejoramiento genético. Se realizaron dos ensayos evaluando las especies: *Solanum tuberosum spp andigenum*, *Solanum agromonifolium*, *Solanum demissum*, *Solanum morelliforme*, *Solanum oxycarpum*, especies de papa silvestres, ante dos inóculos de *Phytophthora infestans*. Mont. De Bary. uno proveniente de San Antonio, San Marcos y otro de Olintepeque, Quetzaltenango, como parte de los ensayos se tuvo un testigo absoluto positivo y uno negativo de papa variedad loman.

El primer ensayo se estableció en el invernadero de protección vegetal utilizando el diseño completamente al azar con una distribución aleatoria, con cuatro repeticiones y 24 unidades

experimentales, los resultados se presentan en base al Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad (AUDCP)<sup>1</sup>, el ensayo se efectuó para conocer la incidencia de la enfermedad.

El segundo ensayo se llevó en las instalaciones del laboratorio de protección vegetal a nivel *in vitro*, se utilizó el modelo de completamente al azar. Para cada especie se usaron 4 folíolos los cuales constituyeron una unidad experimental teniendo un total de 24 unidades experimentales, los datos fueron analizados en base al Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad (AUDCP); este ensayo se efectuó para conocer la severidad de la enfermedad.

El comportamiento de la incidencia y severidad del patógeno fue diferente para ecotipo silvestres, se tuvieron especies susceptible y moderadamente resistentes que pueden ser base para estudios en programas de fitomejoramiento y así lograr introducir resistencia a cultivares comerciales del país.

---

<sup>1</sup> Por sus siglas en Inglés Area Under the Disease Progress

### 3 Planteamiento del problema.

El patógeno que causa la enfermedad de tizón tardío pertenece a la clase de los Oomycetes del orden peronosporales y familia Pythiaceae causado por *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary constituyéndose en uno de los principales problemas a pequeños y medianos productores de la región occidental (Quetzaltenango, Huehuetenango y San Marcos). La enfermedad influye en el rendimiento de papa, por cada 1% de incremento de enfermedad el rendimiento disminuye en 1.38 tm/ha (Cifuentes, et. al. 2019)

En condiciones favorables el patógeno puede ocasionar pérdidas parciales o totales del cultivo (Orbegozo et al, 2013). Se estima que a nivel mundial las pérdidas anuales son de aproximadamente 10 billones de euros (Harverkort et al., 2009). En Guatemala los productores de papa para controlar el tizón tardío (*P. infestans* (Mont.) de Bary) invierten el 25% en los costos de producción. (Cifuentes et. al., 2019), lo cual es moderadamente alto para el control.

La medida de control que se toma para la enfermedad se basa principalmente en el empleo de fungicidas, sin embargo, esta medida no resulta efectiva debido al aumento en los costos de producción, el impacto ambiental efecto de las constantes aplicaciones que realizan por ciclo y el incremento de los daños en la salud de los agricultores.

La implementación del manejo integrado del tizón tardío involucra la búsqueda de medidas más efectivas, entre ellas el empleo de cultivares resistentes. Una de las estrategias para el manejo del patógeno es el uso de la resistencia del huésped (G. A. Forbes & Huarte, 2016), permitiendo reducir significativamente los costos de producción y además contribuir a un manejo sostenible del cultivo.

Las prácticas de mejoramiento genético son bastantes complejas requieren de mucho tiempo y recursos invertidos para la obtención de variedades mejoradas. Sin embargo, las pruebas en invernaderos permiten el estudio de progenie, identificación del componente de resistencia, como la identificación de genotipos resistentes en una población a través de una evaluación de las plántulas permitiendo la utilización de una mayor cantidad de individuos por especie, de esta forma se reduce la necesidad del empleo de grandes extensiones de terreno para la investigación. (Bradshaw et al., 1995).

En estudios realizados por Ruíz de Galarreta et. al (1998) demostraron que una parte de las resistencias encontradas, entre ellas la enfermedad de tizón tardío pudo deberse a la variabilidad existente dentro de las especies. Por lo que las resistencias ante el patógeno pueden deberse al

acervo genético de las especies de *Solanum* silvestres siendo favorables para el uso del mejoramiento genético.

Por lo tanto, se planteó la siguiente pregunta de investigación ¿Existe papas silvestres con genes resistentes para desarrollar planes de mejoramiento genético o introducir genes en variedades comerciales del país y con ello contribuir a un manejo integrado?

#### 4 Justificación.

En Guatemala existe una gran diversidad de papas silvestres provenientes de diferentes regiones del país, poseen un recurso valioso en la variación genética, disponibilidad de genes deseables, constituyéndose alguno de ellos fuente para la resistencia a enfermedades severas como el tizón tardío (Fonseca, et al., 2014). Sin embargo, las investigaciones en el país no han permitido conocer el acervo genético que las especies poseen como resistencia ante el patógeno.

El estudio de la resistencia a tizón tardío con el uso de especies de *Solanum silvestres*, permite obtener caracteres que pueden ser usados como líneas para la producción de híbridos, además encontrar formas de resistencia bastante complejas, las cuales se originan por una infección continua y evolución concertada del hongo en los diferentes ecotipos. (Ruiz de Galarreta et al., 1998).

En el ICTA, Quetzaltenango, dentro del laboratorio de Biotecnología se resguarda en el banco de germoplasma cinco ecotipos de papas silvestres provenientes del occidente del país, por ello el presente estudio permitió conocer la resistencia que presentaban las especies de *Solanum silvestres* a la inoculación de *Phytophthora infestans* Mont. De Bary proveniente de dos localidades de los departamentos de San Marcos y Quetzaltenango.

La resistencia presentada de los ecotipos silvestres fue evaluada a nivel *in vitro* para conocer la susceptibilidad y a nivel de invernadero para obtener el grado de incidencia.

La información generada servirá de base para programas de mejoramiento genético en papa, se puedan obtener variedades resistentes a *Phytophthora infestans* Mont. de Bary para que un futuro se minimice la aplicación de fungicidas en áreas de producción, reduciendo de esta manera los costos de inversión, además formará parte de un manejo integrado en el campo de los agricultores y contribuirá a la disminución en daños a la salud y el impacto ambiental.



## 5 Marco teórico.

### 5.1 Marco conceptual

#### 5.1.1 Antecedentes.

En Guatemala han estudiado el aislamiento de *Phytophthora infestans* Mont. de Bary en diferentes áreas de producción de papa, Sánchez, (2012), estudió la secuenciación de genes *IpilO* por medio de técnicas AFLP en la papa variedad Loman, los inóculos provienen de diferentes partes del país. Llego a la conclusión que se puede lograr una modificación de los genes a través de la incorporación del gen RB, permitiendo determinar la diversidad genética del patógeno y bases para la implementación de un programa de mejoramiento genético.

En el Perú Sanabrina, (2019) experimentó los niveles de susceptibilidad al tizón tardío utilizando especies silvestres conservadas en el Centro Internacional de Papa, el estudio sobre el linaje clonal EC-1, fue estudiada con aislamientos POX067 determinando la identificación 6 especies con altos niveles de resistencia con especies como *Solanum albornozii*, *Solanum longiconicum*, *Solanum morelliforme*, *Solanum stenophyllidium* y *Solanum tarnii*.

Barquero, et al (2006) determinaron la resistencia de tizón tardío en 83 genotipos de papa, los cuales fueron recolectados de especies silvestres y provenientes de diferentes cruces y fusión de protoplasto en especies de *Solanum bulbocastanum*, *Solanum circaecifolium*, *Solanum okadae*, *Solanum laxissimum*, *Solanum berthaultii*, *Solanum pinnatisectum* y *Solanum commersonii*. Los genotipos que provenientes de hibridaciones somáticas silvestres como *S. bulbocastanum*, *S. circaeifolium* y *S. okadae* presentaron valores bajos en la curva de desarrollo de la enfermedad.

En México los estudios de Zúñiga, et al (2000), permitieron conocer el nivel de resistencia a *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary en 40 progenies provenientes del cruzamiento de 10 progenitores femeninos resistentes con cuatro progenitores masculinos a resistencia desconocida ante el patógeno. Los resultados se encontraron alta concordancia entre los efectos de  $g_i$  y el grado de resistencia de los progenitores.

#### 5.1.2 *Solanum tuberosum*.

##### 5.1.2.1 Historia.

La papa (*Solanum tuberosum*), según Engel, (1970, como se citó en Franco, 2002) la especie se conocía en América desde 1,500 años antes de cristo. La domesticación surgió en fecha posterior en los Altiplanos de Bolivia y Chile, junto al Lago Titicaca por los Colla (Aymara); así mismo la domesticaron los Araucanos (vivían al Sur del Río Bio Bío, Chile).

Las primeras referencias de su cultivo se citan en: El conquistador español Jiménez de Quezada conoció la papa en 1,537 en las afueras de la confederación Muisca, Colombia. Valdivia, en carta dirigida al monarca Carlos V dice: “que los indios se alimentaban con papas que iban a recoger a las colinas”.

Muestras históricas y herbario sobre estudio del ADN en variedades locales que provenientes de la India y las Islas Canarias, aseguran que la papa andina era predominante en Europa en el año 1700, sin embargo, cuando se introdujo papa proveniente de Chile, ésta rápidamente se extendió y predominó (Ames y Spooner, 2008).

#### **5.1.2.2 Origen.**

En base a estudios se determinó que la papa (*Solanum tuberosum* L) es nativa de las regiones Andinas de Sudamérica, sin embargo, como argumenta Quinatoa, (2010), existen otros centros secundarios en algunas aéreas de Mesoamérica.

Entonces la papa es considerada originaria del Altiplano de América del Sur, su centro de origen está ubicado al norte del lago Titicaca, en los Andes del Sur de Perú, debido a que se observa una gran diversidad de especies silvestre, siendo un lugar donde probablemente inició la selección y domesticación de las primeras papas cultivadas. Según Spooner y Heterscheid, (2007) argumenta que *Solanum stenotomum* es considerada la primera papa cultivada y originó a partir del complejo *Solanum brevicaule*, no obstante, Hawkes, (1990), propone que surgió a partir de la especie silvestre diploide *Solanum leptophyles*.

Guatemala, es considerado como centro secundario de origen. Los exploradores españoles llevaron la planta a Europa a fines del siglo XVI como una curiosidad botánica. Para el siglo XIX se había extendido por todo el continente, proporcionando alimentación abundante y de bajo costo a los trabajadores de la revolución industrial.

### 5.1.2.3 Clasificación taxonómica.

**Tabla 1**

*Clasificación taxonómica de la papa.*

Descripción	Grupo
<b>Reino:</b>	Plantae
<b>División:</b>	Magnoliophyta
<b>Clase:</b>	Magnoliopsida
<b>Subclase:</b>	Asteridae
<b>Orden:</b>	Solanales
<b>Familia:</b>	Solanaceae
<b>Género:</b>	Solanum
<b>Especie:</b>	tuberosum L.
<b>Nombre científico:</b>	<i>Solanum tuberosum</i> L.

*Nota:* Clasificación la papa.

En base al estudio de Hawkes, (1990) indica que hay cerca de 200 especies silvestres consideradas taxonómicamente distintas. Ellas van desde el nivel de las diploides ( $2n = 2x = 24$  cromosomas) hasta el nivel de las hexaploides ( $2n = 6x = 72$ ).

Todas estas especies existen solo en América: Crecen desde el sur de Estados Unidos, a través de México, América Central, los países andinos hasta el sur de Chile. Se encuentran desde el nivel del mar hasta más de 4,000 metros de altitud. Aunque la mayoría de las especies silvestres son tuberíferas, algunas no forman tubérculos. Hay varios sistemas de clasificación de la papa, los cuales se basan principalmente en el número de series y especies reconocidas. Así, hay tres sistemas de clasificación de las variedades cultivadas de papa, los cuales reconocen 3, 8 o 18 especies, según el grado de variación existente dentro de cada característica usada para distinguir una especie de la otra.

#### **5.1.3 Especies cultivadas de papa.**

Los juegos de cromosomas en las especies de papa son muy importantes, de ellos deriva la existencia de 8 especies cultivadas universalmente. El juego de cromosomas en la papa consta de dos. Las células somáticas de las especies cultivadas pueden variar entre el nivel diploide y pentaploide. La expresión  $2n$  simboliza el total de juegos de cromosomas y, en consecuencia, el número total de cromosomas en las células vegetativas en cualquier nivel de ploidía. (ICTA-PREDECOPERA, 2000).

Las especies de papa cultivadas conocidas son:

- a. *Solanum stenotomun* (STN)  
Especie cultivada de gran antigüedad; originada inicialmente a partir de la selección constante de los productos de recombinación genética de un complejo de especies silvestres diploides, han desempeñado papel importante en el origen de todas las otras especies cultivadas.
- b. *Solanum phureja* (PHU) Especie diploide derivada de Stenotomun. Se caracteriza fundamentalmente por el carácter aperiódico (ausencia de reposo) de sus tubérculos. Se cultiva en los valles abrigados y en las vertientes orientales de los Andes y su ciclo vegetativo es corto por lo que localmente se le conoce con el nombre de "Chaucha". En el Perú se tiene variaciones de phureja. Tipos redondos, largos, rojos o amarillos a los que siempre se les denomina como "Chaucha" o como en el caso de Puno (Ollachca, San Juan de ora, Sandia), se les conoce como "phureja" o "phureje".
- c. *Solanum gonicalyx* (GON) Derivada igualmente de stenotomun. Se caracteriza por el color amarillo intenso o particularmente "Yema de huevo" de la pulpa de sus tubérculos. El clon o variedad "Amarilla" es su representante por excelencia.
- d. *Solanum x ajanhuiri* Originada con carácter híbrido génico a partir de STN el cual se ha hibridado con la especie silvestre resistente a heladas *S. megistacrolobun*.
- e. *Solanum x juzepzukii* (JUZ) Triploide seleccionado de la hibridación de la especie tetraploide silvestre *S. acaule* con la cultivada stenotomun. Se cultiva en las partes altas de los Andes desde el centro del Perú hasta el nor-oeste argentino, sus tubérculos son amargos. Se le consume deshidratada en forma de "chuño" o "moraya".
- f. *Solanum x chaucha* Triploide híbrido de buena calidad culinaria; originado de la hibridación natural y selección de cruces entre las subespecies tetraploide andígena y el diploide STN. Probablemente algunos clones chauchas son alotriploides y autotriploides de clones STN.
- g. *Solanum tuberosum* Sub-especie *tuberosum* (TUB). Tetraploide originado por la selección de formas andinas de andígena y de las formas nativas que crecen en el Sur de Chile. Es la subespecie que se siembra en todo el mundo y especialmente en los países no tropicales. Adaptada a las condiciones de foto período largo.
- h. *Solanum x curtilobum* (CUR) Especie pentaploide de origen híbrido; sus tubérculos pertenecen al grupo de papas amargas y las plantas son de buena tolerancia a heladas. Se ha originado del cruce natural entre *S. x juzepzukii* que habría aportado gametos de

$n = 3x = 36$  cromosomas con la sub-sp. andígena como progenitor polinizador que aportó  $n = 2x = 24$ .

#### 5.1.4 Importancia del cultivo de papa en Guatemala.

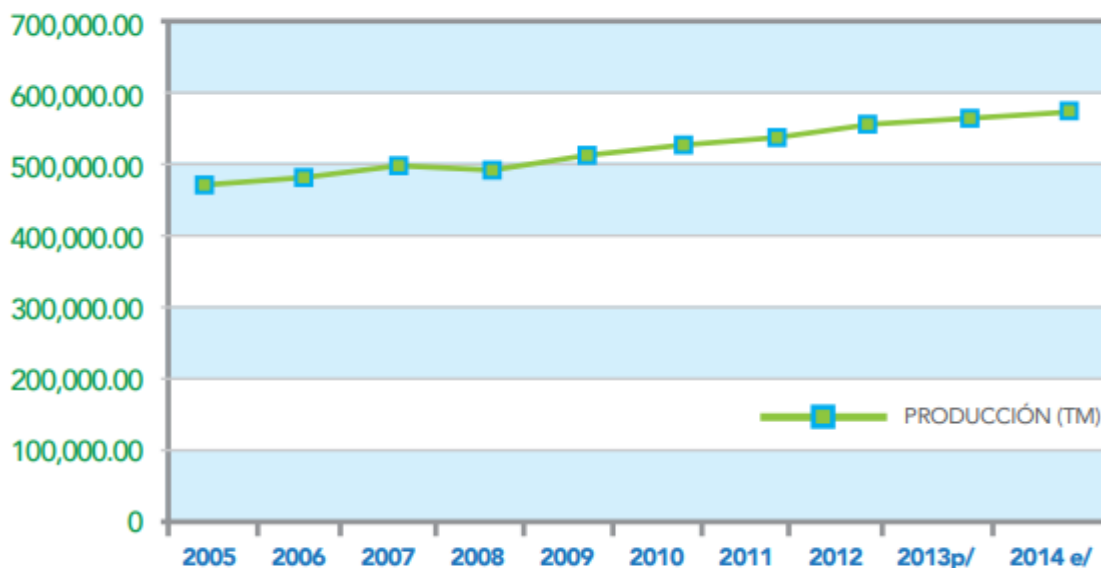
En Guatemala a nivel comercial a nivel nacional de papa ha tenido un crecimiento progresivo tanto en la siembra como con el producto obtenido. En el período 2011 a 2016 el área cosechada presentó un aumento, así también el rendimiento. (MAGA, 2016)

La producción de papa se encuentra distribuida de la siguiente forma: Huehuetenango (32%), Quetzaltenango (23%), San Marcos (21%), Guatemala (5%), Sololá (4%) y los demás departamentos de la República suman el (14%) restante. El 88.9% de la superficie cosechada se encuentra concentrada en 6 departamentos: Huehuetenango (29.1%), San Marcos (24. %), Quetzaltenango (21.7%), Guatemala (5.6%), Jalapa (4.7%) y Sololá (3.8%).

El 77% de la producción nacional y el 85% de unidades productivas se concentran en tres departamentos adyacentes de la región occidental y nor-occidental: Huehuetenango, Quetzaltenango y San Marcos. Huehuetenango es el departamento que reporta la mayor cantidad de superficie cultivada con un 29.08% y una producción del 32.33%. Quetzaltenango registra una superficie cultivada del 21.67% y una producción del 23.20%. San Marcos presenta una superficie cultivada del 24.02% y una producción del 21.38%.

#### Figura 1

*Producción de papa en Guatemala (Toneladas) (Período 2005 a 2014).*



*Nota:* Sistema de Cuentas Nacionales SCN93, Banco de Guatemala. 2014.

El consumo de la papa a nivel nacional en estudios realizados por el Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP) se ubica en 77.9%. El altiplano occidental ocupa el primer lugar en consumo a nivel nacional (29 g/ día). La variedad Loman es la que se prefiere en todos los sectores socioeconómicos para su consumo (MAGA 2006).

### **5.1.5 Pool o acervo genético.**

Estudios realizados apuntan que el término acervo genético o genepool (traducción en inglés), fue propuesto por Harlan y de Wet (1971), luego fue modificado por Hammer et al. (2003), permitiendo conocer y clasificar el pool genético en especies potencialmente disponibles en el mejoramiento genético. Las tres categorías en que se divide el acervo genético de un cultivo tienen una facilidad para el intercambio de genes.

Según Harlan y de Wet (1971), las tres categorías de la papa la describen de la siguiente manera:

**Acervo Genético Primario (GP1):** aglomera todas las papas domesticadas (*S. tuberosum* ssp. *tuberosum*), incluyendo aquellas especies nativas y cultivares. El GP1 corresponde al concepto tradicional de especie biológica.

**Acervo Genético Secundario (GP2):** incluye todas las especies de papa silvestre que pueden ser cruzadas sexualmente con especies domesticadas utilizando métodos de mejoramiento tradicionales, aunque algunas veces se requieran procesos especiales.

**Acervo Genético Terciario (GP3):** engloba a las especies silvestres que están relacionadas muy distantemente con aquellas cultivadas debido a la existencia de incompatibilidad en las cruas. Las especies del GP3 están aisladas sexualmente de las especies del GP1, por lo que no suelen ser usadas en los programas de mejoramiento.

### **5.1.6 Papas silvestres Diversidad genética y uso del germoplasma.**

La diversidad de papas está comprendida por un amplio germoplasma de especies cultivadas como silvestres. Según Hijmans y Spooner (2001), existen 199 especies de papas silvestres las cuales están distribuidas en todo el continente americano. Los géneros encontrados poseen un diverso pool genético en especies silvestre que puede ser utilizado en el mejoramiento de la papa.

Hawkes, (1990), reconoció 7 especies cultivadas y 225 especies silvestres, las cuales todas estaban incluidas en la Sect. Petota, La sección Petota a su vez está dividida en 2 subsecciones: Estolonifera con dos series no tuberíferas: Etuberosa Juz. y Juglandifolia (Rydb) Hawkes; y Petatoe con 19 series de papa tuberíferas. El total de especies aceptadas fue disminuída y

aquellas especies no tuberíferas que estaban incluídas dentro de la sección Petota fueron reubicadas en una nueva sección (Hijmans et al., 2002).

En la actualidad las especies silvestres están comprendidas en 2 grandes secciones; Petota con 196 especies silvestres tuberíferas y Etuberosum con 3 especies silvestres no tuberíferas (Hijmans *et al.*, 2002).

Los trabajos de Hijmans y Spooner (2001) para conocer la distribución de especies silvestres de papa, presentan mayor riqueza de especies silvestres en las tierras altas tropicales de América Central y Sur, Argentina, Bolivia, Ecuador y Perú, siendo el último País el que mayor número de especies silvestres de papa presenta.

### **5.1.7 Tizón tardío.**

#### **5.1.7.1 Antecedentes.**

La enfermedad fue reportada por primera vez en el año 1,590 por el padre Acosta siendo uno de los primeros en estudiar la especie, quien menciona que en las partes altas de las provincias del Collozo (Sur de Perú y noreste de Bolivia). (Martirus, 1842)

Según Martirus (1842), la enfermedad que devastaba el follaje y tubérculos de las plantas de papa era causado por un hongo, el cual denominó *Gangraena tuberum solani*. En el año 1891, Bourje escribe una serie de publicaciones explicando diversas teorías acerca de esta nueva enfermedad que aparecía en campos a lo largo de toda Europa continental, las Islas Británicas e Irlanda. La mayoría de estas teorías mencionaban al clima como principal causante de la enfermedad.

En Bélgica el Dr. August Morren (1845 como se citó en Large, 1940) escribió cartas que respaldaban la teoría de Martius, que el causante del tizón de la Papa era un hongo. Esta teoría posteriormente fue aceptada por Montagne y la describió como *Botrytis infestans* gracias a la información que logró desarrollar. Finalmente, a comienzos 1860, Anton de Bary describió el ciclo de vida del patógeno clasificándolo como un hongo, el cual llamó *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, que en griego significa “destructor de plantas”.

#### **5.1.7.2 Origen.**

En el siglo XIX los científicos creían que *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary era originario de los Andes Sudamericanos (especialmente de Perú, Bolivia y Ecuador), el cual es el centro de origen de la papa y otras solanáceas (Abad y Abad 1997). Sin embargo, los linajes clonales obtenidos de *P. infestans* (Mont.) de Bary provenientes de los Andes han sido pocos, haciendo

que la teoría no sea muy aceptada. (Adler et al. 2004, Gomez-Alpizar et al. 2007, Goodwin et al. 1994).

En estudios realizados se considera a las tierras altas del centro de México del Valle de Toluca como el centro de la diversidad genética del patógeno del tizón tardío (Fry 1993, Grünwald y Flier 2005).

Niederhauser y Mills (1953), señalan que las especies endémicas de papa, *S. demissum* y *S. stoloniferum*, existe la presencia de genes-R de resistencia al tizón tardío que resultaron de la coevolución entre *P. infestans* y especies nativas de *Solanum spp.* A esto se añade que existe menor diversidad mitocondrial en Toluca México y la predominancia de un linaje materno, lo cual sugiere un único origen para esta población (Flier et al. 2003)

### 5.1.7.3 Clasificación taxonómica.

El nombre de *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, se deriva de las palabras griegas *phyto*=planta, *phthora*= destructor. Este patógeno, miembro de la clase Oomycete, pertenece al reino cromista y está relacionado filogenéticamente con las diatomeas y algas pardas.

**Tabla 2**

*Clasificación taxonómica del tizón tardío.*

Descripción	Grupo
Reino:	Chromista o Stramenopila
Phylum:	Oomycota
Clase:	Oomycete
Orden:	Perenosporales
Familia:	Pythiaceae
Género:	Phytophthora
Especie:	<i>P. infestans</i> (Mont) de Bary

*Nota:* Grupos de clasificación del hongo *P. infestans*.

La pared celular de los Oomycetes contiene principalmente celulosa y  $\beta$ -glucanos antes que quitina y no tienen capacidad de sintetizar los esteroides. Estas características hacen suponer que los Oomycetes han coevolucionado a partir de líneas diferentes de los hongos superiores como Ascomycetos y Basidiomycetos. (Erwin y Ribeiro, 1996)



#### 5.1.7.4 Morfología.

El micelio es cenocítico, es decir no presenta septas o tabiques que separen el micelio; los esporangios son ovoides, elipsoidales a limoniformes, ahusados en la base, caducos, con un pedicelo menor de 3 mm y semipapilados. Su tamaño varía de 36 x 22  $\mu\text{m}$  a 29 x 19  $\mu\text{m}$ . Los esporangióforos son de crecimiento continuo, con un pequeño hinchamiento justo debajo del esporangio.

*P. infestans* (Mont.) de Bary es heterotálico con dos tipos de apareamiento, A1 y A2. Estos tipos de compatibilidad difieren en la producción y respuesta hormonal, más que en dimorfismo sexual. Se propuso que las hormonas A1 y A2 producidas por los grupos de compatibilidad A1 y A2 respectivamente, estimulan al grupo de apareamiento opuesto para formar oosporas.

En *P. infestans* (Mont.) de Bary los aislamientos de cada tipo son bisexuales y autoincompatibles, por lo que se han reportado diferentes grados de “masculinidad” y “femeneidad” dentro de este patógeno. Así, aislamientos que son fuertemente “masculinos” formarán más anteridios que oogonios y los que son fuertemente “femeninos” formarán más oogonios que anteridios, mientras que algunos aislamientos presentan tendencias equilibradas. Las oosporas formadas en las hojas tienen un diámetro promedio de 30  $\mu\text{m}$  (24 – 35  $\mu\text{m}$ ) y las formadas en medio de cultivo, entre 24 a 56  $\mu\text{m}$  de diámetro (Pérez y Forbes, 2008)

#### 5.1.7.5 Ciclo de vida.

##### a. Asexual.

En agua libre y con bajas temperaturas, los esporangios germinan indirectamente produciendo alrededor de 8 - 12 zoosporas uninucleadas y biflageladas. Las zoosporas se forman dentro del esporangio y son liberadas cuando se rompe la pared esporangial a nivel de su papila, lo cual permite a las zoosporas nadar libremente. Las zoosporas tienen dos flagelos diferentes: uno de los flagelos es largo y en forma de látigo, en tanto que el otro es más corto y ornamentado, con dos filas laterales de pelos en el extremo. Las zoosporas se enquistan sobre superficies sólidas, es decir, se detienen, adquieren una forma redondeada y forman una pared celular.

Una vez dentro de la planta, el micelio se desarrolla intercelularmente formando haustorios dentro de las células. Ocasionalmente se forman haustorios en forma extracelular. Cuando la temperatura es mayor a 15° C, los esporangios pueden germinar directamente, formando un tubo germinativo que penetra la epidermis de la hoja e infecta al hospedante. (Pérez y Forbes, 2010)

Dutt (1979) menciona que la fase asexual lo componen los esporangios que se comportan como un conidio y germina directamente a través de un tubo germinativo que penetra la epidermis de la hoja e infecta a su hospedante.

**b. Sexual.**

Los gametangios se forman en dos hifas separadas, por lo que *P. infestans* es heterotálico. Así, ambos tipos de apareamiento A1 y A2, estén presentes para que ocurra la reproducción sexual. La unión de los gametos ocurre cuando el oogonio atraviesa el anteridio y ocurre la plasmogamia. Esto conduce a la fertilización y al desarrollo de una oospora con paredes celulares gruesas. La oospora es fuerte y puede sobrevivir en los rastros. Bajo condiciones favorables, la oospora produce un tubo germinativo que forma un esporangio apical, el cual puede liberar zoosporas o formar nuevamente un tubo germinativo. (Hooker, 1981)

**5.1.7.6 Ciclo de la enfermedad.**

En áreas donde se cultiva papa todo el año, la fase de hibernación no parece tener un rol importante, sin embargo, en lugares donde las estaciones son muy marcadas y la oospora no está presente, el patógeno sobrevive bajo la forma de micelio, ya sea en los tubérculos desechados y apilados en los bordes del campo, tubérculos infectados almacenados para semilla o en plantas voluntarias (Hooker, 1981).

Mulder et al. (2005) enseña que el micelio hibernante presente en los tubérculos almacenados o apilados constituye la fuente primaria de infección en el campo. Y cuando la fuente de infección, en este caso las pilas de tubérculos están fuera o a un lado del campo.

*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary invade los brotes emergentes de la semilla y libera esporangios por encima del suelo, infectando las plantas circundantes, formando un nuevo foco de infección (Van der Plank, 1963).

Romero et al. (2012) descubrió que existe un efecto directo del grado de epifitía con la reducción del rendimiento, y que se debe de considerar al inicio de la tuberización como punto crítico del cultivo, por lo que el manejo debe encaminarse a retrasar el inicio de las epidemias en esta etapa y en reducir la intensidad del ataque de la enfermedad.

**5.1.7.7 Epidemiología.**

Donde no hay un ciclo sexual, la sobrevivencia del patógeno ocurre en forma de micelio en tubérculos de plantas voluntarias, tubérculos semilla o tubérculos desechados cerca a campos de cultivo. Los esporangios también pueden sobrevivir varios días e incluso semanas en suelo

húmedo, sin embargo, no sobreviven temperaturas de congelación. Los brotes desarrollados a partir de los tubérculos 20 infectados constituyen el inóculo inicial, el micelio crece a través del tallo y llega a la superficie del suelo. Cuando el micelio alcanza las partes aéreas de la planta, se forman los esporangios y estos son dispersados por el viento o salpicaduras a las plantas vecinas. Los esporangios son producidos durante las noches húmedas y en la mañana son dispersados hacia las hojas para reiniciar el ciclo. (Pérez y Forbes, 2010)

El tubo germinativo de los esporangios o de las zoosporas forman apresorios y mediante la hifa infectiva penetran principalmente por las células adyacentes a las células oclusivas del estoma. También pueden penetrar la pared periclinal de las células epidermales y formar un micelio intercelular. Al cabo de unos cuantos días (4 días en condiciones óptimas: temperaturas moderadas y alta humedad) después de haberse producido la infección, emergen nuevos esporangióforos a través de las estomas y producen numerosos esporangios que infectarán otras plantas.

Hooker, (1981), muestra que el esporangio de acuerdo con la temperatura a la cual esté expuesta puede optar por uno de dos comportamientos; geminar directamente formando el tubo germinativo cuando la temperatura oscile ente 21 a 26°C o germinar indirectamente, mediante la formación de zoosporas cuando la temperatura sea menos a 18°C (temperatura óptima de 12°C).

El monitoreo constante es imprescindible ya que, días cálidos y periodos de humedad prolongados pueden resultar en severas epidemias y destruir los campos de papa en menos de dos semanas (Ingram y Williams, 1991).

#### **5.1.7.8 Síntomas.**

##### **a. En hojas.**

Pérez y Forbes (2008), indican que las manchas son de color marrón claro a oscuro de apariencia húmeda, de forma irregular, algunas veces rodeadas por un halo amarillento, no están limitadas por las nervaduras de las hojas. Estos síntomas se presentan inicialmente en los bordes y puntas de las hojas.

Rich (1983) y Dutt (1979) describe que, en condiciones de clima frío y húmedo, la infección inicia comúnmente en las puntas o bordes de los folíolos observándose pequeñas lesiones de apariencia húmeda y coloración verde claro, las cuales luego se tornarán marrones o negros (1 o 2 días después). Estas manchas pueden estar acompañadas de halos de color verde-amarillo en los márgenes y no tienen un tamaño determinado pudiendo abarcar todo el folíolo. En el envés

del foliolo, al borde de la lesión, se desarrolla una esporulación blanquecina siendo este el rasgo característico de la enfermedad.

Una vez que el patógeno coloniza todo el foliolo, éstos se vuelven flácidos y mueren. Cuando las condiciones de humedad son prolongadas, todos los órganos aéreos se marchitan y pudren con gran rapidez, desprendiendo un aroma característico (Agrios, 2005).

#### **b. En tallos y peciolo.**

Largas lesiones se desarrollan en los tallos llegando a cubrirlo por completo. Estas lesiones comúnmente inician en los brotes debido a que éstos se mantienen húmedos por mayor tiempo, ya sea por el rocío, lluvia o riego. Los tallos infectados se vuelven frágiles y tienden a romperse con facilidad, observando muchas veces el tumbado o acame de las plantas (Dutt, 1979)

En las áreas infectadas se puede observar los esporangios, a diferencia de las hojas la esporulación puede ocurrir reiteradas veces en el tejido afectado, incluso en las partes necróticas de la lesión.

Según Pérez y Forbes, (2008) Cuando la enfermedad alcanza todo el diámetro del tallo, éstas se quiebran fácilmente al paso de las personas, equipos agrícolas o de vientos fuertes. En condiciones de alta humedad también hay esporulación sobre estas lesiones, pero no muy profusa como se presenta en las hojas.

#### **c. En tubérculos.**

Mulder y Turkensteen, (2005) determinaron que los tubérculos pueden infectarse durante su periodo de crecimiento, cosecha o almacenamiento. Además, ocurre en todos los tipos de suelos, especialmente aquellos pesados capaces de retener humedad. Pueden infectarse a través de las lenticelas, ojos y grietas en la piel.

Es común que, en zonas con presencia de lluvias, los tubérculos se infecten debido a los esporangios provenientes del follaje enfermo (Arora et al. 2014). Cuando la enfermedad se encuentra en etapas muy avanzadas, se suele observar pudriciones; en estas condiciones es probable que se desarrollen pudriciones secundarias ocasionadas por otros hongos (*Fusarium spp.*) o bacterias (*Pectobacterium spp.*, *Clostridium sp.* etc.) causando la desintegración completa del tubérculo (Pérez y Forbes, 2008).

### **5.1.8 Variabilidad genética de *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary.**

#### **5.1.8.1 Variabilidad genética.**

La genética poblacional describe y cuantifica la variación genética en determinadas poblaciones del patógeno. Esta variación se usa para hacer inferencias acerca de los procesos de evolución que las afectan. Las posibles fuentes de variación de *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary son reproducción sexual, mutación, recombinación mitótica, parasexualidad, migración y selección. Los marcadores más utilizados para caracterizar las poblaciones de este patógeno han sido la virulencia, tipo de apareamiento, isoenzimas, haplotipos mitocondriales, polimorfismo en la longitud de fragmentos de restricción (RFLP por sus siglas en inglés) y repeticiones de secuencias simples o microsatélites (SSr por sus siglas en inglés). Además, a la fecha se han desarrollado numerosos estudios basados en la secuenciación de varios genes nucleares o de organelas. (Pérez y Forbes, 2008).

La población de *P. infestans* (Mont.) de Bary antes de 1980 parecía reproducirse solo de manera asexual, por lo que pertenecía solo a un linaje clonal (US-1), con tipo de apareamiento A1, caracterizada por un único genotipo (un haplotipo de ADN mitocondrial, un único genotipo multi-locus Polimorfismos de longitud de fragmentos de restricción (RFLP) y un genotipo di-locus Isozyme (Cooke et al. 2011).

La virulencia se refiere a la habilidad genética de una raza de *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary para vencer la resistencia del hospedante causando una reacción de compatibilidad, es decir se produce la enfermedad. Los genes de resistencia (genes R) codifican productos que identifican en forma específica a otros productos codificados por genes de avirulencia del patógeno. La pérdida o cambio del gen de avirulencia permite la compatibilidad.

El término raza agrupa a los aislamientos en base a su virulencia sobre los genes R de un grupo de genotipos diferenciales de papa. El uso de los fenotipos de virulencia para inferir variación genética en la población del patógeno tiene algunas limitaciones. Por ejemplo, pueden usarse diferentes grupos de genotipos diferenciales de papa haciendo difícil la comparación de datos entre investigadores, además que el desarrollo de estos genotipos está sujetos a variaciones medio ambientales. Pero la limitación más importante es que la virulencia es un factor fenotípico antes que genotípico. En contraste a la virulencia, la agresividad se refiere al grado de daño que causa un patógeno, por lo tanto, un aislamiento agresivo causa más enfermedad.

### **5.1.9 Tipo de apareamiento.**

El tipo de apareamiento viene a ser un tipo de compatibilidad necesario para iniciar la reproducción sexual en especies heterotálicas. El descubrimiento del tipo A2 fuera del valle de Toluca en México, considerado por la mayoría de los investigadores como el centro de origen del patógeno, fue la primera evidencia de cambios en la población de *P. infestans* a nivel mundial, el cuál era hasta ese entonces de origen asexual. A la fecha se ha reportado el grupo de apareamiento A2 en casi todo el mundo. La resistencia a fungicidas en el patógeno se determina por una menor sensibilidad que la normal a dichos productos. Esta resistencia es el resultado de mutaciones estables y heredables. La resistencia al ingrediente activo metalaxyl y a otras fenilamidas ha sido reportada dentro de poblaciones de *P. infestans* a nivel mundial, constituyéndose en un factor limitante en el uso de esta clase de fungicidas.

La disminución temporal de la sensibilidad a un fungicida vendría a ser una adaptación del patógeno, sin embargo, por no ser heredable puede ser revertida por cambios en las estrategias de control químico. Las isoenzimas son formas variantes de una enzima que tienen actividad catalítica idéntica o similar. Las aloenzimas son un tipo particular de isoenzimas en las cuales las formas variantes son codificadas por el mismo locus. Son, por lo tanto, alélicas unas a otras e ideales para estudios de genética poblacional en los que se necesita conocer las frecuencias alélicas. En *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary se han caracterizado más de 50 isoenzimas, pero las más empleadas son la Glucosa-6-fosfato isomerasa (GPI) y la Peptidasa (PEP), por el polimorfismo que presentan entre genotipos. (Pérez y Forbes, 2008).

### **5.1.10 Interacción hospedante-patógeno.**

Cuando un patógeno se pone en contacto con una planta, lo primero que se produce es el reconocimiento de éste para que luego se produzca una respuesta de defensa. Una respuesta se produce gracias a compuestos químicos, llamados elicitores, producidos por organismos patogénicos y no patogénicos que se encuentran en el ambiente (Lambers et al. 1998).

Los tres tipos de interacciones entre el hospedante y patógeno son:

**Interacción no hospedante:** Kombrink y Somssich (1995) menciona que la infección no se lleva a cabo debido a que la planta activa rápidamente sus mecanismos de defensa, evitando así ser afectada, o el patógeno es incapaz de reconocer e infectar a la planta.

**Interacción incompatible:** Keen, (1990), indica que una planta reconoce a una raza específica del patógeno como resultado de la interacción directa o indirecta del producto del gen dominante o semidominante de resistencia (gen-R) de la planta con un producto de un gen dominante de

avirulencia (Avr) del patógeno, lo cual resulta en una incompatibilidad genética entre estos. La alteración o pérdida en el gen R de la planta o en la avirulencia del patógeno (gen Avr) resultará en el establecimiento de la enfermedad (Hammond-Kosack y Jones 1997).

**Interacción compatible:** De Wit, 1997, describe que no existe una correspondencia entre el gen-R y el gen Avr, por lo que no existe una incompatibilidad genética, la respuesta de defensa no es activada y la enfermedad se establece.

#### **5.1.11 Resistencia al tizón Tardío.**

Según Collinge y Slusarenko, (1987), la resistencia es la habilidad del hospedante a suprimir o retardar la actividad de un patógeno y puede tomar diversas formas. Los cultivares resistentes son un medio efectivo y económico en el manejo de patógenos de plantas, el cual ha sido explorado, en el caso del control del tizón tardío, desde la década de 1840. Existen numerosas fuentes de resistencia en especies de *Solanum silvestres* que forman tubérculos (Hanneman et al. 1986) y proveen resistencia a una diversidad de patógenos y plagas, entre ellas al tizón tardío ocasionado por *P. infestans* (Mont.) de Bary, pero muy pocas han sido estudiadas o empleadas en programas de mejoramiento. Las plantas son resistentes a los patógenos debido a que pertenecen a grupos taxonómicos que son inmunes a estos patógenos (resistencia de plantas no hospedantes), porque tienen genes que proporcionan resistencia directa ante los genes que determinan la virulencia del patógeno en particular (resistencia verdadera) o bien debido a que, por varias razones, las plantas escapan o toleran la infección causada por este patógeno (resistencia aparente).

##### **5.1.11.1 Resistencia verdadera.**

La resistencia verdadera puede ser dividida en dos tipos: La resistencia vertical, también conocida como cualitativa, específica o monogénica, el hospedante y el patógeno son incompatibles, el primero generalmente responde desarrollando una reacción de hipersensibilidad, de esta forma el patógeno no puede establecerse ni multiplicarse en la planta hospedante (Agrios 2005).

En general la resistencia vertical inhibe o reduce el inóculo inicial del patógeno (Van der Plank 1963). Para que se produzca este tipo de resistencia es necesario que exista un gen en el patógeno que es reconocido por un gen en la planta (Teoría del gen por gen), es decir hay un gen-R (de resistencia) en la planta para un gen Avr (avirulencia) en el patógeno y los productos de ambos interactúan específicamente como receptor-ligando.

Por otro lado, se tiene la resistencia horizontal, Torres (2002), menciona que la resistencia horizontal está gobernada por genes menores ( $r$ ), que proporcionan ciertas características a las plantas.

Pieterse et al., (1998) menciona que, en la resistencia horizontal, la planta hospedante limita la penetración e invasión del tejido por cualquier raza del patógeno y disminuye la intensidad de la esporulación y el tiempo necesario para iniciar nuevas infecciones. A diferencia de la resistencia vertical, el nivel de resistencia horizontal de un cultivar reduce la frecuencia de infección, la tasa de crecimiento de la lesión y la producción de esporangios; y por otro lado alarga el período de latencia

#### **5.1.11.2 Resistencia aparente.**

Según Agrios, (2005) la resistencia aparente se da cuando una planta o variedad susceptible permanece libre de la enfermedad y de síntomas. Este tipo de resistencia es resultado de los procesos de escape o de tolerancia a la enfermedad:

El escape, ocurre cuando las plantas genéticamente susceptibles no son afectadas, debido a la ausencia de uno de los tres factores necesarios para el desarrollo de la enfermedad (hospedante susceptible, patógeno virulento y ambiente favorable). El escape de la enfermedad puede darse cuando las semillas botánicas y vegetativas emergen más rápido, la planta madura más rápido y antes de que la temperatura sea favorable para el desarrollo de la enfermedad. También puede incluirse los factores que afectan la supervivencia, infectividad, multiplicación y diseminación del patógeno. (Agrios, 2005)

La tolerancia en las plantas es la capacidad de producir una buena cosecha aun cuando son infectadas por un patógeno. La tolerancia es causada por características hereditarias específicas del hospedante que permiten que el patógeno se desarrolle, mientras la planta sobrevive y produce normalmente. No se conoce aún si la tolerancia tiene alguna relación con la resistencia horizontal (Agrios 2005).

#### **5.1.12 Mejoramiento genético en papa.**

Black y Gallegly, (1957) y Van der Plank (1968) explican que *Solanum demisum* fue la especie que tuvo mayor atención, convirtiéndose en la más usada en los programas de mejoramiento, especialmente aquella con resistencia hipersensitiva, más tarde descrita como resistencia vertical o específica. Para 1970, se empezó a evidenciar la pérdida rápida de 29 resistencia en las variedades desarrolladas, por lo que los programas de mejoramiento cambiaron de enfoque, buscando ahora lograr variedades con resistencia horizontal. *S. stoloniferum* fue otra especie



encontrada con genes de resistencia (genes-R) similares a *S. demissum* por lo que estos también fueron vencidos en poco tiempo.

En Guatemala, el mejoramiento genético ha sido estudiado por medio de las técnicas AFLP y secuenciación del ADB del gen *IpiO* en *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, que han sido colectadas en las zonas productivas de Guatemala, encontrado que existe una alta diversidad genética que surge de la recombinación genética en la reproducción sexual. La incorporación de genes mediante técnicas de transformación genéticamente en el genoma de la papa se pueden regenerar plantas a partir de las células transformadas. (Sánchez, 2012).

El Instituto de Tecnología y Ciencias Agrícolas (ICTA), ha trabajado en el desarrollo altos y establecer niveles de resistencia al tizón tardío. Se cuenta con especies silvestres colectadas en el altiplano occidental para la realización de investigaciones de diversa naturaleza.

## 6 Objetivos.

### 6.1 General:

Determinar el nivel de tolerancia de *Solanum agrimonifolium*, *Solanum demissum*, *Solanum morelliforme*, *Solanum tuberosum* ssp. *andigenum* y *Solanum oxycarpum* a la inoculación de dos aislamientos de *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary.

### 6.2 Específicos:

**6.2.1** Seleccionar los ecotipos silvestres de papa con resistencia al tizón tardío causado por dos aislamientos de *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary.

**6.2.2** Evaluar los aislamientos de *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary. colectadas en ICTA Olinstepeque, Quetzaltenango y Aldea Santa Rita, San Antonio Sacatepéquez, San Marcos.

**6.2.3** Calcular el nivel de severidad e incidencia que presenten los cinco ecotipos de papa provenientes de cultivo *in vitro*.

## 7 Hipótesis.

**Ho1.** Los ecotipos silvestres de papa no presentan ninguna incidencia diferente a la inoculación de dos aislamientos de tizón tardío (*Phytophthora infestans* Mont. De Bary.) en condiciones controladas en la ABCPE.

**Ho2.** Los ecotipos silvestres de papa no presentan ninguna resistencia diferente a *Phytophthora infestans* Mont. de Bary proveniente de dos localidades del occidente de Guatemala.

## **8 Materiales y métodos.**

### **8.1 Localización.**

El ensayo de investigación se estableció en el ICTA, Labor Ovalle, ubicado en el municipio de Olinstepeque, departamento de Quetzaltenango. Las coordenadas fueron: Latitud: 14°52'16" Norte Longitud: 91°30'52" Oeste (ver anexo 4).

#### **8.1.1 Colindancias.**

El área colinda al norte con el municipio de Cajolá y San Francisco La Unión al sur con La Esperanza, al este con Andrés Xecul, departamento de Totonicapán y al oeste con Cajolá.

#### **8.1.2 Topografía.**

El lugar posee pendientes del 2% al 5% no son inclinados.

#### **8.1.3 Situación Ecológica:**

##### **8.1.3.1 Clima.**

La temperatura mínima en Olinstepeque oscila entre -2 a 0 grados centígrados y la máxima de 22 a 28 grados y una media de 10 a 14 grados, la cual varía de acuerdo con la época del año. (INSIVUMEH, 2008).

##### **8.1.3.2 Altitud.**

El municipio se encuentra a una altitud de 2350 msnm.

##### **8.1.3.3 Temperatura.**

La temperatura de la región varía, dependiendo de la época del año, presentando una temperatura máxima de 22.2°C, una temperatura media anual de 13.7 °C. y una temperatura mínima de 6.8°C.

##### **8.1.3.4 Precipitación pluvial**

La precipitación pluvial anual registrada en la región varía de 1,042 mm distribuidos generalmente en los meses de abril a octubre.

##### **8.1.3.5 Vientos.**

Generalmente se presentan en dirección de norte a este con una velocidad promedio de 9.5 kilómetros / hora, siendo de moderados a fuertes

### 8.1.3.6 Zonas de vida.

Según Holdridge la zona de vida de la región se clasifica como Bosque muy Húmedo Montano Bajo Subtropical.

### 8.1.3.7 Vías de acceso.

Labor Ovalle cuenta con una vía de acceso, que la conduce al municipio de Olinstepeque, siendo esta la carretera Interamericana, que va también al municipio de San Carlos Sija. Esta vía de acceso se encuentra en buenas condiciones ya que es una carretera asfaltada la cual puede ser transitada sin ningún problema tanto en época seca como en época lluviosa.

## 8.2 Material experimental.

Para la investigación se utilizaron 5 especies de papa silvestre proveniente del banco de germoplasma existentes en el laboratorio de biotecnología del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas, labor Ovalle, Olinstepeque, Quetzaltenango. Estas especies fueron elegidas por su representación taxonómica y su limitación geográfica de especies silvestres.

**Tabla 3**

Codificación de ecotipos silvestres.

<b>Especie</b>	<b>Código</b>	<b>Procedencia</b>
S. agrimonifolium	S-10e	San Marcos
s. demissum	S-14f	Huehuetenango
S morelliforme	S-2c	Quetzaltenango
S.T. Andigenum	501	San Marcos
S. Oxycarpum	S-1d	Quetzaltenango

*Nota:* Codificación de cada especie silvestres de papa según ICTA, Labor Ovalle.

### 8.2.1 *Solanum agrimonifolium*

La especie *S. agrimonifolium* posee hojas compuestas con un largo de 40 cm o más, con 7 a 9 pares de folíolos laterales y cada uno con 20 pares de folíolos intersticiales, flores con corola de color púrpura de 2,5 cm de diámetro, frutos cónicos apicalmente agudos. Esta es la única especie de papa silvestre de Guatemala, que aún tiene problemas en sus límites como especie con *S. oxycarpum*.

### 8.2.2 *Solanum demissum*

La especie *Solanum demissum* que crece en forma de roseta y en ocasiones es ascendente; los folíolos son sésiles, redondeados y obtusos en el ápice, corola purpura generalmente con lóbulos muy cortos. Esta especie tiene autopolinización, y produce fácilmente frutos en condiciones naturales.

### 8.2.3 *Solanum morelliforme*

La especie *Solanum morelliforme* es de hojas simples, flor con corola blanca, pequeña y en forma estrellada. Esta especie es el único miembro de la sección Petota que crece casi exclusivamente como una epífita ocasionalmente.

### 8.2.4 *Solanum tuberosum subespecie andigenum*

La subespecie *Solanum tuberosum subespecie andigenum* es una planta anual, herbácea y de naturaleza perenne según tamaño, produce tallos aéreos que crecen de 0,5 a 1 metros (m) de altura. Pueden presentarse flores terminales y dar como resultado un fruto de 1 a 3 centímetros (cm) de diámetro, que contiene una gran cantidad de semillas. Los frutos o bayas no son comestibles y las semillas se emplean sólo en la siembra. El sistema fibroso de raíces se extiende superficialmente y se desarrollan rizomas múltiples que terminan en los tubérculos conocidos como papas.

### 8.2.5 *Solanum oxycarpum*

*Solanum oxycarpum* presumiblemente hace referencia a una fruta puntiaguda por las bayas puntiagudas es una especie que se encuentra principalmente en hábitats de bosques nubosos. Las plantas alcanzan seis pies de altura. Flores de color azul a morado. Bayas largas y cónicas. Tubérculos pequeños y blanquecinos. Correll (1962) informa que esta especie no siempre forma tubérculos.

## 8.3 Material testigo.

EL material que sirvió de testigo en el estudio fue la variedad Loman es una planta con tallos y hojas color verde oscuro es una planta susceptible a tizón tardío. La altura de planta varía desde 20-30 cm hasta los 60-65 cm. En condiciones de campo no produce flores o algunas veces pocas. La forma del tubérculo puede variar de oblongo alargado a alargado. La pulpa y piel es de color crema, susceptible a Tizón Tardío. Su ciclo vegetativo varía de 80-90 días a 120 días.

## 8.4 Diseño experimental.

El diseño experimental utilizado en la investigación fue completamente al azar, el cual se adecuó a las condiciones controladas durante la investigación. Se tuvieron cinco tratamientos y cinco repeticiones. El modelo estadístico fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$ = variable de respuesta de las 24 unidades experimentales.

$\mu$  = media general de la incidencia y/o severidad.

$\tau_i$  = efecto de los 5 tratamientos (nivel del factor) en la variable dependiente de la severidad y/o incidencia.

$\epsilon_{ij}$  = error experimental asociado a las 24 unidades experimentales.

### 8.5 Codificación de tratamientos:

P1= *Solanum tuberosum* spp *andigenum*

P2= *Solanum agrimonifolium*

P3= *Solanum demissum*

P4= *Solanum morelliforme*

P5= *Solanum oxycarpum*

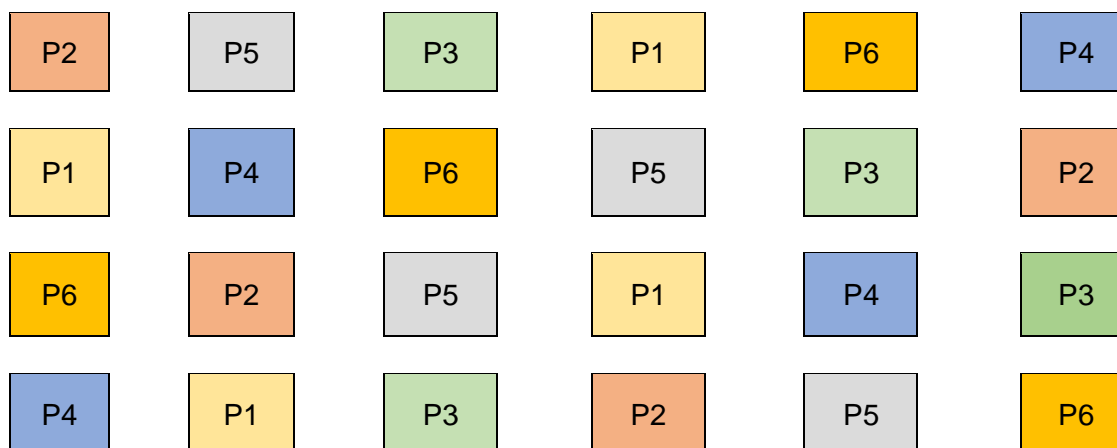
P6= *Solanum tuberosum* var. Loman

### 8.6 Unidad experimental.

Las unidades experimentales fueron 24, se tuvieron seis tratamientos con cuatro repeticiones distribuidas de manera al azar, en el ensayo de hojas cada unidad experimental fue una hoja simple o compuesta según la morfología de la especie.

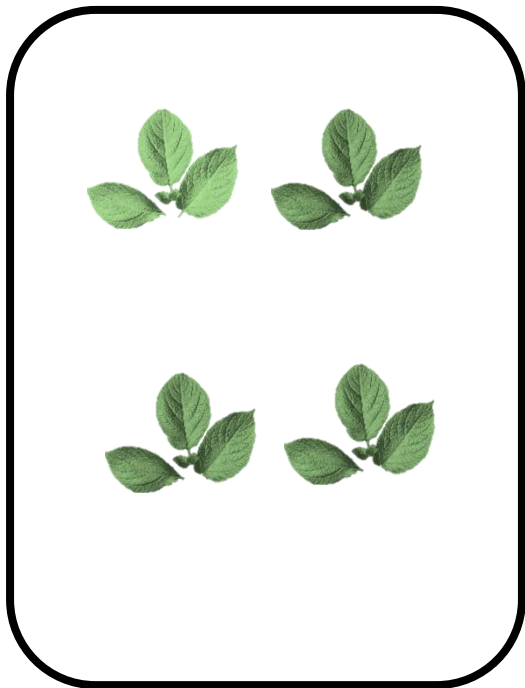
Cada tratamiento constituyó una especie de papa, los cuales estarán distribuidos en una maceta representado una unidad experimental.

#### 8.6.1 Modelo de campo de ensayo de plantas.

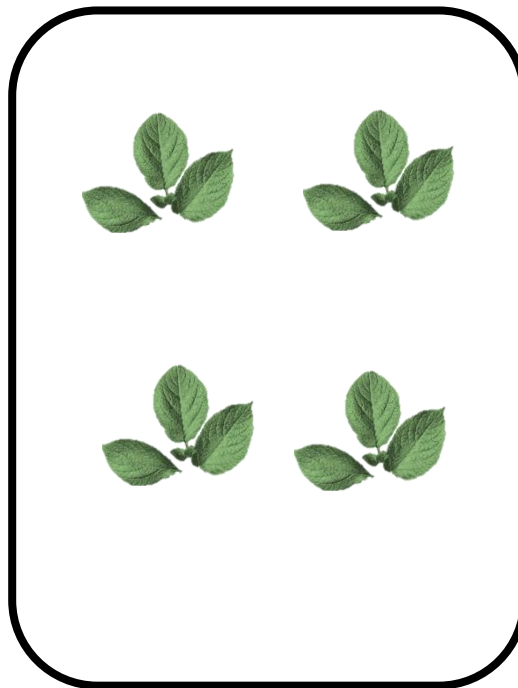


### 8.6.2 Modelo in vitro de ensayo de hojas

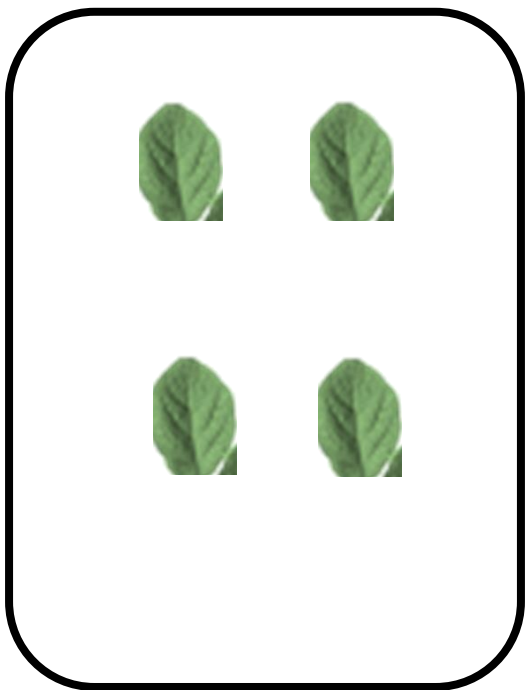
P1. *Solanum tuberosum* spp *andigenum*



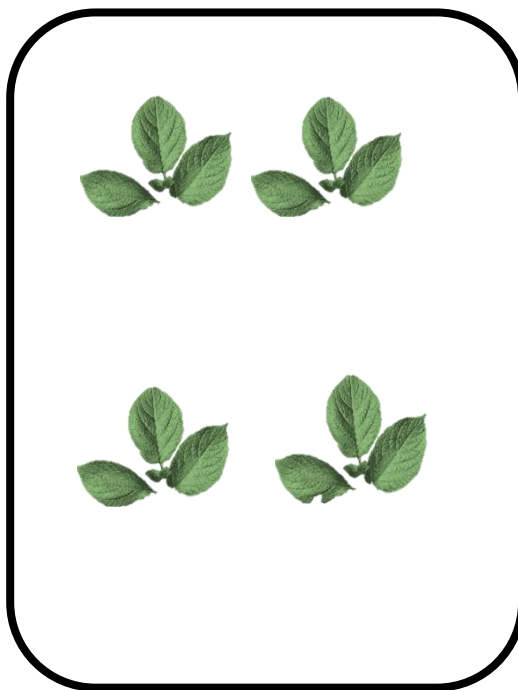
P2=*Solanum agrimonifolium*



P3= *Solanum demissum*

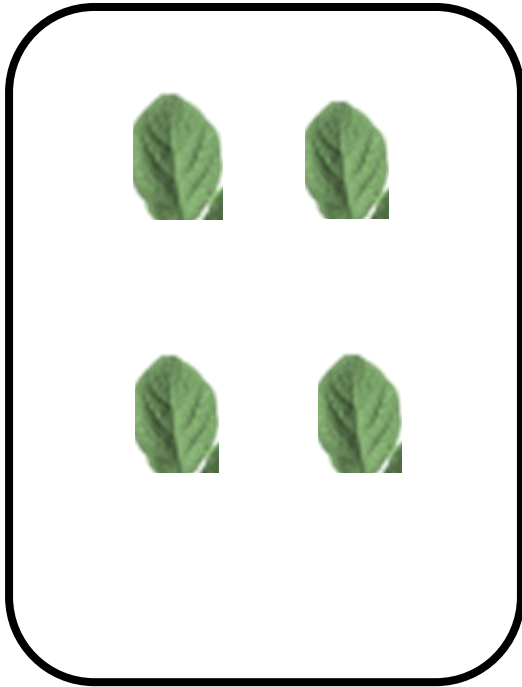


P4= *Solanum morelliforme*

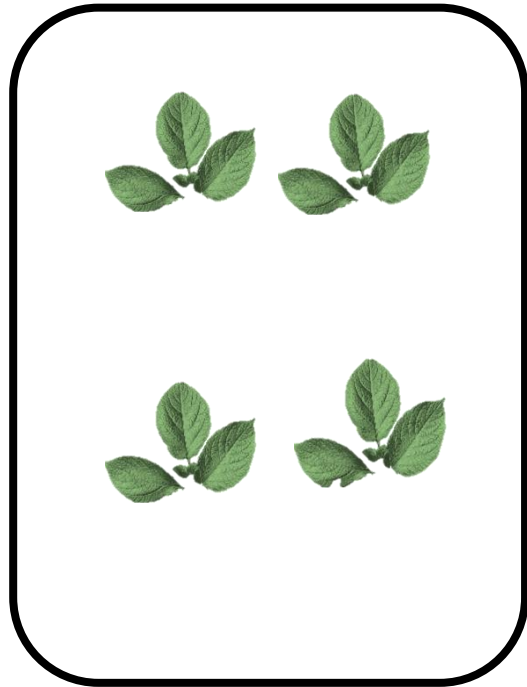




P5= *Solanum oxycarpum*



P6= *Solanum tuberosum* var. Loman



## 8.7 Manejo del patógeno.

### 8.7.1 Obtención del inóculo de *Phytophthora infestans* Mont. de Bary.

El inóculo uno utilizado fue proveniente del departamento de San Marcos se recolectó en campos de cultivo de aldea Santa Rita del municipio de San Antonio Sacatepéquez. Los muestreos se realizaron utilizando una estrategia de muestreo jerárquico descrito por Grünwald et al., 2001. En el muestreo se colectó cinco muestras en el área de producción. Las muestras fueron etiquetadas y envueltas en una bolsa de periódico recomendado Sato, et al., (1991)., las cuales fueron llevadas al laboratorio en una hielera.

El segundo inóculo se encontraba conservado *in vitro* proveniente ICTA-Labor Ovalle, municipio de Olinstepeque del departamento de Quetzaltenango. El primer inóculo se propagó sobre rodajas de papa estériles, para contar con suficiente inóculo. El segundo inóculo se reactivó en rodajas de papa para contar con suficiente inóculo en el laboratorio de fitopatología ICTA, Labor Ovalle.

### 8.7.2 Multiplicación de los patógenos *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary e incremento del inóculo.

El aislamiento se realizó en rodajas de papa, lo cual se dejó bajo condiciones controladas para evitar la multiplicación del patógeno.

### **8.7.3 Multiplicación del inóculo.**

Para la multiplicación de *P. infestans* se inoculó en tubérculos donde se realizó lo siguiente:

1. Se seleccionó tubérculos de la variedad Loman de tamaño mediano, sin pudriciones, daños severos o coloración verde.
2. Se procedió a lavar los tubérculos con cloro y a centrifugar durante 30 minutos, seguidamente se secaron.
3. Las superficies de los tubérculos se esterilizaron sumergiéndolos en alcohol al 70% durante unos segundos, luego se pasaron por el mechero a manera de flamearlos.
4. Utilizando una navaja desinfectada y flameada con alcohol se procedió a cortar el tubérculo en rodajas de 1 cm de grosor, estas se inocularon con el inóculo aislado, para ello se realizó un corte en la parte mediana de la rodaja de papa en forma de triángulo y se insertó un pedazo del patógeno. Se tuvo el cuidado de no utilizar las partes externas de los tubérculos.
5. Se procedió a colocar las rodajas de papa sobre una malla plástica laminada y esterilizada en cajas de plástico con papel filtro húmedo.
6. Las rodajas de papa fueron inoculadas, se les colocó la tapadera de plástico y se procedieron a colocar en forma apilada.
7. Las cajas con los inóculos se ubicaron en un lugar oscuro y seco cubriéndolos con un nylon color negro a manera que originara una cámara húmeda. Se incubó a 18°C durante dos días.
8. Posteriormente se realizó el conteo de los inóculos, se utilizó la cámara de Newman para ello fue necesario realizar el conteo de las esporas viables. Se contó en forma de L cada cuadro que poseía el objeto.
9. Posteriormente se procedió anotar para realizar el segundo conteo.

### **8.7.4 Colecta de zoosporas después de la producción de inóculo.**

Para la recolecta de esporangios se realizó el siguiente procedimiento:

1. El micelio desarrollado sobre la superficie de las rodajas de papa con una incisión triangular en la parte media de la rodaja de 1.5 cms de diámetro, se lavó con agua destilada, luego se pasó a través de un filtro de malla de 30  $\mu$ m para obtener esporangios del patógeno.
2. Se pasó nuevamente en un filtro de malla 10 micras, con agua destilada, posteriormente se procedió a recoger los esporangios filtrados.

3. La suspensión de los esporangios se incubó a 4° C durante una hora para promover la liberación de zoosporas en una solución Tween.

4. Se procedió a determinar la concentración de los esporangios presentes en 5 ml, para tener una concentración de  $1 \times 10^4$ . Para ello se utilizó la siguiente fórmula:

$$C1 * V1 * 10000 = C2 * V2 * 10000$$

### **8.7.5 Trasplante de los ecotipos silvestres de papa.**

#### **8.7.5.1 Producción de plantas *in vitro* y adaptación a invernadero.**

Las plantas fueron proporcionadas por el programa de biotecnología, fueron multiplicadas *in vitro* las cinco especies silvestres de papa.

1. Después de propagadas un mes en el laboratorio de Biotecnología, las plantas se trasplantaron en bandejas con sustrato estéril (peat moss).

2. Después de adaptadas las plantas se trasplantaron a macetas a los 15 días, después del trasplante y se trasladaron al invernadero de protección Vegetal.

3. Cuando las plantas contaron con 8 semanas de edad se procedió a realizar la inoculación bajo condiciones controladas.

#### **8.7.5.2 Colecta e inoculación de hojas.**

En el segundo ensayo para determinar la severidad, se trabajaron con hojas desarrolladas y que contaran con ochos semana de edad las plantas donde se extrajo el material vegetal. Se realizó el siguiente procedimiento:

1. Se dejaron crecer las plantas por 40 días, donde se extrajeron las hojas.
2. Posteriormente se prepararon cámaras húmedas en cajas plásticas previamente esterilizadas.
3. A las hojas se les tomó el ancho y diámetro para determinar el daño causado por dos aislamiento de patógeno.

#### **8.7.5.3 Inoculación de las plantas en el invernadero de protección vegetal.**

En el primer ensayo teniendo las plántulas, obtenidas de la propagación *in vitro* se inocularon con los dos aislamientos del patógeno. Para ello se utilizó un atomizador manual con una concentración de  $1 \times 10^4$  zoosporas, asperjando los esporangios en el área del envés de la hoja de cada planta para que el patógeno ingresara fácilmente.

Las plantas inoculadas se colocaron en la cámara de inoculación (ver anexo 15), también se colocó un termohigrómetro para el control de la temperatura y humedad, así mismo se procedió a colocar un humidificador para el control de humedad.

#### **8.7.5.4 Inoculación de las hojas en el laboratorio de protección vegetal**

El segundo ensayo fueron hojas inoculadas para ello se utilizó un atomizador manual con una concentración de  $1 \times 10^4$  zoosporas, previamente en la nervadura central de la hoja de papa se hizo una pequeña herida de manera transversal para facilitar la penetración del inóculo al tejido.

Duran las primeras 48 horas se dejaron las cámaras húmedas en obscuridad, posteriormente se colocó en una incubadora bajo condiciones controladas con temperatura de 20.5° C, luz constante, ventilación y humedad entre 75-80%.

#### **8.7.6 Toma de datos**

Para la toma de datos se utilizó el formato de recolección (ver anexo 22), se realizó a cada dos días las plantas en la cámara húmeda llevaron seis de datos. Respecto a la prueba de hojas en laboratorio la toma de datos se realizó en tres tomas con un intervalo de dos días.

### **8.8 Variables de respuesta.**

Para determinar la resistencia o susceptibilidad que presenten los ecotipos se trabajaron las siguientes variables respuestas:

#### **8.8.1 Incidencia.**

Este parámetro permitió conocer el número de planta enfermas con relación al total de plantas evaluadas. Se determinó usando la escala visual del Centro Internacional de la Papa, propuesta modificada por Clive (ver anexo 5).

#### **8.8.2 Severidad.**

Se utilizaron los indicadores de severidad de *Phytophthora infestans* Mont. De Bary en papa. (Ver anexo 6). La toma se realizó al primer, tercer y quinto día después de la inoculación. Se determinó el área necrótica de la enfermedad en base a la escala utilizada en el Instituto de Ciencias y Tecnologías Agrícolas, Quetzaltenango.

## 8.9 Análisis de la información.

### 8.9.1 Área bajo la curva del progreso de la enfermedad.

Se utilizó como parámetro para evaluar la resistencia el Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad (ABCPE). Este parámetro se basó en la sumatoria de los valores de severidad obtenidos en las evaluaciones en la investigación. La curva fue útil para realizar análisis comparativos entre las especies.

$$ABCPE = \sum_{i=1}^{n-1} \left( \frac{y_i + y_{i+1}}{2} \right) (t_{i+1} - t_i)$$

Donde:

n= número total de observaciones,

y=porcentaje de follaje afectado en cada evaluación,

t= días después de la inoculación de cada lectura.

En la interpretación del ABCPE, valores bajos corresponden a individuos resistentes y valores altos a aquellos que resultan susceptibles.

### 8.9.2 Área bajo la curva del progreso de la enfermedad relativo.

Esta curva del progreso de la enfermedad fue utilizada dividiendo el ABCPE entre el porcentaje de la última evaluación menos el de la primera evaluación del área foliar por 100. La evaluación del 100% del área infectada por el tizón tardío tuvo un valor de ABCPEr de 1. Los valores serán expresados como proporción de este valor.

$$ABCPEr = \frac{ABCPE}{((y_n - y_1) * 100)}$$

Donde:

ABCPE: Valor ABCPE del genotipo en estudio.

yn: Porcentaje de la última evaluación del genotipo de interés.

y1: Porcentaje de la primera evaluación del genotipo en estudio.

### 8.9.3 Escala de susceptibilidad.

Se utilizó la escala propuesta por Yuen y Forbes, (2009), la que permitió asignar un valor dentro de la escala de susceptibilidad a partir del ABCPEr. Para asignar el valor de la escala de susceptibilidad de la especie silvestre, primero se designó un valor alto dentro de la escala siendo 9 al cultivar que mayor susceptibilidad presentó. El valor designado estuvo en función del porcentaje utilizado por ICTA, Quetzaltenango.

#### **8.9.4 *Análisis de Varianza***

El análisis de varianza se realizó con el programa Infostat versión 2023, se analizaron los datos de la incidencia de los inóculos.

## 9 Resultados y Discusión.

### 9.1 Resultados

El patógeno de *Phytophthora infestans* Mont de Bary tuvo un comportamiento variable a la inoculación de las especies silvestres, en la investigación se hicieron dos tipos de ensayos donde se reflejan los datos de incidencia y severidad. Los resultados se presentan en base a dos variables incidencia (plantas) y severidad (foliolos). Para la incidencia se trabajaron los datos en base a un Análisis de Andeva y la severidad en base al Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad.

### 9.2 Incidencia del patógeno de San Marcos.

**Tabla 4**

*Análisis de Varianza de la incidencia en especies silvestres de papa del inóculo de aldea Santa Rita, San Antonio Sacatepéquez, San Marcos.*

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> aj	CV
	24	0.56	0.44	16.33

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4705.21	5	941.04	4.59	0.0071
Tratamiento	4705.21	5	941.04	4.59	0.0071
Error	3693.75	18	205.21		
Total	8398.96	23			

*Nota:* La tabla presenta los valores del inóculo aldea Santa Rita, San Antonio Sacatepéquez, San Marcos, según datos tomados en el ICTA, Quetzaltenango, 2023

La tabla 4 muestra los resultados del análisis de varianza según los tratamientos, estadísticamente con una confianza del 95% existe diferencia significativa en cada uno de los tratamientos indicando que al menos una especie presentó diferencia en la incidencia.

El coeficiente de Variación siendo de 16.33 indica que el manejo del experimento fue manejado en base a condiciones del modelo estadístico.

En la incidencia del inóculo proveniente de San Marcos, existieron dos especies que presentan moderada resistencia los cuales se tienen valores menores según la escala de susceptibilidad al testigo comercial papa variedad Loman

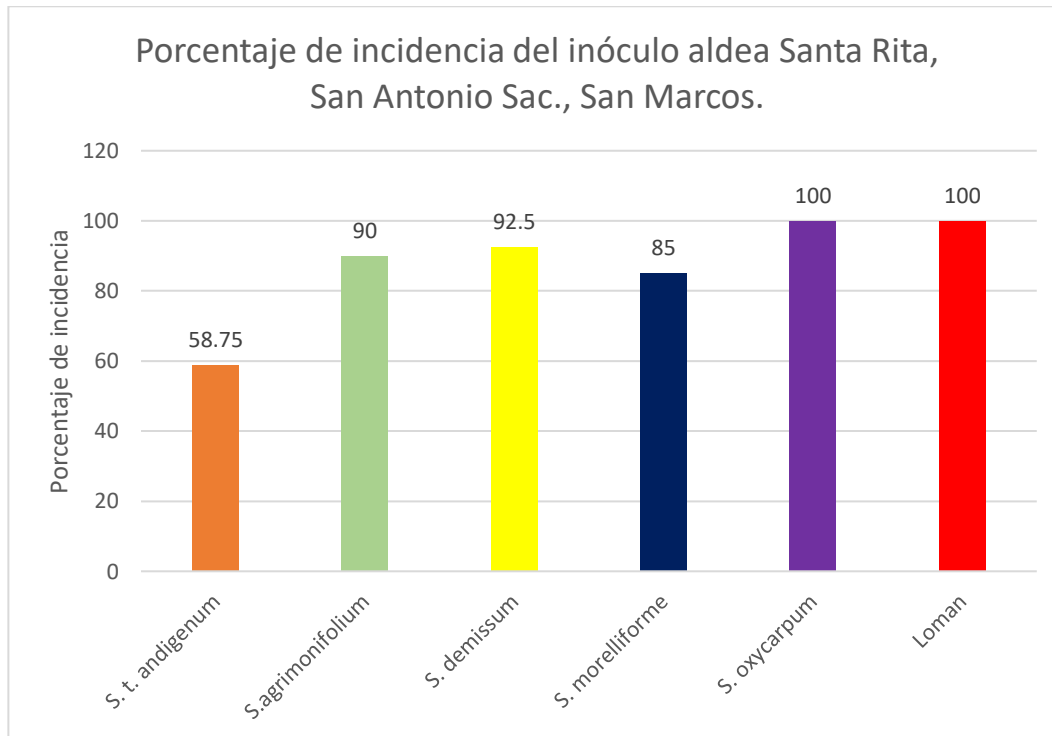
Algunos estudios realizados en el Perú concluyen que la especie *Solanum tuberosum* spp andigenum constituye una fuente para obtener altos niveles de resistencia horizontal al tizon

tardío en ausencia de genes R, pero así también es evaluar la compatibilidad de genes con especies que comercialmente se manejan en Guatemala para poder hacer uso de esta variedad.

Los datos obtenidos según la evaluación realizada en el diseño del Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad se presentan en forma estadística en la siguiente figura:

## Figura 2

*Comparación de los porcentajes de incidencia en ecotipos silvestres ante inóculo de aldea Santa Rita, San Antonio Sacatepéquez, San Marcos.*



*Nota:* Los valores de incidencia se presentan según los datos recolectados en ICTA, Quetzaltenango, 2023.

Los valores del porcentaje de incidencia de los seis tratamientos empleados presentan una desviación estándar en cada una de las especies. Los valores bajos presentados son de los ecotipos *S. morelliforme* y *S. tuberosum* spp *andigenum*.

En base a los datos obtenidos del Andeva se procedió a realizar la prueba de Tukey para conocer los tratamientos que presentaron diferencia estadística.



Tabla 5

*Prueba de Tukey del porcentaje de incidencia en ecotipos silvestres de papa del inóculo de aldea Santa Rita, San Antonio Sac., San Marcos.*

Tratamiento	Medias	n	E.E		
S.oxycarpum	100	4	7.16	A	
Loman	100	4	7.16	A	
S.demissum	92.5	4	7.16	A	
S. agrimonifolium	92	4	7.16	A	B
S. morelliforme	85	4	7.16	A	B
S. t spp andigenum	58.75	4	7.16		B

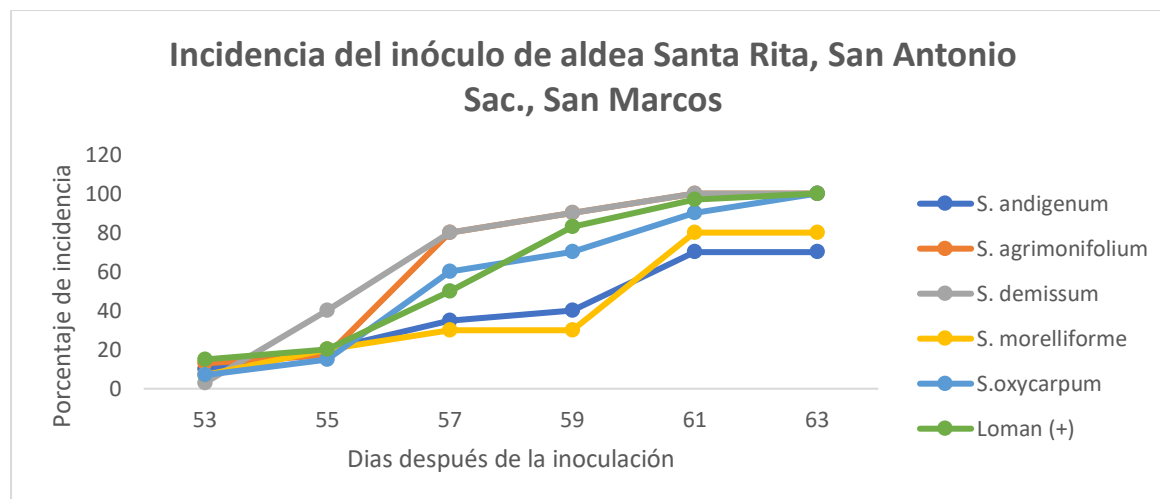
Nota: Los datos se trabajaron en programa INFOSTAT, en base a los datos recolectados en campo.

Se puede observar según la prueba de Tukey los valores presentan una diferencia entre las especies *Solanum Tuberosum* spp andigenum por lo que existe una diferencia en el grado de incidencia ante los demás ecotipos. La resistencia estará determinada por el grado de severidad por lo que se procederá a evaluarla.

El comportamiento de la incidencia en forma estadística se comportó de forma exponencial, donde se puede observar que los valores estuvieron distribuidos de la siguiente manera de acuerdo a los días después de la inoculación:

Figura 3

*Progreso de la incidencia del inóculo de aldea Santa Rita, San Antonio Sacatepéquez, San Marcos*



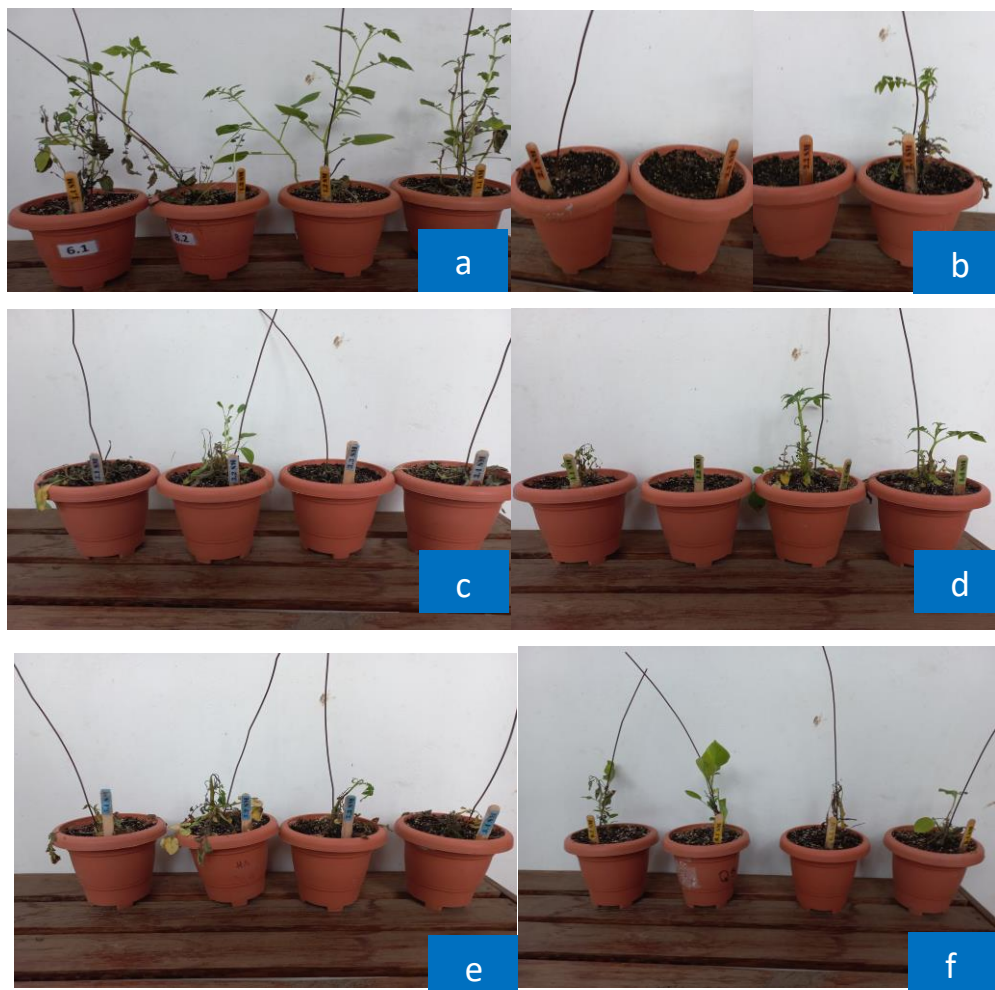
Nota: Los valores presentados de la incidencia muestran los tratamientos evaluados en base a datos recolectados en ICTA Quetzaltenango, 2023

La incidencia de cada especie se muestra de manera progresiva, al transcurrir los días la incidencia en cada planta aumenta, lo cual indica que las condiciones controladas en las que se trabajaron favorecieron el incremento del inóculo y existió una propagación entre las especies. Las medias obtenidas de la temperatura oscilaron entre 12° a 24° C, con medias de Humedad de 65% a 90%.

Las plantas presentaron diferente sintomatología según tipo de especie, el estado fenológico se puede observar en la siguiente figura, donde se presentan los ecotipos silvestres conjuntamente con el testigo.

#### Figura 4

Variabilidad de incidencia de especies silvestres de papa ante inóculo proveniente San Marcos. a) *Solanum tuberosum* spp *andigenum* b) *S. agrimonifolium* c) *Solanum demissum* d) *S. morelliforme* e) *S. oxycarpum* f) *S. tubersum* var. Loman.



*Nota:* Se observan las especies de papa según los resultados de incidencia obtenidos reflejando los valores para la obtención del ANDEVA.

### 9.3 Severidad del patógeno de San Marcos

El trabajo realizado para el análisis de severidad se trabajó con foliolos de cada una de las especies.

La inoculación se llevó a los 38 días después de la siembra debido a que no se encontró referencia alguna de la edad adecuada para la toma de las muestras. Los resultados fueron los siguientes:

**Tabla 6**

*Datos de severidad de especies silvestres de papa del inóculo de aldea Santa Rita, San Antonio Sacatepéquez, San Marcos*

Días después de la inoculación	Lectura	Lectura	Lectura	ABCPE	rABCPE	Valor más alto	Constante	Escala de susceptibilidad
	1	2	3					
	40	42	44					
<i>S. morelliforme</i>	1	2.33	7.67	13.33	0.033			7.58
<i>S. demissum</i>	1	3.5	7.75	15.75	0.039			8.95
<i>S. t. andigenum</i>	1	2.83	7.42	14.08	0.035			8.01
<i>S. agrimonifolium</i>	1	3.33	8.17	15.83	0.040	9	227.42	9.00
<i>S. oxycarpum</i>	1	2.75	8	14.5	0.036			8.24
<i>Loman (+)</i>	1	2.67	7.83	14.17	0.035			8.06

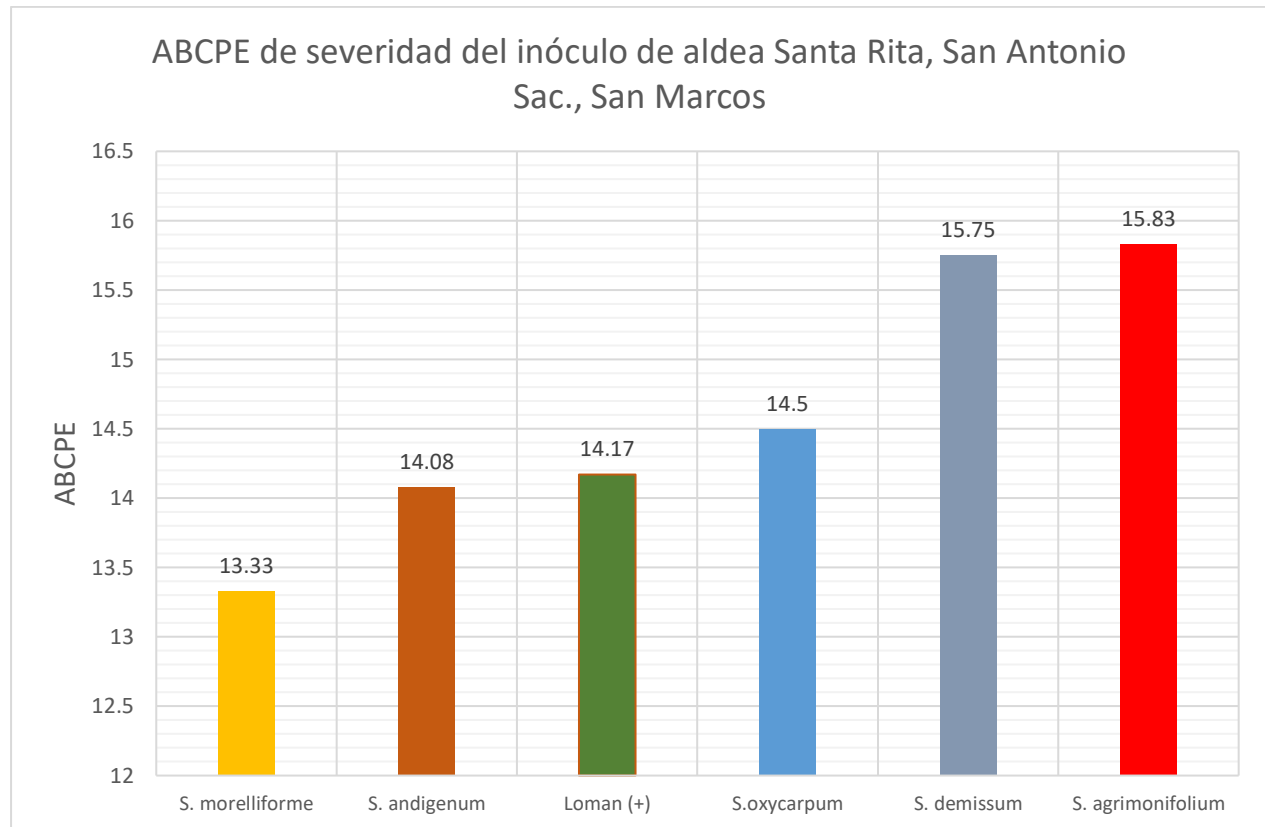
*Nota:* En la tabla se adjuntan las lecturas de los tratamientos evaluados de la severidad con los valores de área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad (ABCPE) y Área Bajo la Curva del Progreso de la enfermedad relativo (rABCPE) y la escala de susceptibilidad del inóculo de San Marcos según datos obtenidos en el ICTA, Quetzaltenango, 2023.

La incidencia obtenida fue en base a la clave utilizada por el Centro Internacional de la papa debido a que sido una metodología adaptada por el ICTA, Quetzaltenango. Los datos presentados en el cuadro muestran los datos del Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad, así mismo se tiene una escala relativa de ABCPE. La especie *S. agrimonifolium* presenta un valor en escala de susceptibilidad 9, siendo el valor más alto, en contraste al testigo *Loman* (8.06). Por otro lado, los valores en todos los tratamientos obtenidos fueron altos de *S. morelliforme* (7.58) y *S. tuberosum* spp *andigenum* (8.01), *Solanum oxycarpum* (8.24), *Solanum demissum* (8.95).

Los resultados muestran que no existen especies tolerantes o moderadamente tolerantes, sino que los valores presentados son considerados altos representando que existe alto grado de susceptibilidad siendo el patógeno agresivo. La comparación de cada tratamiento en base al Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad se presenta en la siguiente figura.

## Figura 5

Comparación de ABCPE de severidad del inóculo de San Marcos.



*Nota:* Los valores de severidad se presentan de manera ascendente según el ABCPE de los tratamientos en base a datos recolectados en ICTA, Quetzaltenango, 2023.

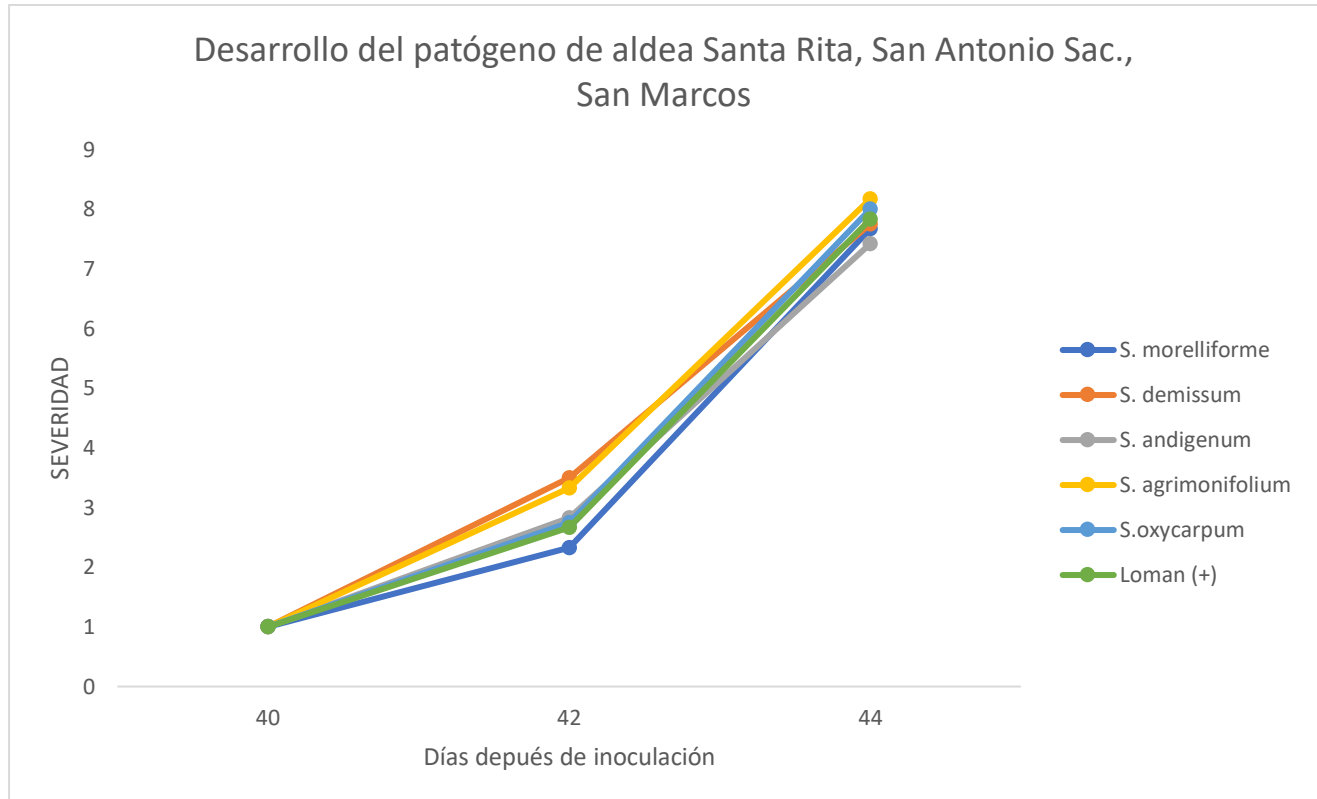
Los datos se ordenan con una desviación estándar para comparar la diferencia entre cada valor obtenido en la ABCPE. Los datos presentados también obtuvieron diferentes grados de esporulación (Ver anexo 28) de los cuales el mayor grado encontrado fue 2, haciendo referencia que no en toda la lámina foliar las estructuras de haustorios logran hospedarse en la hoja.

Se puede observar que los valores en base al Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad son similares, no existe diferencia significativa por lo tanto las variedades no presentan tolerancia ante el inóculo de *P. infestans* Mont. De Bary proveniente de San Marcos.

El comportamiento de la severidad respecto al tiempo de inoculación se presentó de manera progresivo, como se observa en la siguiente figura:

## Figura 6

Progreso de la severidad del inóculo de aldea Santa Rita, San Antonio Sacatepéquez, San Marcos



Nota: Los valores presentados de la severidad muestran los tratamientos evaluados en base a datos recolectados en ICTA Quetzaltenango, 2023.

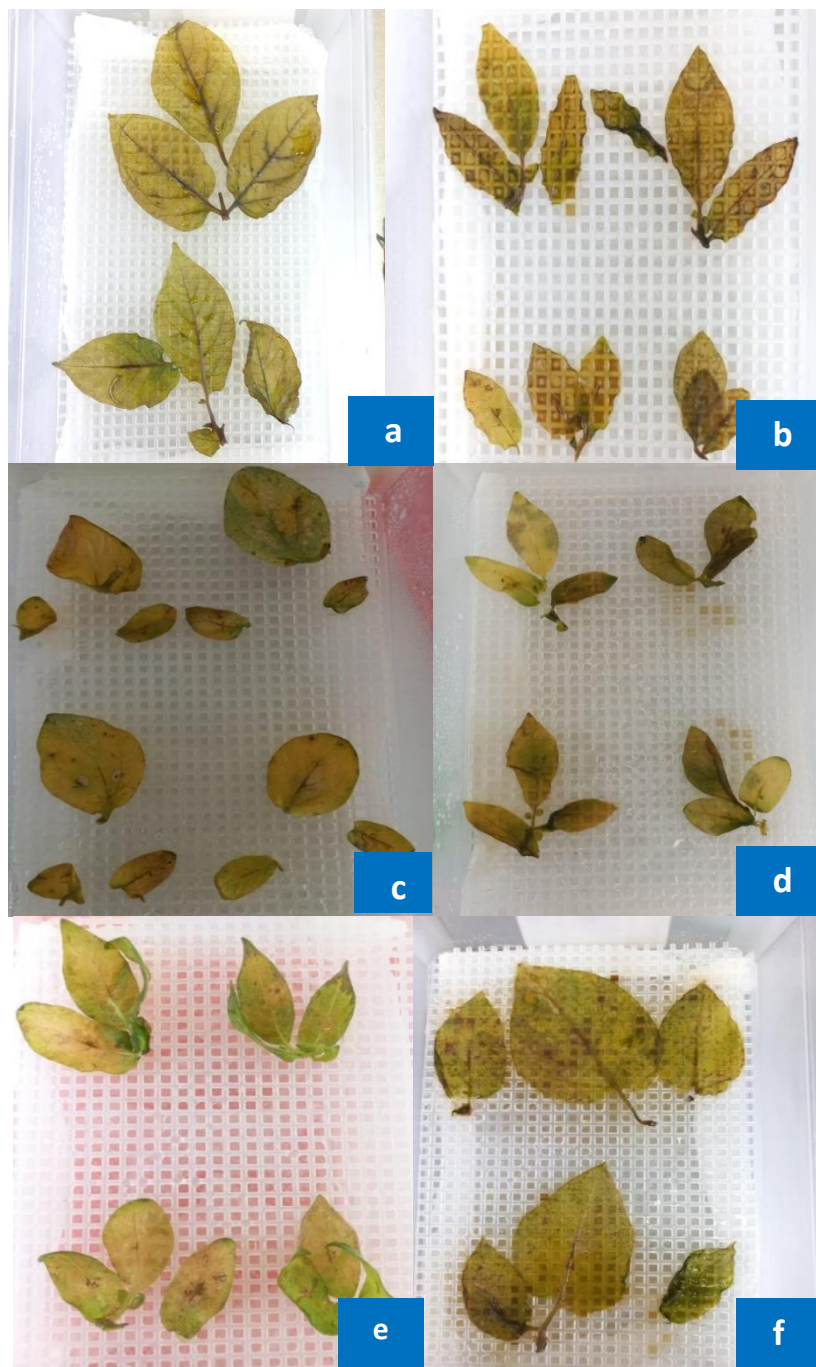
La curva tiene valores cercanos unos con otros, la diferencia se observa entre las especies *S. morelliforme*, *S. tuberosum* sp. *Andigenum*, *S. oxycarpum* y el testigo Loman, a diferencia de las especies *S. demissum* y *S. agrimonifolium* tienen comportamiento más progresivo.

Se observa una similitud de la incidencia en cada especie, por lo que *P. infestans* logra hospedarse y desarrollar por lo tanto el nivel de resistencia puede llegar a ser nulo o bajo.

El hospedante puede tener una mayor agresividad y colonizar la mayor parte del tejido vegetal en la papa, los folíolos evaluados tuvieron presencia significativa del patógeno. Los tratamientos evaluados a nivel *in vitro* muestran un comportamiento progresivo en base a los días después de la inoculación, se puede observar los tratamientos de la severidad a continuación:

Figura 7

Comparación de severidad en especies silvestres de papa ante inóculo de San Marcos. a) *Solanum tuberosum* spp *andigenum* b) *S. agrimonifolium* c) *Solanum demissum* d) *S.morelliforme* e) *S. oxycarpum* f) *S. tubersum* var. Loman



*Nota:* Se observan las especies de papa según los resultados obtenidos de la severidad reflejando los valores para la obtención del ABCPE y rABCPE.

## 9.4 Incidencia del patógeno de Quetzaltenango

**Tabla 7**

*Análisis de Varianza de la incidencia del inóculo de ICTA, Quetzaltenango.*

Variable	N	R	R aj	CV
Especie	24	0.64	0.54	16.38

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	11671.88	5	23334.38	6.5	0.0013
Tratamiento	11671.88	5	2334.38	6.5	0.0013
Error	6468.75	18	359.38		
Total	18140.63	23			

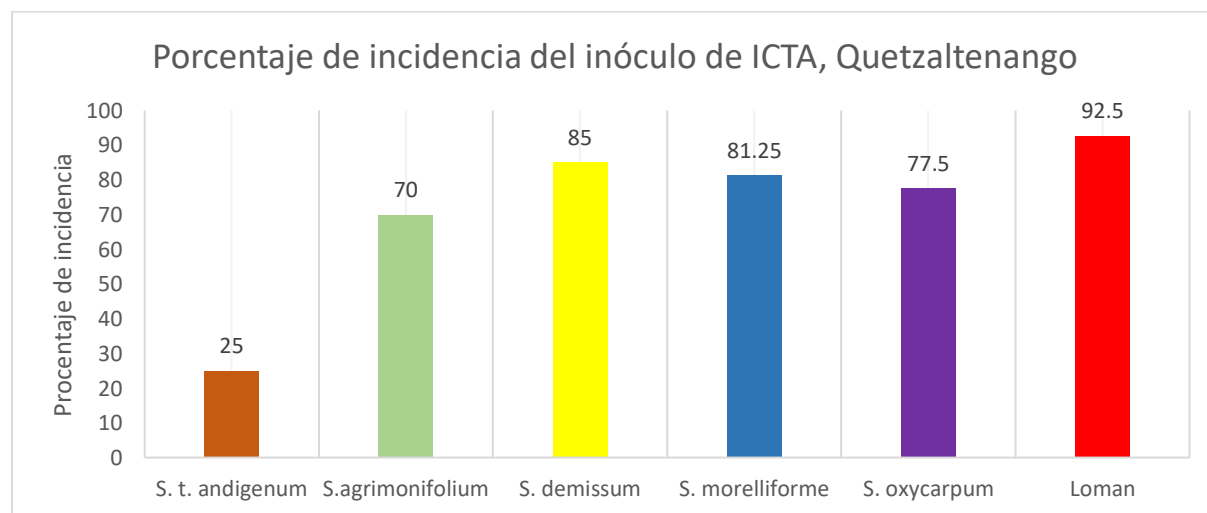
*Nota:* En la tabla se adjuntan las lecturas de los tratamientos evaluados de la incidencia del inóculo de Quetzaltenango según los valores obtenidos en el ICTA, Quetzaltenango, 2023

La tabla 7 muestra los resultados del análisis de varianza según los tratamientos, estadísticamente con una confianza del 95% existe diferencia significativa en cada uno de los tratamientos indicando que al menos una especie presenta diferencia en la incidencia del inóculo de Quetzaltenango.

La comparación de cada especie silvestre de papa en valores de ABCPE se observa a continuación:

**Figura 8**

Valores de la curva ABCPE de incidencia del inóculo de ICTA, Quetzaltenango.



*Nota:* Los valores de incidencia se presentan los tratamientos en base a datos recolectados en ICTA, Quetzaltenango, 2023.



La gráfica presenta los tratamientos evaluados con desviación estándar, la especie *S. andigenum* es la especie que presenta menor porcentaje de incidencia. Las especies *S. morelliforme* y *S. oxycarpum* son especies que presentan mediana resistencia ante el inóculo. El testigo Loman, presentó más resistencia que las especies *S. demissum* y *S. agrimonifolium*, siendo estas últimas especies con mayor susceptibilidad.

Según Gastelo et al. (2010) dentro de los programas de mejoramiento del Centro Internacional de la Papa se han desarrollado poblaciones de clones derivadas de cultivares de *S. tuberosum* spp *andigenum*, lo cual ha contribuido en gran medida a la productividad agrícola y la reducción de pobreza en área del altiplano.

Se realizó una prueba de medias en base al modelo de Tukey para conocer los tratamientos diferenciados.

Tabla 8

Prueba de Tukey de la severidad del patógeno de ICTA, Quetzaltenango.

Tratamiento	Medias	n	E.E	
Loman	92.5	4	9.48	A
S.demissum	85	4	9.48	A
S. morelliforme	81.25	4	9.48	A
S. oxycarpum	77.5	4	9.48	A
S. agrimonifolium	70	4	9.48	A
S. t. andigenum	25	4	9.48	B

Nota: La prueba de Tukey se presenta en base a los datos de incidencia del inóculo de Quetzaltenango, realizado en el programa INFOSTAT.

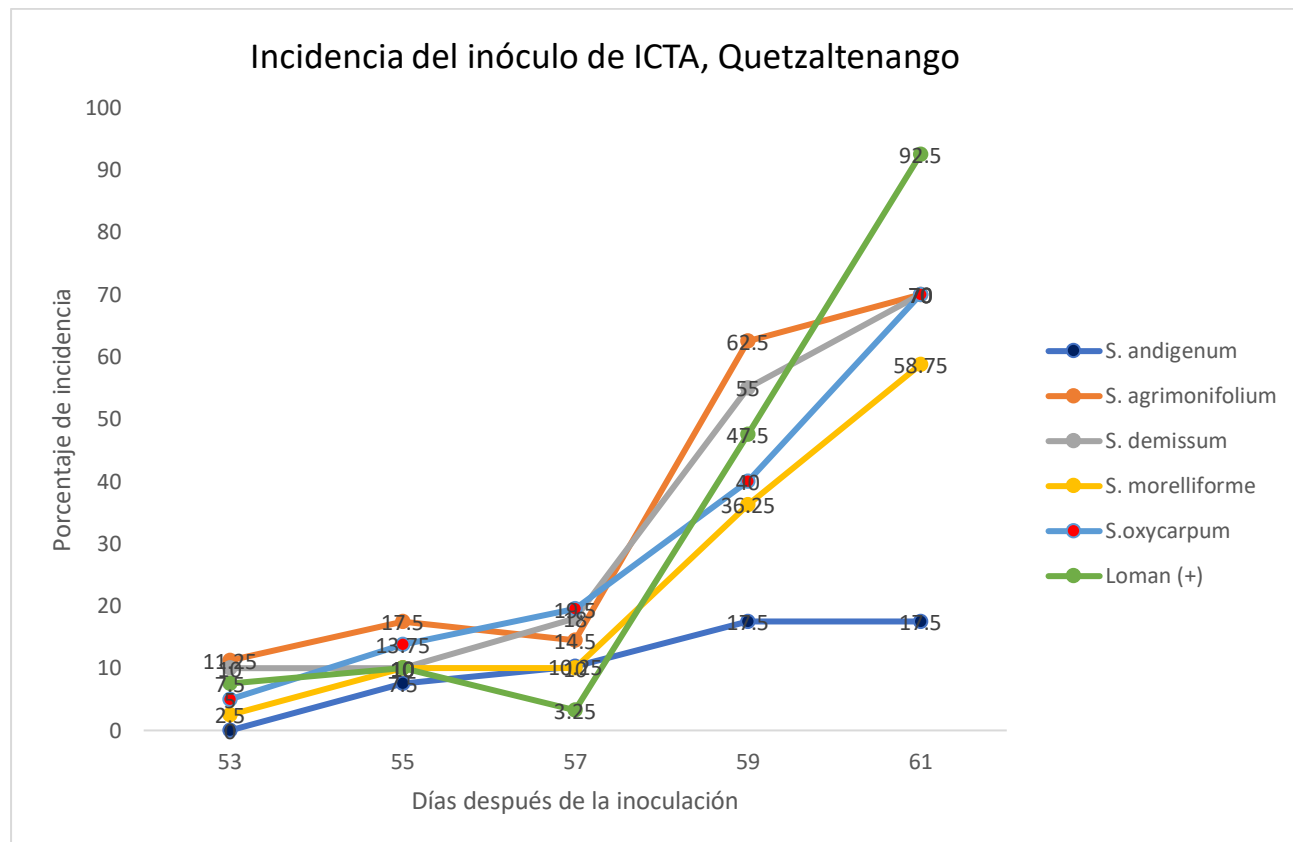
La especie que presenta una resistencia diferencia es el ecotipo *Solanum tuberosum* spp. *andigenum*, por lo que presenta una menor incidencia ante los demás ecotipos. Sin embargo, los valores de la severidad indicarán si la especie presenta resistencia ante *P. infestans*. Mont. De Bary.

El progreso de la enfermedad de acuerdo a los días después de la inoculación se presenta de manera exponencial, permitiendo deducir que existió crecimiento del patógeno.



**Figura 9**

Progreso de la incidencia del inóculo de ICTA, Quetzaltenango.



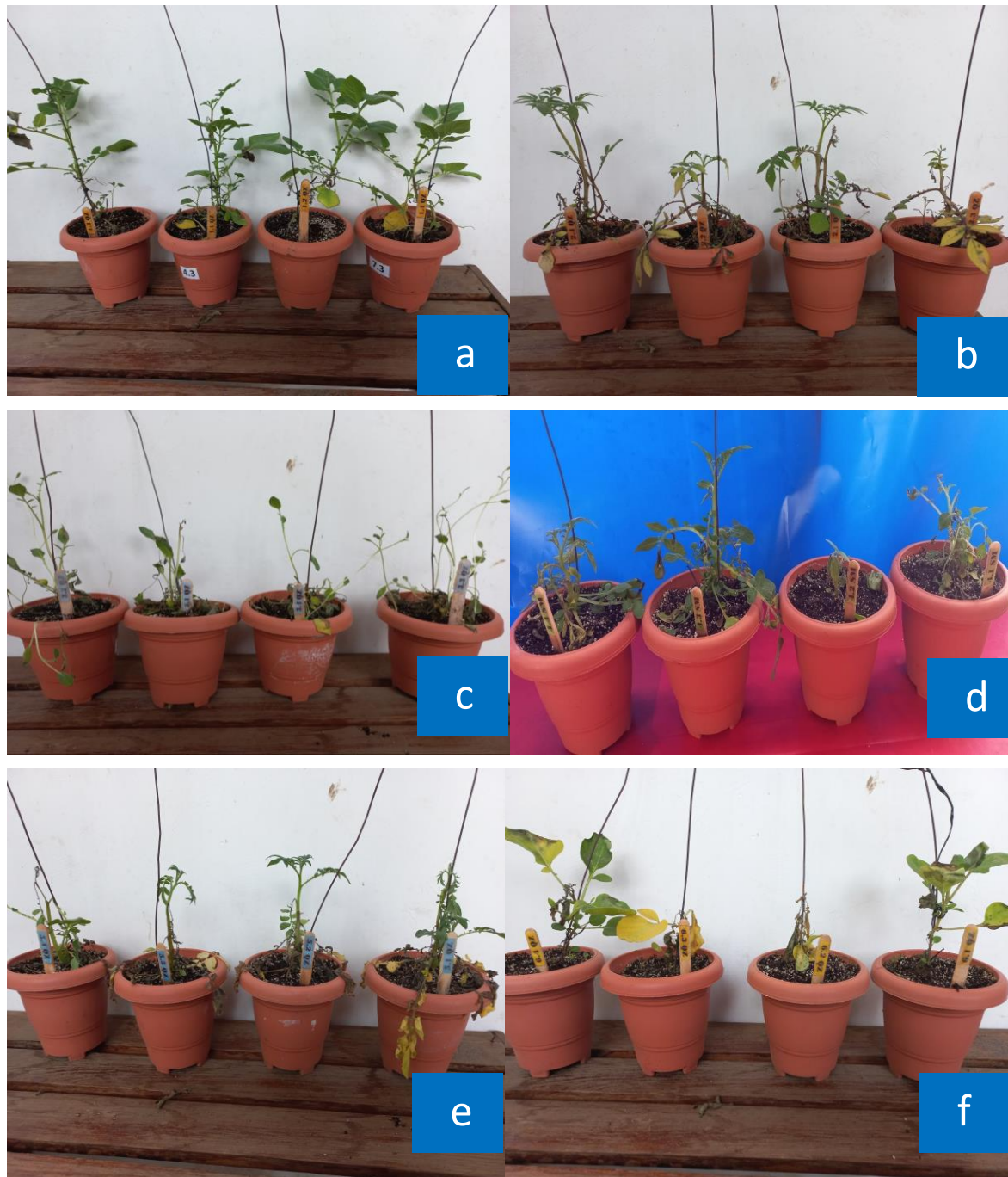
*Nota:* Los valores presentados de la incidencia muestran los tratamientos evaluados en base a datos recolectados en ICTA Quetzaltenango, 2023

Los datos muestran un comportamiento ascendente en cada uno de los tratamientos, el inóculo logró establecerse y desarrollarse en las especies al transcurrir el tiempo después de la inoculación, la especie que menor susceptibilidad presenta es *Solanum tuberosum* spp *andigenum* la cual permanece con valores bajos al transcurrir los días.

El estado fenotípico de las plantas ante el patógeno de Quetzaltenango se muestra diferente según el tipo de especie como se muestra en la siguiente figura:

**Figura 10**

Variabilidad de respuesta en cultivares silvestres de papa ante inóculo de ICTA, Quetzaltenango  
 a) *Solanum tuberosum* spp andigenum b) *S. agrimonifolium* c) *Solanum demissum* d)  
*S. morelliforme* e) *S. oxycarpum* f) *S. tubersum* var. Loman.



**Nota:** Se observan las especies de papa según los resultados obtenidos de incidencia reflejando los valores para la obtención del ABCPE y rABCPE.

## 9.5 Severidad del patógeno de Quetzaltenango

Tabla 7

Valores de la severidad de inóculo de Quetzaltenango.

Días después de la inoculación	Lectura	Lectura	Lectura	AUDPC	rAUDPC	Valor más alto	Constante	Escala de susceptibilidad
	1 40	2 42	3 44					
<b>S. morelliforme</b>	1	1.5	4.42	8.42	0.021			7
<b>S. demissum</b>	1	2	4.67	9.67	0.024			8
<b>S. andigenum</b>	1	1.25	3.58	7.08	0.018			6
<b>S. agrimonifolium</b>	1	2.83	4.91	11.57	0.029	9	311.14	9
<b>S. oxycarpum</b>	1	2	4.58	9.58	0.024			7
<b>Loman (+)</b>	1	2.17	4.25	9.59	0.024			7

*Nota:* En la tabla se adjuntan las lecturas de los tratamientos evaluados de la severidad con los valores del Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad (ABCPE) y Área Bajo la Curva del Progreso de la enfermedad relativo (rABCPE) y la escala de susceptibilidad del inóculo de Quetzaltenango según los valores obtenidos en el ICTA, Quetzaltenango, 2023.

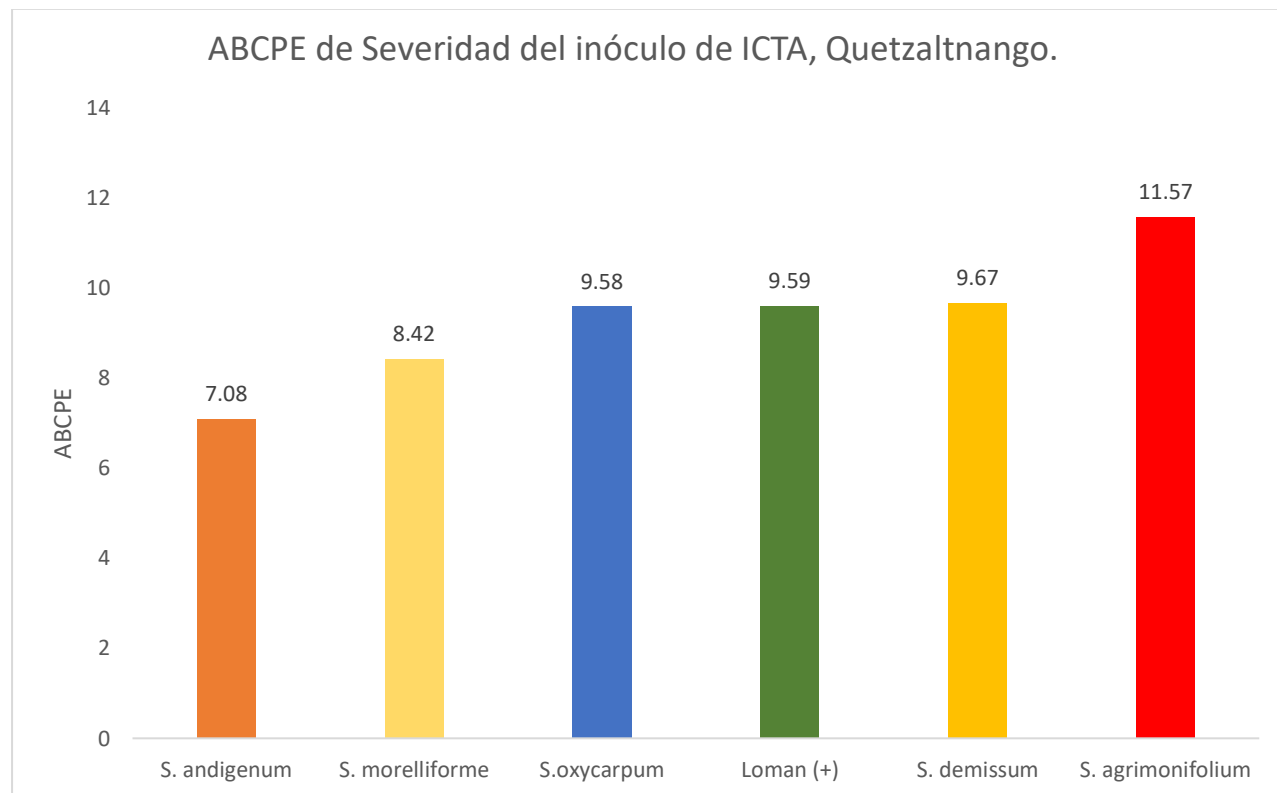
La tabla anterior muestra que la especie *Solanum agrimonifolium* presenta mayor susceptibilidad (9), seguidamente con *Solanum demissum* (8), las especies *Solanum oxycarpum*, *Solanum morelliforme*, y *S. tuberosum* var. *Loman* presentaron valores altos de susceptibilidad (7), la especie *Solanum tuberosum* spp *andigenum* presento moderada susceptibilidad (6).

La mayor parte de las especies presentaron alta susceptibilidad mostrando que el patógeno suele ser agresivo y colonizar la parte vegetativa para desarrollarse.

Los valores del ABCPE se muestran con un comportamiento diferente de acuerdo a los valores tomados:

### Figura 11

Curva ABCPE de severidad del inóculo de ICTA, Quetzaltenango.



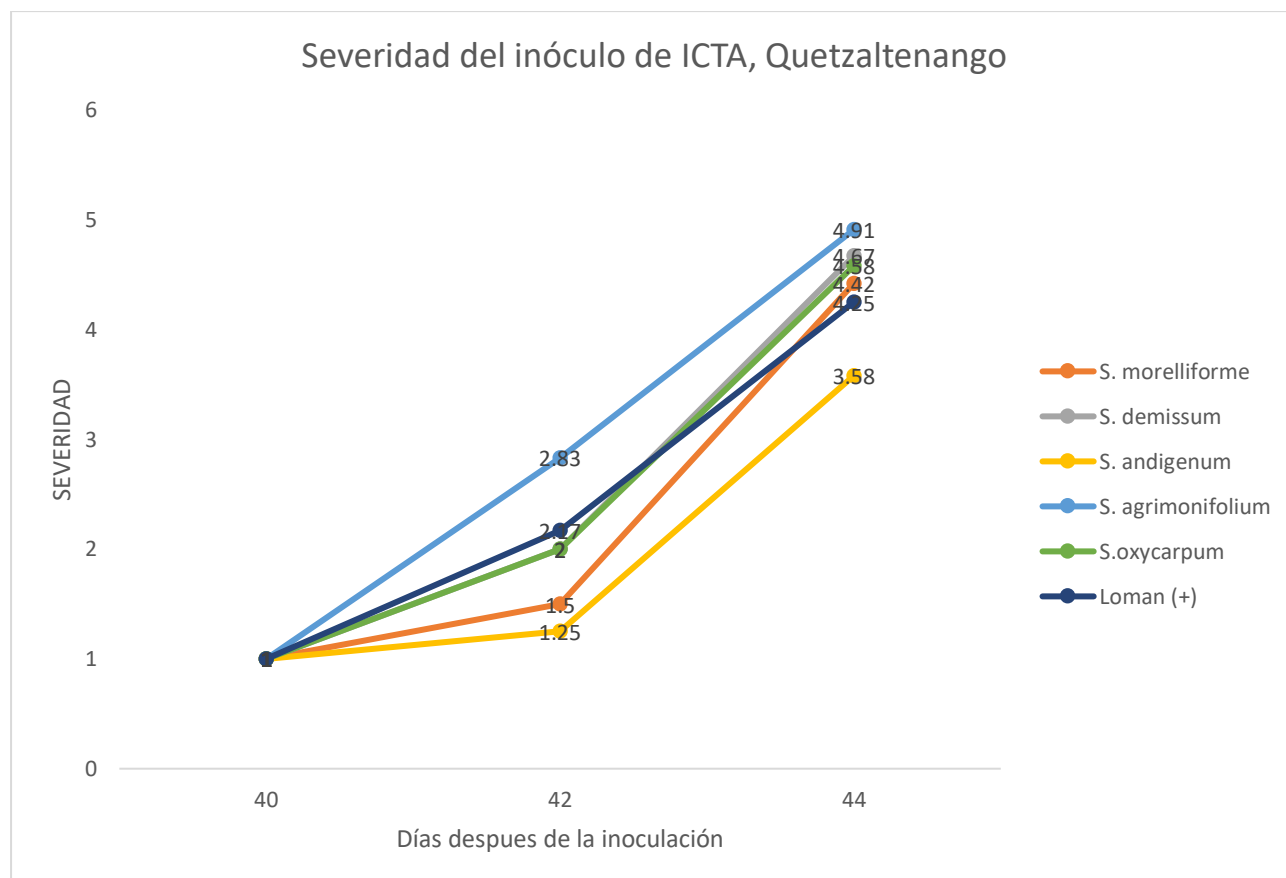
*Nota:* Los valores presentados de la severidad muestran los tratamientos evaluados en base a datos recolectados en ICTA Quetzaltenango, 2023

Los valores presentados muestran el valor de desviación estándar, tomando de referencia al testigo loman, se observa que las especies que están por debajo de este son *S. tuberosum* sp *andigenum* considerada como especie resistente, las especies *S. morelliforme* y *S. oxycarpum* son especies que presentan moderada resistencia. La especie *S. tuberosum* var. *Loman*, *S. demissum* y *S. agrimonifolium* son especies con alto grado de susceptibilidad.

El comportamiento del progreso del inóculo después de la inoculación se presenta variable, sin embargo, presenta un comportamiento exponencial que permite conocer la forma de propagación del inóculo.

**Figura 12**

Progreso de la severidad del inóculo de ICTA, Quetzaltenango.



*Nota:* Los valores presentados de la severidad muestran los tratamientos evaluados en base a datos recolectados en ICTA Quetzaltenango, 2023

Al transcurso de los días después de la inoculación la tendencia del daño en las hojas estuvo en aumento para cada especie, por lo tanto, el patógeno logró hospedarse en las hojas. La especie que menor daño presenta es *Solanum tuberosum* spp andigenum, seguidamente se presenta la especie *Solanum morelliforme*, donde puede existir algún tipo de tolerancia ante el inóculo proveniente de Quetzaltenango.

**Figura 13**

Comparación de severidad en especies silvestres de papa ante inóculo de Quetzaltenango. a) *Solanum tuberosum* spp *andigenum* b) *S. agrimonifolium* c) *Solanum demissum* d) *S.morelliforme* e) *S. oxycarpum* f) *S. tubersum* var. Loman.





## 9.6 Discusión

Los factores que hacen de una especie silvestre idónea para uso en el mejoramiento genético deben evaluarse para el éxito del mismo, dentro de los factores para hacer un buen uso de las especies se encuentra la factibilidad económica, factibilidad de cruza con variedades de papa comunes, la heredabilidad de la resistencia que poseen, y el grado de asociación que exista entre las características que se desean y las que no son deseables las cuales se pueden encontrar en el proceso de mejoramiento.

El género *Solanum* tienen una diversidad genética de especies para el mejoramiento de papas cultivadas o bien para conferir tanta resistencia específica o no específica (Song et al. 2003), sin embargo, es esencial conocer el comportamiento de la especie para hacer uso de la progenie. Durante las evaluaciones realizadas las especies silvestres de papa presentaron un comportamiento diferente según la procedencia del inóculo.

La variación observada en la resistencia de las especies pudo estar determinada por la variabilidad genotípica de los patógenos, según la evaluación del progreso del Hongo, Wastie (1991), mencionaba que *Phytophthora* crea un importante problema sanitario para las plantas debido a las migraciones de cepas virulentas y resistentes a los fungicidas en las últimas dos décadas. Esto en su consecuencia ha causado el resurgimiento de la enfermedad tizón tardío de la papa trayendo como consecuencia un grado diferente de virulencia.

Los ecotipos silvestres de papa en la investigación realizada, presentaron alta severidad ante los dos inóculos evaluados, esto nos puede conducir a apreciar la alta variabilidad presente en Guatemala. En estudios realizados por Silvia, Jaramillo y Marín (2009) en estudios de variabilidad genética de *Phytophthora infestans*, afirmaron el alto grado de variabilidad presente en el territorio guatemalteco.

Los valores de incidencia en el inóculo de San Marcos el ecotipo *Solanum tuberosum* spp *andigenum*, resultó ser el más bajo con media de 58.75 según la prueba de Tukey, no obstante el valor de la severidad de los ecotipos silvestres resultó ser alto incluyendo a *S. t. spp andigenum* con 8.01 respectivamente.

En las evaluaciones realizadas con el inóculo de Quetzaltenango la incidencia presentó valores diferentes para cada ecotipo, el valor más bajo y con una media de 25 fue en la especie *S. t. andigenum*, no obstante, los valores de severidad resultaron ser altos en todos los ecotipos silvestres, mostrando que no existe alguna resistencia ante el patógeno.

Al determinar los valores de la incidencia nos da una referencia que si existieron ecotipos que presentaron menor cantidad de plantas enfermas ante el inóculo lo cual resulta ser útil para aumentar el grado de resistencia de los ecotipos.

Los valores de severidad en este estudio se consideraron como prioritarios para determinar el grado de resistencia, los ecotipos presentaron un grado alto de susceptibilidad por lo que se determinó que los patógenos presentan un alto grado de agresividad, pudiendo estar determinado por el tipo de apareamiento o reproducción.

Existen indicios de que la diversidad genética trajo consigo cambios en las poblaciones de *P. infestans* alrededor del mundo, los cuales conllevan a un incremento de la severidad de los brotes de tizón tardío en el cultivo de papa a causa del apareamiento de cepas mas virulentas y resistentes a fungicidas (Chowdappa et al., 2013; Cooke et al., 2012).

El germoplasma utilizado durante el ensayo se obtuvo del banco de germoplasma *in vitro* conservado en el laboratorio de biotecnología ICTA- labor Ovalle, el cual no había sido utilizado ni sacado del laboratorio. Los materiales genéticos se utilizaron bajo pruebas de ensayos *in vitro*, lo cual según Pérez et al. (2000) mencionan que ofrecen una visión general de los niveles de resistencia en los germoplasmas y son necesarias posteriores evaluaciones en campo. Por lo cual, la finalidad en los ensayos fue también realizar en campo para conocer el desarrollo del inóculo.

Los ensayos de campo condujeron a una observación más detenida en cada especie, los valores del área bajo la curva del progreso de la enfermedad proporcionaron una estimación del grado de resistencia que presentaron ante *Phytophthora infestans* Mont de Bary, lo cual condujo a resultados similares para ambos tipos de ensayos desarrollados.

La investigación permitió desarrollar dos tipos de ensayos *in vitro* y campo, con dos variantes siendo susceptibilidad y severidad para encontrar algún grado de resistencia en las especies en comparación de la especie comercial Loman.

En Guatemala la diversidad genética en *P. infestans* según estudios realizados por Ruiz et. al (2018), mencionan que en el país existe una alta variación de los patógenos conduciendo a diferentes niveles de agresividad debido al apareamiento A1 y A2 que hacen una complejidad por la presencia de los dos tipos de apareamiento, lo cual se traduce en una reproducción sexual del patógeno incrementando de esta manera su variabilidad genética.



Se sugiere que la presencia de los tipos de apareamiento de *P. infestans* en Guatemala puede ser debido a la cercanía geográfica con México, en donde existen diversos estudios que concluyen que la diversidad se crea a partir de los dos tipos de apareamiento (Goss et al., 2014), situación que potencia el incremento de la variabilidad genética de las poblaciones del patógeno.

## 10 Conclusiones.

- Los ecotipos silvestres de papa se evaluaron los valores de incidencia usando el análisis de varianza y la severidad usando área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) con escalas utilizadas por el Centro Internacional de la Papa (CIP), en el ensayo realizado con un inóculo proveniente de aldea Santa Rita, San Antonio Sacatepéquez, San Marcos las especies presentaron valores altos en la incidencia al tizón tardío. La evaluación con el mismo inóculo en niveles de severidad estuvo determinada por los siguientes valores *S. morelliforme* 7.58 *S. tuberosum* spp andigenum 8.01, *S. oxycarpum* 8.24, *S. demissum* 8.95 y *S. agrimonifolium* respectivamente.
- Los ensayos realizados con el inóculo proveniente del ICTA, Olintenpeque, Quetzaltenango en los niveles de incidencia bajo el ABCPE los ecotipos la especie *S. t. spp andigenum* presentó diferencia significativa en la evaluación, sin embargo los datos obtenidos de la severidad fueron *S. tuberosum* spp andigenum 7.08 y *S. morelliforme* 8.42, los valores más altos fueron *S. oxycarpum* 9.58, Loman 9.59, *S. demissum* 9.67 y *S. agrimonifolium* 11.57, valores considerados moderadamente altos, por los que no existió diferencia entre cada ecotipo.
- Los ecotipos evaluados no presentaron resistencia ante el patógeno *P. infestans*, en la evaluación se tomó la severidad con valores de 1 a 5 como resistentes y de 6 a 9 como susceptibles logrando determinar la resistencia, según los datos obtenidos en la escala de susceptibilidad por lo tanto, no se encontró ningún ecotipo que tuviera valores del ABCPE.
- El bajo grado de resistencia en los ecotipos silvestres pudo estar determinado por la complejidad y genética del patógeno, en Guatemala no existen estudios complementarios de ecotipos silvestres y el grado de resistencia, pero la variabilidad genética de los ecotipos influye, debido a que el comportamiento de los inóculos fue diferente para cada localidad.

## 11 Recomendaciones.

- Ampliar el mapa de inóculos para evaluar el comportamiento de los departamentos del occidente donde se siembra papa, permitiendo conocer los ecotipos que mejor características presenten ante *P. infestans* Mont. De Bary.
- Realizar estudios complementarios para conocer de la variabilidad del patógeno y la incidencia en los ecotipos silvestres de papa con más localidades dedicadas a la siembra de papa en departamentos de Quetzaltenango y San Marcos.

## 12 Bibliografía.

1. Abad, Z.G.; Abad, JA. (1997). Another look at the origin of late blight of potatoes, tomatoes, and pear melon in the andes of South America. Plant Disease Disponible en <https://doi.org/10.1094/PDIS.1997.81.6.682>
2. Adler, N.E.; Erselius, L.J.; Chacón, M.G.; Flier, W.G.; Ordoñez, M.E.; Kroon, L.P.; Forbes, G.A. (2004). Genetic diversity of *Phytophthora infestans* sensu lato in Ecuador provides new insight into the origin of this important plant pathogen. Phytopathology. Disponible en <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2004.94.2.154>.
3. Adler, N.E.; Erselius, L.J.; Chacón, M.G.; Flier, W.G.; Ordoñez, M.E.; Kroon, L.P.; Forbes, G. A. (2004). Genetic diversity of *Phytophthora infestans* sensu lato in Ecuador provides new insight into the origin of this important plant pathogen. Phytopathology. Disponible en <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2004.94.2.154>.
4. Agrios, G.N. (2005). Plant pathology. 5th ed. Amsterdam ; Boston, Elsevier Academic Press.
5. Ames, M.; Spooner, D.M. (2008). DNA from herbarium specimens settles a controversy about origins of the European potato. American Journal of Botany. Disponible en: <https://doi.org/10.3732/ajb.95.2.252>.
6. Arora, R.; Sharma, S.; Singh, B.P. (2014). Late blight disease of potato and its management. s.l., s.e., vol.41. 16 p
7. Bachmann-Pfabe, S., Hammann, T., Kruse, J., & Dehmer, K. J. (2019). Screening of wild potato genetic resources for combined resistance to late blight on tubers and pale potato cyst nematodes. Euphytica. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s10681-019-2364-y>
8. Barquero, M.; Gómez, L.; Brenes, A. (2006). Resistencia al Tizón Tardío (*Phytophthora infestans*) en clones promisorios de papa en Costa Rica.
9. Black, W.; Gallegly, M.E. 1957. Screening of Solanum species for resistance to physiologic races of *Phytophthora infestans*. American Potato Journal 34(10):273- 281. Disponible en <https://doi.org/10.1007/BF02854886>.
10. Cámara del Agro (2015). El Agro es vital para la economía del país: Elementos de propuesta de Política Agrícola para Guatemala.
11. Cifuentes, O; García, A; Ramírez, E; López, J. (2019) Rendimiento de cultivares de papa (*Solanum tuberosum* L) de forma oblonga y con tolerancia a *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary en Guatemala.
12. Chowdappa, P., Kumar, N., Madhura, S., Kumar, M., Myers, K., Fry, W., & Cooke, D. (2013). Emergence of 13\_A2 blue lineage of *Phytophthora infestans* was responsible for severe outbreaks of late blight on tomato in South West India. Journal of Phytopathology, 161(1), 49-58. doi:10.1111/jph.12031
13. Collinge, D.B.; Slusarenko, A.J. (1987). Plant gene expression in response to pathogens. Plant Molecular Biology.
14. Cooke, L.R.; Schepers, H.T.A.M.; Hermansen, A.; Bain, R.A.; Bradshaw, N.J.; Ritchie, F.; Shaw, D.S.; Evenhuis, A.; Kessel, G.J.T.; Wander, J.G.N.; Andersson, B.; Hansen, J.G.; Hannukkala, A.; Nærstad, R.; Nielsen, B.J. (2011). Epidemiology and integrated control of potato late blight in Europe. Potato Research. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s11540-011-9187-0>.
15. Cooker, W.J; American Phytopathological Society; Potato Association of America. eds. (1981). Compendium of potato diseases. St. Paul, Minn.
16. Cooke, D. E. L., Cano, M., Raffaele, S., Bain, R., Cooke, L., Etherington, G., ... Kamoun, S. (2012). Genome analyses of an aggressive and invasive lineage of the Irish potato famine pathogen. Plos Pathogens.
17. De Wit, P.J.G.M. (1997). Pathogen avirulence and plant resistance: a key role for recognition. Trends in Plant Science 2(12):452-458. Disponible en [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(97\)01139-4](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(97)01139-4).

18. Dutt, B. (1979). Bacterial and fungal diseases of potato (en línea). New Delhi, India, Indian Council of Agricultura Research, (N° 19801369807). 199 p. Disponible en <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19801369807>
19. Dutt, B. (1979). Bacterial and fungal diseases of potato (en línea). New Delhi, India, Indian Council of Agricultura Research, (N° 19801369807). 199 p. Disponible en <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/1980136980>
20. Erwin, D.C; Ribeiro, O.K. (1996). *Phytophthora* diseases worldwide. St. Paul, Minn, APS Press. 562 p.
21. Eugenia, M.; Analia, R.; Sammán, N. (2007) Revalorización del cultivo de papas andinas (*Solanum tuberosum* ssp andigenum). Instituto Superior de Investigaciones Biológicas (INSIBIO) . Tucumán, Argentina
22. Flier, W.G.; Grünwald, N.J.; Kroon, L.P.N.M.; Sturbaum, A.K; van den Bosch, T.B.M.; Garay-Serrano, E.; Lozoya-Saldaña, H.; Fry, W.E.; Turkensteen, L.J. (2003). The Population Structure of from the Toluca Valley of Central Mexico Suggests Genetic Differentiation Between Populations from Cultivated Potato and Wild spp. *Phytopathology* 93:382-390. Disponible en <https://doi.org/10.1094/phyto.2003.93.4.382>
23. Fonseca, C., Burgos, G., Rodriguez, F., Muñoa, L., & Ordinola, M. (2014a). Catálogo de variedades de papa nativa con potencial para la seguridad alimentaria y nutricional de Apurímac y Huancavelica. Centro Internacional de la Papa. Disponible en: <http://cipotato.org/wpcontent/uploads/2014/12/006206.pdf>
24. Forbes, G. A., & Huarte, M. (2016). La resistencia al tizón tardío como herramienta de control en los países en desarrollo. *Revista Latinoamericana de la Papa*. Disponible en <https://doi.org/10.37066/ralap.v18i2.218>
25. Fry, W. (1993). Historical and recent migrations of *Phytophthora infestans*: Chronology, pathways, and implications. *Plant Disease*. Disponible en <https://doi.org/10.1094/PD-77-0653>.
26. Fry, W. & Goodwin, S. B. (1997). Resurgence of the Irish potato famine fungus. *Bioscience*, 47 (6), 363-371. <https://doi.org/10.2307/1313151>
27. Gastelo, M; Arcos, J; Landeo, J; Bonierbale, M (2010). Nuevas variedades de papa *Solanum tuberosum* spp Andígena (B1C5), obtenidas a través de la selección varietal participativa por los agricultores de las comunidades del Altiplano, Puno – Perú
28. Goss, E. M., Tabima, J. F., Cooke, D. E. El, Restrepo, S., Fry, W. E., Forbes, G. A., ... Gründwald, N. J. (2014). The Irish potato famine pathogen *Phytophthora infestans* originated in Central Mexico rather than the Andes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(24), 8791- 8796. doi:10.1073/pnas.1401884111
29. Grünwald, N.J.; Flier, W.G. (2005). The biology of *Phytophthora infestans* at its center of origin. *Annual Review of Phytopathology*. Disponible en <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.43.040204.135906>
30. Hammer, K.; Arrowsmith, N.; Gladis, T. (2003). Agrobiodiversity with emphasis on plant genetic resources. *Naturwissenschaften*. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00114-003-0433-4>.
31. Hammond-Kosack, K.E; Jones, J.D.G. (1997). Plant disease resistance genes. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 48(1):575-607. Disponible en: <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.48.1.575>
32. Hanneman, RE; Bamberg, JB; University of Wisconsin--Madison. 1986. Inventory of tuber-bearing *Solanum* species (en línea). Madison, University of Wisconsin, (Bulletin. Agricultural Experiment Station, University of Wisconsin.533, no. 216 p.). 216 p. p. Disponible en: <https://catalog.hathitrust.org/Record/005894797>
33. Harlan, J.R; de Wet, J.M.J. (1971). Toward a rational classification of cultivated plants. *Taxon* 20. <https://doi.org/10.2307/1218252rUIZ>
34. Hawkes, J.G. (1990). *The potato: evolution, biodiversity and genetic resources*. London, Belhaven. 259 p.
35. Hijmans, R.J; Spooner, D.M. (2001). Geographic distribution of wild potato species. *American Journal of Botany*. Disponible en: <https://doi.org/10.2307/3558435>

36. Hijmans, R.J. ed. (2002). Atlas of wild potatoes. Rome, IPGRI, (Systematic and ecogeographic studies on crop gene pools, no. 10). 130 p
37. ICTA-PRECODEPA (Instituto de Ciencias y Tecnología Agrícola y Programa Regional Cooperativo de Papa GT). 2000. El cultivo de la papa en cifras. Guatemala. 79 p.
38. INE, (2003). Número de Fincas Censales, Superficie Cosechada, Producción obtenida de cultivos anuales o temporales y viveros. IV Censo Nacional Agropecuario. Instituto Nacional de Estadística. Disponible en:  
<https://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2014/01/16/gDIQ8yuwJXGHFb2yHVk4oMIOhYLBCTp5.pdf>
39. Ingram, D. S.; Williams, P.H. (1991). *Phytophthora infestans*: the cause of late blight of potato. Academic Press, London). 273 p
40. Karki, H. S., Jansky, S. H., & Halterman, D. A. (2021). Screening of wild potatoes identifies new sources of late blight resistance. Plant Disease. Disponible en <https://doi.org/10.1094/PDIS-06-20-1367-RE>
41. Kombrink, E.; Somssich, I.E. (1995). Defense responses of plants to pathogens. s.l., Elsevier, vol.21. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0065-2296\(08\)60007-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2296(08)60007-5).
42. Lambers, H.; Chapin, F.S.; Pons, T.L. (1998). Plant physiological ecology. New York, Springer. 540 p.
43. Large, E.C. (1940). The advance of the fungi. New York, Dover.
44. MAGA (2016). El Agro en Cifras. Dirección de Planeamiento. Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación. Disponible en: <https://www.maga.gob.gt/download/EI%20agro16.pdf>
45. Mulder, A.; Turkensteen, L.J.; Delleman, J. eds. (2005). Potato diseases: diseases, pests and defects. Den Haag, NIVAP.
46. Orbegozo, J., Román, M. L., Rivera, C., Tovar, J. C., Pérez, W., & Gamboa, S. (2013). Agrotransformación y evaluación de la resistencia a *Phytophthora infestans* en *Solanum tuberosum* L. variedad Désirée.
47. Pérez, W., Salas, A., Raymundo, R., Huaman, Z., Nelson, R. & Bonierbale, M. (2000). Evaluation of wild potato species for resistance to late blight. Scientist and Farmer, Partners in Research for the 21st Century, Program Report 1999–2000,
48. Pieterse, C.M.; van Wees, S.C.; van Pelt, J.A.; Knoester, M.; Laan, R.; Gerrits, H.; Weisbeek, P.J.; van Loon, L.C. (1998). A novel signaling pathway controlling induced systemic resistance in *Arabidopsis*. The Plant Cell.
49. Quinatoa, E. 2010. Manejo del tizón tardío (*Phytophthora infestans*) con productos a base de fosfitos en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) pág. 22-26
50. Romero Montes, G., Lozoya Saldaña, H., Mora Aguilera, G., Fernández Pavia, S., & Grünwald, Niklaus J. (2012). Rendimiento de papa en función de epidemia por tizón tardío (*Phytophthora infestans* Mont. de Bary). Revista fitotecnia mexicana. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-3802012000100010&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-3802012000100010&lng=es&tlng=es)
51. Ruiz de Galarreta, J., Carrasco A., Salazar A., Barrena I., Iturrutxa, R., Marquinez F., Legorburu J., Ritter E. (1998) Wild *Solanum* species as resistance sources against different pathogens of potato. Spain Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02360262>
52. Sanabrina, K. M. (2019) Inductores de resistencia para el manejo integrado de *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary en cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) Lima.
53. Sánchez, G. A. (2012) Mejoramiento de la papa (*Solanum tuberosum*) para resistencia al tizón tardío (*Phytophthora infestans*) en Guatemala. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
54. Silva, B., Jaramillo, S., & Marín, M. (2009). Caracterización genética de aislamientos de *Phytophthora infestans* en las zonas productoras de papa de los departamentos de Antioquia, Boyacá, Cundinamarca y Norte de Santander (Colombia). Actualidades Biológicas, 31(90), 5-20.
55. Spooner, D. M., Van Den Berg, R. G., Rodriguez, A., Bamberg, J., Hijmans, R. J., Lara Cabrera, S. I. (2004). Wild potatoes (*Solanum* Section *Petota*; *Solanaceae*) of North and Central America. Syst. Bot. Monogr.
56. Spooner; D.M; Hetterscheid, W.L.A. (2007). Origins, Evolution, and Group Classification of Cultivated Potatoes. s.l. Disponible en <https://doi.org/10.13140/2.1.4715.3601>.

57. Torres, H. (2002). Manual de las enfermedades más importantes de la papa en el Perú. Lima, Perú, Centro Internacional de la Papa.
58. Van der Plank, J.E. (1963). Plant diseases: epidemics and control. Disponible en <http://public.ebib.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=1837420>.
59. Zúñiga, L.; Molina, J; Cadena, M.; Rivera, A. (2000). Resistencia al Tizón tardío de la papa (*Phytophthora infestans*) en cruzamientos de cultivares y clones de papa (*Solanum tuberosum* L).
60. Wastie, R. L. (1991) In *Phytophthora infestans: The Cause of Late Blight of Potato*, Advances in Plant Pathology, eds. Ingram, D. S. & Williams, P. H. (Academic, London),



### 13 Anexos.

Anexo 1 Área cosechada y rendimiento de papa periodo 2011-2016.

Año calendario	Área cosechada (manzanas)	Producción (quintales)	Rendimiento (qq/mz)
2011	27,500	10,829,200	393.79
2012	29,000	11,147,000	384.38
2013	29,700	11,324,700	381.30
2014	30,000	11,535,700	384.52
2015	30,300	11,790,000	389.11
2016	30,000	11,872,600	398.75

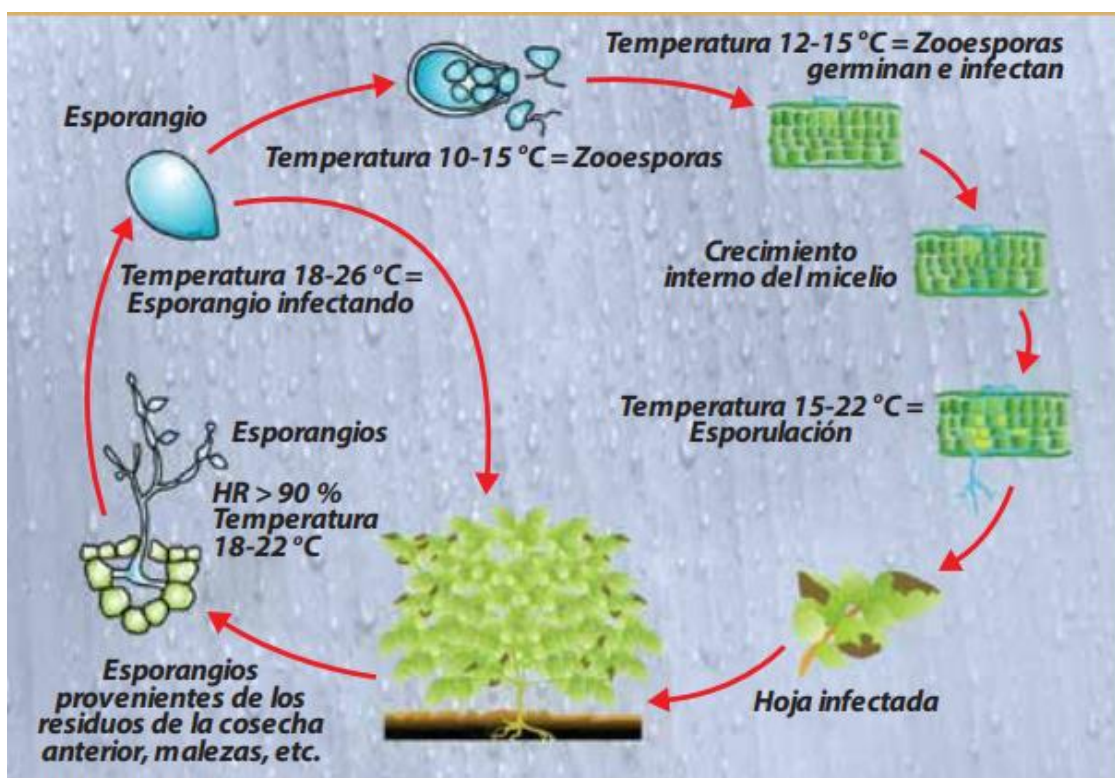
Fuente: DIPLAN-MAGA con datos de BANGUAT 2016.

Anexo 2 Unidades productivas cultivadas de papa por departamento.

Departamento	Unidades productivas	Superficie cultivada (Ha)	Producción obtenida	Promedio (%)
Huehuetenango	7,904	1,962	32,996	32
Quetzaltenango	5,092	1,463	23,678	23
San Marcos	9,974	1,621	21,825	21
Guatemala	330	375	5,483	5
Sololá	968	255	3,833	4
Otros	2,716	1,071	14,4555	15
<b>Total</b>	<b>26,984</b>	<b>6,747</b>	<b>102,269</b>	<b>100</b>

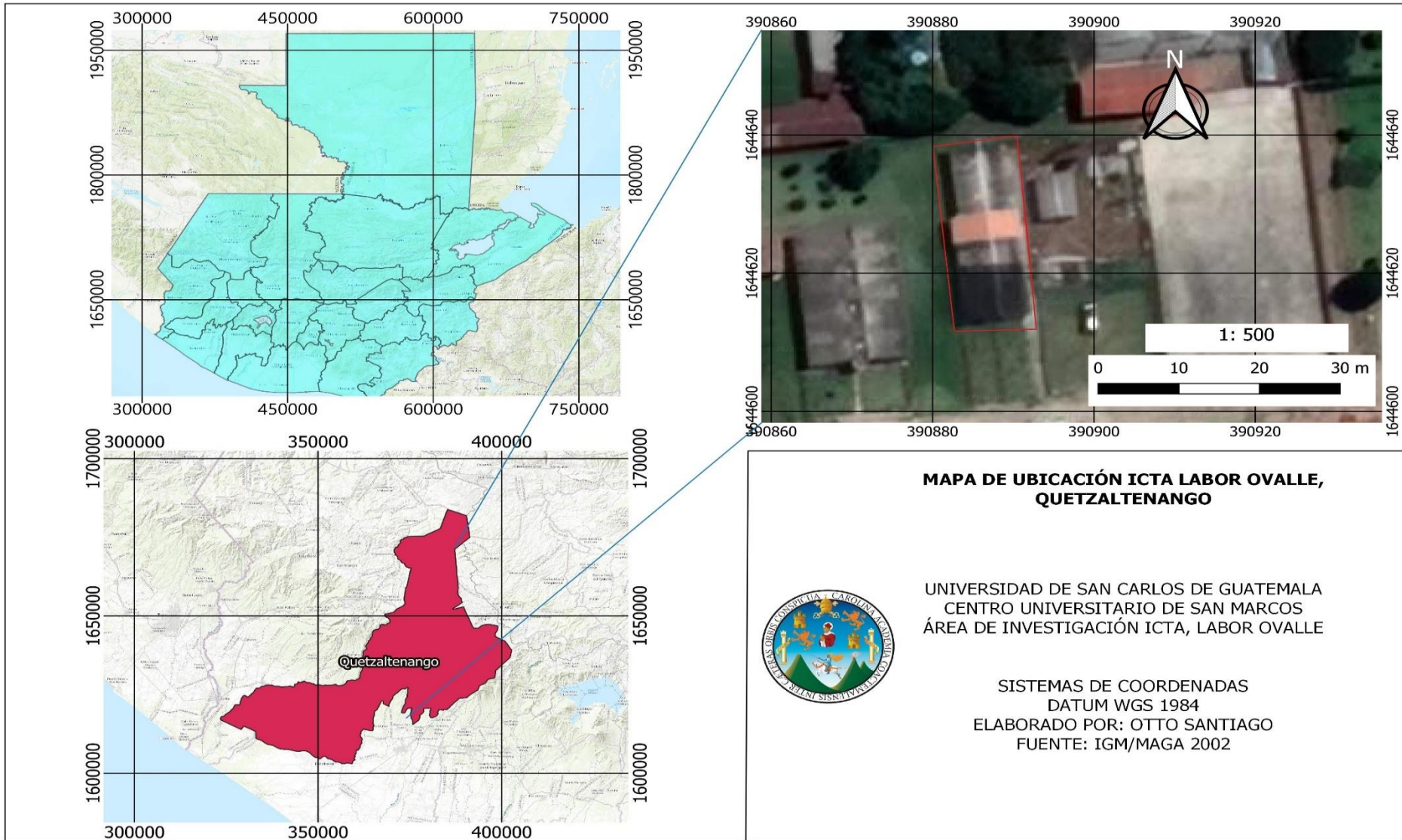
Fuente: IV censo agropecuario, INE 2003.

Anexo 3 Ciclo de vida de *Phytophthora infestans* Mont. de Bary.

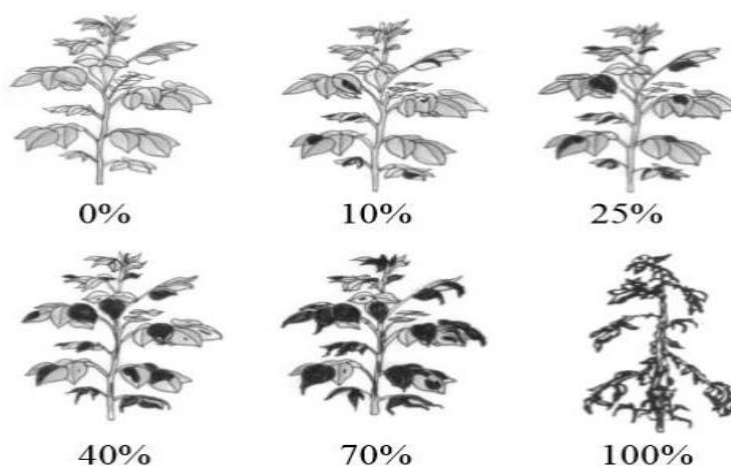




Anexo 4 Mapa de ubicación de investigación, ICTA, Labor Ovalle.



Anexo 5 Escala modificada para evaluar incidencia en papa, propuesta modificada por Clive (1970), expresada en porcentaje.



Anexo 6 Clave de campo para evaluar severidad en tizón tardío de la papa.

Escala CIP	Tizón %		Síntomas
	Media	Limites	
1	0		No se observan síntomas
2	2.5	Trazas<5	Tizón tardío presente, máximo 10 lesiones por planta.
3	10	5-<15	Las plantas parecen sanas, pero las lesiones son fácilmente vistas al observar de cerca. Máxima área foliar afectada por lesiones o destruida corresponde a no más de 20 folíolos.
4	25	15-<35	Tizón tardío fácilmente visto en la mayoría de las plantas. Alrededor del 25% del follaje está cubierto por lesiones o destruido.
5	50	35-<65	La parcela luce verde, pero todas las plantas están afectadas, las hojas inferiores muertas. Alrededor del 50% del área foliar está destruida.
6	75	65-<85	La parcela luce verde con manchas pardas. Alrededor del 75% de cada planta está afectada, las hojas de la mitad inferior de las plantas están destruidas.
7	90	85-<95	La parcela no está predominantemente verde ni parda. Solo las hojas superiores están verdes. Muchos tallos tienen lesiones extensas.
8	97.5	95-<100	La parcela se ve parda, unas cuantas hojas superiores aun presentan algunas áreas verdes, La mayoría de los tallos están lesionados o muertos.
9	100		Todas las hojas y tallos están muertos.



Anexo 7 Ecotipos silvestres in vitro.



Anexo 8 Trasplante de especies silvestres a bandejas de crecimiento.





Anexo 9 Macetas de crecimiento para especies silvestres de papa.



Anexo 10 Trasplante de ecotipos silvestres a macetas de crecimiento.



## Anexo 11 Identificación de la investigación con ecotipos silvestres.



## Anexo 12 Monitoreo de crecimiento de ecotipos silvestres.





Anexo 13 Cámara de inoculación a) Vista de frente b) Vista lateral



Anexo 14 Colocación de humidificador y divisiones.



Anexo 15 Colocación de plantas a) Inoculación de las plantas con patógeno. b) colocación de las plantas en la cámara de inoculación.

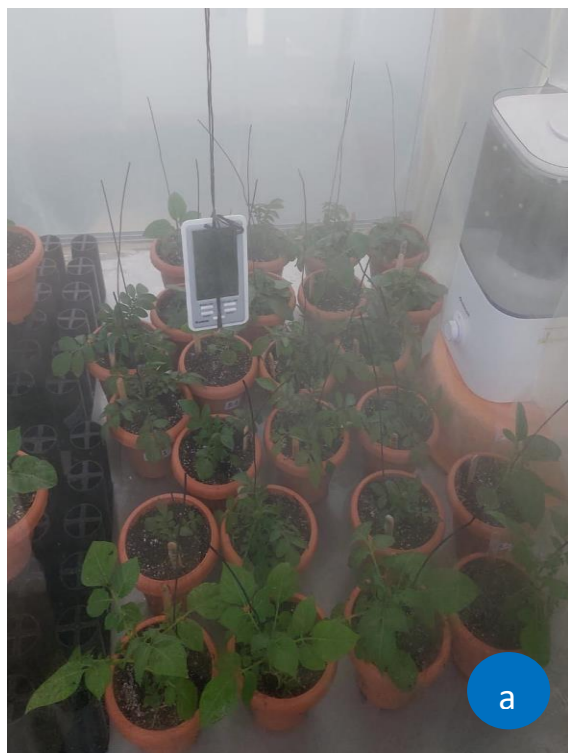


Anexo 16 Colocación del termohigrómetro en la cámara de inoculación.





Anexo 17 Prueba de cámara húmeda a) función del humidificador y termohigrómetro b) colocación de nylon negro para cámara oscura.



Anexo 18 Propagación del inóculo en rodajas de papa Loman.





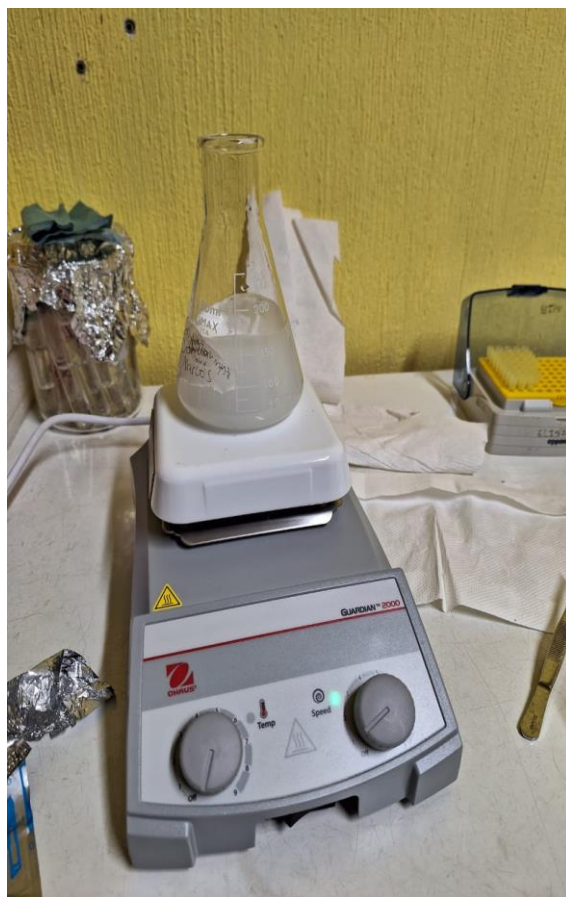
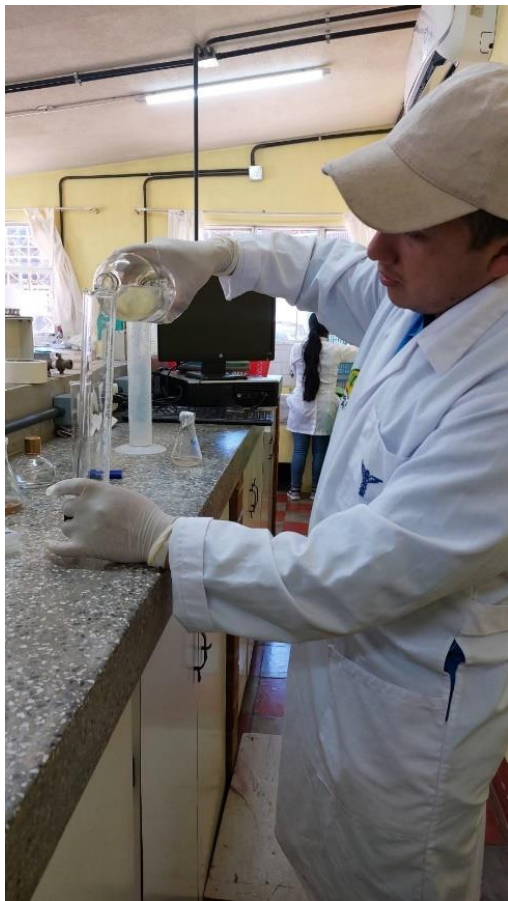
Anexo 19 Raspado de en rodajas de papa infectadas con *P. infestans*. Mont de Bary.



Anexo 20 Conteo de inóculos con cámara de Neubauer .



Anexo 21 Manipulación de inóculos. A) preparación de esporas b) agitador de esporas.



Anexo 22 Observación del progreso de la enfermedad en campo.



Anexo 23 Inoculación en hojas de tratamientos.





Anexo 24 Cámara para crecimiento de esporas en hojas de especies de papa.



## Anexo 25 Datos en ensayo de campo del inóculo de Quetzaltenango.

Fecha:06/03/2023

Cepa: **QUETZALTENANGO**

Lectura 1

Cepa:	Repetición	No. De foliolos	% Diagrama	Esporulación	Observaciones
P1	1	33	0		Hojas bajas con clorosis
	2	33	0		Hojas bajas con clorosis
	3	24	0		Hojas bajas con clorosis
	4	32	0		Hojas bajas con clorosis
	Promedio		0		
P2	1	68	10		
	2	75	25		Hojas bajas con clorosis
	3	39	0		
	4	81	10		
	Promedio		11.25		
P3	1	34	10		
	2	51	10	1 Hoja	
	3	31	10		
	4	51	10		
	Promedio		10		
P4	1	99	10		3 hojas enfermas
	2	63	0		
	3	53	0		
	4	20	0		
	Promedio		2.5		
P5	1	106	10		
	2	36	10		
	3	67	10		Indicios de esporulación
	4	66	10		Indicios de esporulación
	Promedio		10		
P6	1	10	10		
	2	22	10		
	3	29	10		
	4	19	0		
	Promedio		7.5		
7 Testigos abosolutos	1	12	10		
	2	15	10		
	Promedio		10		

Fecha: 08/03/2023					
Quetzaltenango					
Cod. Cultivar	Repetición	No. De foliolos	% Diagrama	Esporulación	Observaciones
P1	1	33	10	2	
	2	33	10	3	
	3	24	10	3	
	4	32	0	0	
	Promedio		7.5		
P2	1	68	10	0	
	2	75	25	0	Hojas bajas amarillas
	3	39	10	1	Hojas bajas amarillas/ poca necrosis
	4	81	25	2	
	Promedio		17.5		
P3	1	34	10	8	
	2	51	10	6	
	3	31	10	10	
	4	51	10	8	
	Promedio		10		
P4	1	99	10	2	
	2	63	10	10	
	3	53	10	7	
	4	20	10	0	
	Promedio		10		
P5	1	106	10	5	
	2	36	10	0	
	3	67	10	0	
	4	66	25	10	
	Promedio		13.75		
P6	1	10	10	1	
	2	22	10	1	
	3	29	10	1	
	4	19	10	0	
	Promedio		10		
7 Testigos absolutos	1	12	10	0	
	2	15	10	0	
	Promedio		10		

Fecha: 10/03/2023

## Quetzaltenango Lectura 3.

Cod. Cultivar	Repetición	No. De foliolos	% Diagrama	Esporulación	Observaciones
P1	1	33	25	10	
	2	33	10	15	
	3	24	25	7	
	4	32	10	9	
		PROMEDIO		10.25	
P2	1	68	40	20	clorosis en las hojas bajas
	2	75	40	13	clorosis en las hojas bajas
	3	39	40	11	
	4	81	25	14	
		PROMEDIO		14.5	
P3	1	34	25	23	
	2	51	25	15	
	3	31	25	20	
	4	51	25	14	
		PROMEDIO		18	
P4	1	99	10	3	
	2	63	40	17	
	3	53	25	14	
	4	20	70	6	
		PROMEDIO		10	
P5	1	106	40	26	clorosis en las hojas bajas
	2	36	25	12	clorosis en las hojas bajas
	3	67	40	20	clorosis en las hojas bajas
	4	66	40	20	clorosis en las hojas bajas
		PROMEDIO		19.5	
P6	1	10	10	2	
	2	22	10	2	
	3	29	40	4	
	4	19	10	5	
		PROMEDIO		3.25	
7 Testigos absolutos	1	12	0	10	
	2	15	0	10	
		PROMEDIO		10	

Fecha: 12/03/2023

## Quetzaltenango Lecutra 4

Cod. Cultivar	Repetición	No. De foliolos	% Diagrama	Esporulación	Observaciones
P1	1	33	25	10	
	2	33	10	20	
	3	24	25	8	
	4	32	10	10	
	PROMEDIO		17.5		
P2	1	68	70	25	
	2	75	70	28	
	3	39	70	15	
	4	81	40	21	
	PROMEDIO		62.5		
P3	1	34	70	23	
	2	51	70	20	
	3	31	40	23	
	4	51	40	18	
	PROMEDIO		55		
P4	1	99	25	4	
	2	63	40	20	
	3	53	40	18	
	4	20	40	15	
	PROMEDIO		36.25		
P5	1	106	40	33	
	2	36	40	17	
	3	67	40	24	
	4	66	40	25	
	PROMEDIO		40		
P6	1	10	40	2	
	2	22	40	3	
	3	29	70	7	
	4	19	40	6	
	PROMEDIO		47.5		
7 Testigos abosolutos	1	12	10	0	
	2	15	10	0	
	PROMEDIO		10		

Fecha: 14/03/2023

## Quetzaltenango Lectura 5

Cod. Cultivar	Repetición	No. De foliolos	% Diagrama	Esporulación	Observaciones
P1	1	33	25		
	2	33	10		
	3	24	10		
	4	32	25		
	PROMEDIO		17.5		
P2	1	68	70		
	2	75	70		
	3	39	70		
	4	81	70		
	PROMEDIO		70		
P3	1	34	70		
	2	51	70		
	3	31	70		
	4	51	70		
	PROMEDIO		70		
P4	1	99	25		
	2	63	70		
	3	53	70		
	4	20	70		
	PROMEDIO		58.75		
P5	1	106	70		
	2	36	70		
	3	67	70		
	4	66	70		
	PROMEDIO		70		
P6	1	10	70		
	2	22	70		
	3	29	100		
	4	19	70		
	PROMEDIO		77.5		
7 Testigos absolutos	1	12	10		
	2	15	10		
	PROMEDIO		10		



Fecha: 16/03/2023

## Quetzaltenango Lectura 6

Cod. Cultivar	Repetición	No. De foliolos	% Diagrama	Esporulación	Observaciones
P1	1	33	25		
	2	33	25		
	3	24	25		
	4	32	25		
	PROMEDIO		25		
P2	1	68	70		
	2	75	70		
	3	39	70		
	4	81	70		
	PROMEDIO		70		
P3	1	34	100		
	2	51	70		
	3	31	70		
	4	51	100		
	PROMEDIO		85		
P4	1	99	25		
	2	63	100		
	3	53	100		
	4	20	100		
	PROMEDIO		81.25		
P5	1	106	70		
	2	36	70		
	3	67	100		
	4	66	70		
	PROMEDIO		77.5		
P6	1	10	70		
	2	22	100		
	3	29	100		
	4	19	100		
	PROMEDIO		92.5		
7 Testigos absolutos	1	12	25		
	2	15	40		
	PROMEDIO		32.5		

Anexo 26 Datos en ensayo de campo del inóculo de San Marcos.

Fecha:06/03/2023

Cepa:

**SAN MARCOS**

**Lectura 1**

Cod.Cultivar	Repetición	No. De foliolos	% Diagrama	Esporulación	Observaciones
P1	1	36	10		
	2	36	10		
	3	38	10		
	4	34	10		Posible esporulación
	Promedio		10		
P2	1	34	0		
	2				
	3	28	0		
	4	94	40		Pendiente de esporulación
	Promedio		10		
P3	1	34	10		
	2	37	10		
	3	24	0		
	4	29	0		
	Promedio		5		
P4	1	59	10		
	2	35	0		
	3	74	0		
	4	57	10		
	Promedio		5		
P5	1	60	0		
	2	73	0		
	3	60	10		
	4	46	10		Hojas bajas amarillas
	Promedio		5		
P6	1	16	10		
	2	32	10		
	3	34	25		
	4	33	10		
	Promedio		13.75		
7 Testigos abosolutos	1	21	0		
	2	38	0		
	Promedio		0		

Fecha: 08/03/2023					
Cepa San Marcos			Lectura 2		
Cod.Cultivar	Repetición	No. De foliolos	% Diagrama	Esporulación	Observaciones
P1	1	36	10	6	
	2	36	10	2	
	3	38	25	11	
	4	34	25	8	
Promedio			17.5		
P2	1	34	10	6	
	2				
	3	28	0	0	
	4	94	40	1	
Promedio			16.666667		
P3	1	34	25	14	
	2	37	25	10	
	3	24	70	8	
	4	29	25	10	
Promedio			36.25		
P4	1	59	25	17	
	2	35	10	3	
	3	74	10	4	
	4	57	10	2	
Promedio			13.75		
P5	1	60	10	1	
	2	73	10	3	
	3	60	25	2	Hojas cloroticas
	4	46	25	2	
Promedio			17.5		
P6	1	16	10	0	
	2	32	40	5	
	3	34	10	1	
	4	33	25	7	
Promedio			21.25		
7	1	21	10	0	
	2	38	10	0	
Promedio			10		

Fecha: 10/03/2023

## Cepa San Marcos

## Lectura 3

Cod. Cultivar	Repetición	No. De foliolos	% Diagrama	Esporulación	Observaciones
1	1	36	40	18	
	2	36	10	2	
	3	38	25	18	
	4	34	40	21	
	PROMEDIO		28.75		
2	1	34	100	si	
	2				
	3	28	70	si	
	4	94	70	28	
	PROMEDIO		80		
3	1	34	70	16	
	2	37	40	14	
	3	24	100	toda	
	4	29	70	12	
	PROMEDIO		70		
4	1	59	40	27	
	2	35	70	13	
	3	74	25	17	
	4	57	25	10	
	PROMEDIO		40		
5	1	60	40	16	
	2	73	25	20	
	3	60	70	14	
	4	46	70	25	
	PROMEDIO		51.25		
6	1	16	40	2	
	2	32	70	7	
	3	34	70	2	
	4	33	40	7	
	PROMEDIO		55		
7	1	21	10	0	
	2	38	10	0	
	PROMEDIO		10		

Fecha: 12/03/2023

## Cepa San Marcos

## Lectura 4

Cod.Cultivar	Repetición	No. De foliolos	% Diagrama	Esporulación	Observaciones
1	1	36	40	20	
	2	36	10	4	
	3	38	40	19	
	4	34	40	21	
	PROMEDIO		32.5		
2	1	34	100		
	2				
	3	28	70	20	
	4	94	100	16	
	PROMEDIO		90		
3	1	34	70	20	
	2	37	70	16	
	3	24	100		
	4	29	100	15	
	PROMEDIO		85		
4	1	59	40	30	
	2	35	100	13	
	3	74	25	19	
	4	57	25	14	
	PROMEDIO		47.5		
5	1	60	70	18	
	2	73	40	22	
	3	60	70	23	
	4	46	100	25	
	PROMEDIO		70		
6	1	16	70	2	
	2	32	70	7	
	3	34	70	4	
	4	33	70	9	
	PROMEDIO		70		
7	1	21	10	0	
	2	38	10	0	
	PROMEDIO		10		

Fecha: 14/03/2023

## Cepa San Marcos

## Lectura 5

Cod.Cultivar	Repetición	No. De foliolos	% Diagrama	Esporulación	Observaciones
1	1	36	70		
	2	36	10		
	3	38	70		
	4	34	70		
	PROMEDIO		55		
2	1	34	100		
	2				
	3	28	70		
	4	94	100		
	PROMEDIO		90		
3	1	34	100		
	2	37	70		
	3	24	100		
	4	29	100		
	PROMEDIO		92.5		
4	1	59	100		
	2	35	100		
	3	74	70		
	4	57	70		
	PROMEDIO		85		
5	1	60	100		
	2	73	100		
	3	60	100		
	4	46	100		
	PROMEDIO		100		
6	1	16	90		
	2	32	100		
	3	34	100		
	4	33	90		
	PROMEDIO		95		
7	1	21	40		
	2	38	40		
	PROMEDIO		40		

Fecha: 16/03/2023

Cepa San Marcos

Lectura 6

Cod.Cultivar	Repetición	No. De foliolos	% Diagrama	Esporulación	Observaciones
1	1	36	70		
	2	36	25		
	3	38	70		
	4	34	70		
	PROMEDIO		58.75		
2	1	34	100		
	2				
	3	28	70		
	4	94	100		
	PROMEDIO		90		
3	1	34	100		
	2	37	70		
	3	24	100		
	4	29	100		
	PROMEDIO		92.5		
4	1	59	100		
	2	35	100		
	3	74	70		
	4	57	70		
	PROMEDIO		85		
5	1	60	100		
	2	73	100		
	3	60	100		
	4	46	100		
	PROMEDIO		100		
6	1	16	100		
	2	32	100		
	3	34	100		
	4	33	100		
	PROMEDIO		100		
7	1	21	40		
	2	38	40		
	PROMEDIO		40		

## Anexo 27 Datos de severidad en laboratorio Del inóculo de Quetzaltenango.

Fecha:

5/06/2023

Especie: MORELLIFORME		AREA NECROTICA			TAMAÑO DE HOJA		
Especie	Cod.Laboratorio	Largo (mm)	Ancho(mm)	Nivel	Grado de Esporulación	Largo (mm)	Ancho (mm)
M1	M1.1	0.1	0.2	1	0	22	14
M1	M1.2	1.75	0.4	1	0	30	20
M1	M1.3	1.55	0.5	1	0	22	14
M2	M2.1	0.75	0.75	1	0	17	14
M2	M2.2	0.98	0.1	1	0	35	21
M2	M2.3	1.4	0.2	1	0	24	14
M3	M3.1	1.3	0.38	1	0	36	12
M3	M3.2	2.1	0.45	1	0	43	20
M3	M3.3	2.47	0.7	1	0	37	16
M4	M4.1	1.63	0.75	1	0	22	11
M4	M4.2	2.05	0.81	1	0	31	15
M4	M4.3	1.1	0.65	1	0	24	11
<b>Promedio</b>				<b>1</b>	<b>0</b>		

Especie DEMISSUM		AREA NECROTICA			TAMAÑO DE HOJA		
Especie	Cod.Laboratorio	Largo (mm)	Ancho(mm)	Nivel	Grado de Esporulación	Largo (mm)	Ancho (mm)
D1	D1.1	1.95	1	1	0	28	14
D1	D1.2	4.98	0.7	1	0	48	32
D1	D1.3	2.45	0.8	1	0	24	22
D2	D2.1	2.47	0.65	1	0	21	12
D2	D2.2	6.45	0.75	1	0	51	31
D2	D2.3	3.2	3.2	1	0	15	9
D3	D3.1	2.5	0.81	1	0	22	10
D3	D3.2	4.2	0.3	1	0	48	34
D3	D3.3	1.95	0.14	1	0	24	11
D4	D1.1	2.85	0.65	1	0	22	11
D4	D1.2	3	0.48	1	0	48	31
D4	D1.3	2.2	0.35	1	0	24	11
<b>Promedio</b>				<b>1</b>	<b>0</b>		



Especie ANDIGENUM		AREA NECROTICA			Grado de Esporulación	TAMAÑO DE HOJA	
Especie	Cod.Laboratorio	Largo (mm)	Ancho(mm)	Nivel		Largo (mm)	Ancho (mm)
A1	A1.1	4.5	1.2	1	0	70	49
A1	A1.2	5.2	1.33	1	0	74	46
A1	A1.3	6.3	1.17	1	0	75	48
A2	A2.1	4	1.4	1	0	24	37
A2	A2.2	6.95	1.6	1	0	37	25
A2	A2.3	4.2	1.39	1	0	31	25
A3	A3.1	6.25	1.2	1	0	62	38
A3	A3.2	2.98	1.56	1	0	71	41
A3	A3.3.	5.41	1.3	1	0	65	38
A4	A4.1	7.46	1.58	1	0	65	34
A4	A4.2	7	1.4	1	0	69	40
A4	A4.3	6.4	1.5	1	0	58	35
Promedio				1	0		

Especie AGRIMONIFOLIUM		AREA NECROTICA			Grado de Esporulación	TAMAÑO DE HOJA	
Especie	Cod.Laboratorio	Largo (mm)	Ancho(mm)	Nivel		Largo (mm)	Ancho (mm)
G1	G1.1	1.3	0.4	1	0	24	13
G1	G1.2	3	0.54	1	0	37	18
G1	G1.3	0.98	0.47	1	0	23	13
G2	G2.1	1.45	0.88	1	0	23	14
G2	G2.2	1.42	0.75	1	0	33	19
G2	G2.3	1.37	0.95	1	0	29	14
G3	G3.1	2	0.67	1	0	31	12
G3	G3.2	2.45	0.57	1	0	39	17
G3	G3.3	1.75	0.67	1	0	32	11
G4	G4.1	1.56	0.25	1	0	28	13
G4	G4.2	2.2	0.38	1	0	29	15
G4	G.4.3	2.15	0.16	1	0	21	12
Promedio				1	0		

Especie		AREA NECROTICA			TAMAÑO DE HOJA		
Especie	Cod.Laboratorio	Largo (mm)	Ancho(mm)	Nivel	Grado de Esporulación	Largo (mm)	Ancho (mm)
O1	O1.1	2.5	0.5	1	0	31	12
O1	O1.2	1.9	0.9	1	0	36	14
O1	O1.3	1	0.42	1	0	33	15
O2	O2.1	1.15	0.4	1	0	32	15
O2	O2.2	1.53	0.56	1	0	37	16
O2	O2.3	1.54	0.38	1	0	40	15
O3	O3.1	4.25	0.48	1	0	31	18
O3	O3.2	1.78	0.3	1	0	32	20
O3	O3.3	2.14	0.28	1	0	28	15
O4	O4.1	2.65	1	1	0	25	12
O4	O4.2	3.45	0.4	1	0	28	15
O4	O4.3	1.6	0.2	1	0	26	13
Promedio				1	0		

Especie		AREA NECROTICA			TAMAÑO DE HOJA		
Especie	Cod.Laboratorio	Largo (mm)	Ancho(mm)	Nivel	Grado de Esporulación	Largo (mm)	Ancho (mm)
L1	L1.1	3.04	1	1	0	59	37
L1	L1.2	4.74	0.5	1	0	80	50
L1	L1.3	4.5	0.5	1	0	61	38
L2	L2.1	6.1	1.2	1	0	60	36
L2	L2.2	5.02	0.54	1	0	72	52
L2	L2.3	4.54	0.55	1	0	55	31
L3	L3.1	7.65	3.25	1	0	30	20
L3	L3.2	5.2	1.5	1	0	50	41
L3	L3.3	4	0.7	1	0	30	29
L4	L4.1	3.78	0.45	1	0	65	34
L4	L4.2	4.25	1.02	1	0	93	71
L4	L4.3	7.75	0.42	1	0	65	39
Promedio				1	0		

7/06/2023

Especie: MORELLIFORME		AREA NECROTICA			Grado de Esporulaci3n
Especie	Cod.Laboratorio	Largo	Ancho	Nivel	
M1	M1.1	2.31	1.27	2	1
M1	M1.2	3.5	1.36	2	1
M1	M1.3	2.27	1.31	2	1
M2	M2.1	2.84	1.19	2	1
M2	M2.2	1.72	0.58	2	1
M2	M2.3	2.46	0.79	2	1
M3	M3.1	4	1.52	1	1
M3	M3.2	4.1	1.21	1	1
M3	M3.3	3.27	0.81	1	1
M4	M4.1	2.79	1.35	1	1
M4	M4.2	3.18	1.32	1	1
M4	M4.3	2.29	1.32	1	1
Promedio		1.500			1

Especie DEMISSUM		AREA NECROTICA			Grado de Esporulaci3n
Cod. Material	Cod.Laboratorio	Largo	Ancho	Nivel	
D1	D1.1	2.95	1.1	2	0
D1	D1.2	5.9	0.81	2	0
D1	D1.3	3.46	0.86	2	0
D2	D2.1	3.61	0.7	3	0
D2	D2.2	7.56	0.81	3	0
D2	D2.3	3.58	3.9	3	0
D3	D3.1	2.65	0.85	2	0
D3	D3.2	4.52	0.45	2	0
D3	D3.3	2.69	0.21	2	0
D4	D1.1	3.45	0.72	1	0
D4	D1.2	3.6	0.58	1	0
D4	D1.3	2.36	0.39	1	0
Promedio		2.00			0

Especie	ANDIGENUM	AREA NECROTICA			
<b>Cod. Material</b>	<b>Cod.Laboratorio</b>	<b>Largo</b>	<b>Ancho</b>	<b>Nivel</b>	<b>Grado de Esporulaci3n</b>
A1	A1.1	5.66	1.32	1	1
A1	A1.2	5.27	1.35	1	1
A1	A1.3	6.35	1.24	1	1
A2	A2.1	4.13	1.47	2	1
A2	A2.2	7.08	1.62	1	1
A2	A2.3	4.32	1.41	2	1
A3	A3.1	6.38	1.26	1	1
A3	A3.2	3.51	1.6	1	1
A3	A3.3.	5.53	1.37	2	1
A4	A4.1	7.54	1.6	1	1
A4	A4.2	7.2	1.4	1	1
A4	A4.3	6.51	1.53	1	1
	Promedio			1.25	1
Especie	AGRIMONIFOLIUM	AREA NECROTICA			
<b>Cod. Material</b>	<b>Cod.Laboratorio</b>	<b>Largo</b>	<b>Ancho</b>	<b>Nivel</b>	<b>Grado de Esporulaci3n</b>
G1	G1.1	1.33	0.5	3	1
G1	G1.2	3.1	0.68	4	1
G1	G1.3	1.3	0.7	3	1
G2	G2.1	1.65	0.95	3	1
G2	G2.2	1.64	0.56	3	1
G2	G2.3	1.76	1.05	3	1
G3	G3.1	2.09	0.71	3	1
G3	G3.2	2.71	0.77	3	1
G3	G3.3	1.8	0.75	2	1
G4	G4.1	1.69	0.26	2	1
G4	G4.2	2.22	0.48	3	1
G4	G.4.3	2.25	0.26	2	1
	Promedio			2.83	1.0

Especie	OXYCARPUM	AREA NECROTICA			
<b>Cod. Material</b>	<b>Cod.Laboratorio</b>	<b>Largo</b>	<b>Ancho</b>	<b>Nivel</b>	<b>Grado de Esporulaci3n</b>
O1	O1.1	2.98	0.53	2	1
O1	O1.2	1.97	0.97	2	1
O1	O1.3	1.08	0.57	2	1
O2	O2.1	1.23	0.5	2	1
O2	O2.2	1.63	0.63	2	1
O2	O2.3	1.73	0.4	2	1
O3	O3.1	4.35	0.54	2	1
O3	O3.2	1.96	0.35	2	1
O3	O3.3	2.24	0.34	2	1
O4	O4.1	2.73	1.04	2	1
O4	O4.2	3.54	0.53	2	1
O4	O4.3	1.68	0.4	2	1
	Promedio			2.0	1.0

Especie	LOMAN	AREA NECROTICA			
<b>Cod. Material</b>	<b>Cod.Laboratorio</b>	<b>Largo</b>	<b>Ancho</b>	<b>Nivel</b>	<b>Grado de Esporulaci3n</b>
L1	L1.1	4.07	1.07	2	1
L1	L1.2	4.92	0.9	2	1
L1	L1.3	4.58	0.68	2	1
L2	L2.1	6.17	1.226	3	1
L2	L2.2	5.7	0.62	3	1
L2	L2.3	5.55	0.55	3	1
L3	L3.1	7.78	4.25	1	1
L3	L3.2	5.43	1.98	1	1
L3	L3.3	4.5	0.85	2	1
L4	L4.1	4.79	0.8	2	1
L4	L4.2	5.28	1.16	2	1
L4	L4.3	8.86	0.82	3	1
	Promedio			2.17	1

FECHA

9/06/2023

QUETZALTENANGO Lectura 3

Especie: MORELLIFORME | AREA NECROTICA

<b>Especie</b>	<b>Cod.Laboratorio</b>	<b>Largo</b>	<b>Ancho</b>	<b>Nivel</b>	<b>Grado de Esporulación</b>
M1	M1.1	12.8	12.23	4	2
M1	M1.2	18.24	13.27	4	2
M1	M1.3	10.97	12.51	6	2
M2	M2.1	15.32	0.62	4	2
M2	M2.2	7.46	1.04	4	2
M2	M2.3	8.4	6.31	4	2
M3	M3.1	24.1	14.78	4	2
M3	M3.2	28.37	18.18	4	2
M3	M3.3	13.1	11.14	4	2
M4	M4.1	20.75	12.45	5	3
M4	M4.2	28.1	21.67	4	2
M4	M4.3	13.64	20	6	3
	Promedio			4.42	2

Especie DEMISSUM | AREA NECROTICA

<b>Cod. Material</b>	<b>Cod.Laboratorio</b>	<b>Largo</b>	<b>Ancho</b>	<b>Nivel</b>	<b>Grado de Esporulación</b>
D1	D1.1	13.46	19.29	3	1
D1	D1.2	34.63	28	3	1
D1	D1.3	14.18	5.2	3	1
D2	D2.1	8.3	10.58	5	2
D2	D2.2	25.82	32.97	5	2
D2	D2.3	14.06	8.61	3	1
D3	D3.1	11.67	5.15	3	1
D3	D3.2	34.61	24.02	7	1
D3	D3.3	12.68	10.7	6	3
D4	D1.1	11.43	6	5	2
D4	D1.2	28.92	21.28	7	3
D4	D1.3	10.29	5.78	6	3
	Promedio			4.67	2

Especie	ANDIGENUM	AREA NECROTICA			
<b>Cod. Material</b>	<b>Cod.Laboratorio</b>	<b>Largo</b>	<b>Ancho</b>	<b>Nivel</b>	<b>Grado de Esporulaci3n</b>
A1	A1.1	58	26.28	4	2
A1	A1.2	36.36	25.77	4	2
A1	A1.3	27.4	22.31	3	2
A2	A2.1	41.82	30.73	3	2
A2	A2.2	48.54	39.04	3	2
A2	A2.3	40.72	15.95	3	2
A3	A3.1	28.94	15.24	4	2
A3	A3.2	54.68	42.59	5	2
A3	A3.3	22.58	11.23	4	2
A4	A4.1	39.91	27.86	4	2
A4	A4.2	55.75	38.22	3	2
A4	A4.3	34.46	28.3	3	2
Promedio				3.58	2
Especie	AGRIMONIFOLIUM	AREA NECROTICA			
<b>Cod. Material</b>	<b>Cod.Laboratorio</b>	<b>Largo</b>	<b>Ancho</b>	<b>Nivel</b>	<b>Grado de Esporulaci3n</b>
G1	G1.1	13.6	7.32	4	1
G1	G1.2	19.3	11.46	6	1
G1	G1.3	12.16	5.42	8	1
G2	G2.1	3.19	9.11	8	1
G2	G2.2	14.96	6.82	4	1
G2	G2.3	3.99	2.45	4	1
G3	G3.1	9.39	5.14	4	1
G3	G3.2	23.71	8.48	6	2
G3	G3.3	3.25	3.56	3	1
G4	G4.1	4.24	6.02	3	1
G4	G4.2	8.16	3.72	5	1
G4	G.4.3	7.19	6.64	4	1
Promedio				4.917	1

Especie	OXYCARPUM	AREA NECROTICA			
<b>Cod. Material</b>	<b>Cod.Laboratorio</b>	<b>Largo</b>	<b>Ancho</b>	<b>Nivel</b>	<b>Grado de Esporulación</b>
O1	O1.1	3.82	1.08	4	1
O1	O1.2	4.99	2.1	4	1
O1	O1.3	3.08	0.75	4	1
O2	O2.1	5.05	1.21	4	1
O2	O2.2	2.82	2.93	4	1
O2	O2.3	4.24	3.74	4	1
O3	O3.1	6.43	3.63	5	1
O3	O3.2	11	7.36	5	1
O3	O3.3	16.85	7.95	6	1
O4	O4.1	4.77	2.56	5	1
O4	O4.2	5.54	1.32	5	1
O4	O4.3	3.71	2.35	5	1
<u>Promedio</u>				<u>4.58</u>	<u>1</u>

Especie	LOMAN	AREA NECROTICA			
<b>Cod. Material</b>	<b>Cod.Laboratorio</b>	<b>Largo</b>	<b>Ancho</b>	<b>Nivel</b>	<b>Grado de Esporulación</b>
L1	L1.1	21.59	32.51	3	2
L1	L1.2	49.89	58.39	3	2
L1	L1.3	32.52	24.54	3	2
L2	L2.1	20.75	12.25	3	2
L2	L2.2	14.83	28.82	3	2
L2	L2.3	30.92	25.13	4	2
L3	L3.1	23.22	20.97	5	2
L3	L3.2	45.8	28.1	5	2
L3	L3.3	17.17	13.04	5	2
L4	L4.1	38.85	23.2	5	2
L4	L4.2	78.06	74.04	6	2
L4	L4.3	43.49	29.55	6	2
<u>Promedio</u>				<u>4.25</u>	<u>2</u>



## Anexo 28 Datos de severidad en laboratorio Del inóculo de San Marcos

FECHA:

5/06/2023

Especie: MORELLIFORME		AREA NECROTICA				TAMAÑO DE HOJA	
Especie	Cod. Laboratorio	Largo (mm)	Ancho (mm)	Nivel	Grado de Esporulación	Largo (mm)	Ancho (mm)
M1	M1.1	1.5	0.2	1	0	31	14
M1	M1.2	3.2	0.1	1	0	33	19
M1	M1.3	3.4	0.5	1	0	29	14
M2	M2.1	2.32	0.7	1	0	30	15
M2	M2.2	3.75	0.1	1	0	30	21
M2	M2.3	3.95	3.75	1	0	29	17
M3	M3.1	1.95	0.2	1	0	34	14
M3	M3.2	22	0.4	1	0	41	20
M3	M3.3	12	0.8	1	0	33	15
M4	M4.1	5.5	0.7	1	0	30	16
M4	M4.2	12	10.2	1	0	36	22
M4	M4.3	3.24	1.5	1	0	30	15
Promedio				1.0000	0		

Especie DEMISSUM		AREA NECROTICA				TAMAÑO DE HOJA	
Cod. Material	Cod.Laboratorio	Largo	Ancho	Nivel	Grado de Esporulación	Largo (mm)	Ancho (mm)
D1	D1.1	7.5	0.2	1	0	24	13
D1	D1.2	4.2	0.48	1	0	44	30
D1	D1.3	6.58	0.45	1	0	24	12
D2	D2.1	1.35	0.85	1	0	24	13
D2	D2.2	4.75	0.98	1	0	41	35
D2	D2.3	2.95	0.75	1	0	21	12
D3	D3.1	5.75	0.48	1	0	27	13
D3	D3.2	6.31	0.68	1	0	49	33
D3	D3.3	7.04	0.78	1	0	24	13
D4	D1.1	4.3	0.85	1	0	26	12
D4	D1.2	8.75	0.4	1	0	48	28
D4	D1.3	7.2	0.65	1	0	24	11
promedio				1	0		

Especie		ANDIGENUM	AREA NECROTICA			TAMAÑO DE HOJA	
<b>Cod. Material</b>	<b>Cod.Laboratorio</b>	<b>Largo</b>	<b>Ancho</b>	<b>Nivel</b>	<b>Grado de Esporulación</b>	<b>Largo (mm)</b>	<b>Ancho (mm)</b>
A1	A1.1	4.5	2.5	1	0	72	45
A1	A1.2	6.4	0.95	1	0	77	46
A1	A1.3	5	10.4	1	0	70	44
A2	A2.1	6.39	0.98	1	0	71	44
A2	A2.2	6.2	20.45	1	0	80	52
A2	A2.3	35.75	26	1	0	76	45
A3	A3.1	6.1	0.5	1	0	70	43
A3	A3.2	5.78	0.85	1	0	70	47
A3	A3.3	6.5	0.96	1	0	63	41
A4	A4.1	4.65	0.8	1	0	52	34
A4	A4.2	4.87	6.04	1	0	69	39
A4	A4.3	6.51	1.01	1	0	58	36
	promedio			1	0		

Especie		AGRIMONIFOLIUM	AREA NECROTICA			TAMAÑO DE HOJA	
<b>Cod. Material</b>	<b>Cod.Laboratorio</b>	<b>Largo</b>	<b>Ancho</b>	<b>Nivel</b>	<b>Grado de Esporulación</b>	<b>Largo (mm)</b>	<b>Ancho (mm)</b>
G1	G1.1	8.5	0.88	1	0	38	14
G1	G1.2	8.35	0.45	1	0	41	20
G1	G1.3	4.35	0.37	1	0	35	15
G2	G2.1	7.89	1.48	1	0	35	16
G2	G2.2	14.25	1.11	1	0	44	22
G2	G2.3	4.2	0.2	1	0	36	16
G3	G3.1	4.5	1.5	1	0	23	14
G3	G3.2	5.45	1.2	1	0	35	20
G3	G3.3	4.95	1.4	1	0	30	15
G4	G4.1	2.85	1.5	1	0	22	14
G4	G4.2	3.75	0.4	1	0	29	19
G4	G.4.3	3.95	3.85	1	0	22	13
	Promedio			1	0		

Especie		AREA NECROTICA			TAMAÑO DE HOJA		
Cod. Material	Cod.Laboratorio	Largo	Ancho	Nivel	Grado de Esporulación	Largo (mm)	Ancho (mm)
O1	O1.1	3.6	6	1	0	41	19
O1	O1.2	4	0.5	1	0	42	19
O1	O1.3	3.1	0.3	1	0	43	17
O2	O2.1	4.04	1.12	1	0	35	15
O2	O2.2	3.75	1.18	1	0	37	16
O2	O2.3	1.25	0.55	1	0	33	13
O3	O3.1	2.1	1.2	1	0	31	15
O3	O3.2	1	0.98	1	0	33	17
O3	O3.3	3.75	3.2	1	0	35	17
O4	O4.1	1.4	1.5	1	0	33	14
O4	O4.2	1.98	1.3	1	0	34	16
O4	O4.3	2.2	1.1	1	0	33	15
Promedio				1	0		

Especie		AREA NECROTICA			TAMAÑO DE HOJA		
Cod. Material	Cod.Laboratorio	Largo	Ancho	Nivel	Grado de Esporulación	Largo (mm)	Ancho (mm)
L1	L1.1	8.2	1.7	1	0	54	33
L1	L1.2	3.5	0.75	1	0	74	50
L1	L1.3	5.14	0.4	1	0	56	52
L2	L2.1	8.75	0.45	1	0	43	23
L2	L2.2	4.5	1.9	1	0	60	48
L2	L2.3	10.35	5.2	1	0	41	29
L3	L3.1	5.1	1.47	1	0	32	22
L3	L3.2	14.78	1.2	1	0	5	41
L3	L3.3	10.45	1.76	1	0	31	23
L4	L4.1	4.01	1.56	1	0	70	44
L4	L4.2	5.3	1.45	1	0	89	70
L4	L4.3	6.54	0.47	1	0	69	45
Promedio				1	0		

FECHA: 7/06/2023

Especie: Morelliforme

Especie	Cod.Laboratorio	AREA NECROTICA			Grado de Esporulaci3n
		Largo	Ancho	Nivel	
M1	M1.1	2.48	0.5	2	1
M1	M1.2	4.2	0.2	2	1
M1	M1.3	6.62	1.8	2	1
M2	M2.1	6.5	1.28	2	1
M2	M2.2	6.64	0.46	3	1
M2	M2.3	7.41	9.73	3	1
M3	M3.1	4	0.48	2	1
M3	M3.2	27		4	3
M3	M3.3	22		2	3
M4	M4.1	6.62	1.5	2	1
M4	M4.2	15.72	17.87	2	1
M4	M4.3	5.87	4.29	2	1
Promedio				2.33	1

Especie Cod. Material	DEMISSUM Cod.Laboratorio	AREA NECROTICA			Grado de Esporulaci3n
		Largo	Ancho	Nivel	
D1	D1.1	8.89	0.4	2	0
D1	D1.2	5.26	0.58	3	0
D1	D1.3	8.25	0.5	3	0
D2	D2.1	2.51	1	2	0
D2	D2.2	5.21	1.2	4	0
D2	D2.3	3.97	0.8	4	0
D3	D3.1	6.82	0.5	3	0
D3	D3.2	6.31	0.7	3	0
D3	D3.3	7.2	0.81	6	0
D4	D1.1	4.63	0.9	3	0
D4	D1.2	9.02	0.5	3	0
D4	D1.3	7.31	0.7	6	0
Promedio				3.50	0

Especie ANDIGENUM		AREA NECROTICA			Grado de Esporulación
Cod. Material	Cod.Laboratorio	Largo	Ancho	Nivel	
A1	A1.1	10.03	3.28	3	1
A1	A1.2	8.1	1.72	4	2
A1	A1.3	12	11.46	4	1
A2	A2.1	6.39	1.7	3	1
A2	A2.2	35.52	27.56	2	2
A2	A2.3	40.27	32	4	1
A3	A3.1	7.2	1.13	3	1
A3	A3.2	6.01	1.32	2	1
A3	A3.3.	7.54	1.02	2	1
A4	A4.1	8.06	0.83	2	1
A4	A4.2	5.5	6.78	3	1
A4	A4.3	7.01	1.14	2	1
Promedio				2.83	1

Especie AGRIMONIFOLIUM		AREA NECROTICA			Grado de Esporulación
Cod. Material	Cod.Laboratorio	Largo	Ancho	Nivel	
G1	G1.1	9	1.58	3	1
G1	G1.2	9	0.5	5	1
G1	G1.3	5	0.37	3	1
G2	G2.1	8	1.5	3	1
G2	G2.2	5.39	0.59	4	1
G2	G2.3	10.5	2.01	3	3
G3	G3.1	5.9	1.92	3	1
G3	G3.2	5.89	1.5	3	1
G3	G3.3	5.1	1.45	3	1
G4	G4.1	3.35	1.54	3	1
G4	G4.2	4.98	0.45	3	1
G4	G.4.3	4	4.42	4	1
Promedio				3.33	1

Especie		OXYCARPUM	AREA NECROTICA			
Cod. Material	Cod.Laboratorio	Largo	Ancho	Nivel	Grado de Esporulaci3n	
O1	O1.1	3.7	6.12	3	1	
O1	O1.2	4.2	0.7	3	1	
O1	O1.3	3.4	0.46	4	1	
O2	O2.1	4.26	1.15	2	1	
O2	O2.2	4	1.2	2	1	
O2	O2.3	2.25	0.55	2	1	
O3	O3.1	2.82	1.25	2	1	
O3	O3.2	1.18	1	2	1	
O3	O3.3	4.79	3.37	1	1	
O4	O4.1	1.32	1.68	4	1	
O4	O4.2	2.49	1.57	4	1	
O4	O4.3	2.5	1.37	4	1	
				2.75	1	

Especie		LOMAN	AREA NECROTICA			
Cod. Material	Cod.Laboratorio	Largo	Ancho	Nivel	Grado de Esporulaci3n	
L1	L1.1	8.73	1.78	3	1	
L1	L1.2	4.6	0.75	2	1	
L1	L1.3	6.2	0.5	2	1	
L2	L2.1	9.78	0.5	2	1	
L2	L2.2	5.13	1.91	2	1	
L2	L2.3	12.34	5.5	5	2	
L3	L3.1	6.2	1.7	2	1	
L3	L3.2	15.2	1.4	3	1	
L3	L3.3	10.32	1.62	2	1	
L4	L4.1	5.01	0.5	3	1	
L4	L4.2	6.32	1.45	3	1	
L4	L4.3	6.67	0.84	3	1	
Promedio				2.67	1	

FECHA

9/06/2023

Especie: Morelliforme		AREA NECROTICA			Grado de Esporulaci3n
Especie	Cod.Laboratorio	Largo	Ancho	Nivel	
M1	M1.1	10.18	7.56	5	2
M1	M1.2	10.14	19.47	5	2
M1	M1.3	X	X	9	3
M2	M2.1	X	X	9	3
M2	M2.2	X	X	9	3
M2	M2.3	X	X	9	3
M3	M3.1	X	X	9	3
M3	M3.2	X	X	9	3
M3	M3.3	X	X	9	3
M4	M4.1	12.67	9.21	5	2
M4	M4.2	X	X	9	3
M4	M4.3	8.04	8.84	5	2
Promedio		7.67			3

Especie DEMISSUM		AREA NECROTICA			Grado de Esporulaci3n
Cod. Material	Cod.Laboratorio	Largo	Ancho	Nivel	
D1	D1.1	13.8	10.04	8	2
D1	D1.2	29.88	27.44	8	2
D1	D1.3	16.59	12.22	7	2
D2	D2.1	18.11	13.09	8	2
D2	D2.2	29.15	34.15	8	2
D2	D2.3	8.94	10.15	8	2
D3	D3.1	14.46	10.73	8	2
D3	D3.2	34.75	31.21	8	2
D3	D3.3	15.39	10.34	7	2
D4	D1.1	16.44	8.2	8	2
D4	D1.2	28.66	22.03	8	2
D4	D1.3	12.83	9.73	7	2
Promedio		7.75			2

Especie		ANDIGENUM		AREA NECROTICA		Grado de Esporulaci3n
Cod. Material	Cod.Laboratorio	Largo	Ancho	Nivel		
A1	A1.1	36.96	21.19	5	2	
A1	A1.2	56.55	48	6	2	
A1	A1.3	58	26.7	5	2	
A2	A2.1	X	X	9	3	
A2	A2.2	X	X	9	3	
A2	A2.3	X	X	9	3	
A3	A3.1	X	X	9	3	
A3	A3.2	X	X	9	3	
A3	A3.3.	X	X	9	3	
A4	A4.1	41.25	29.36	6	2	
A4	A4.2	X	X	7	3	
A4	A4.3	40.47	20.71	6	2	
Promedio		7.42			3	

Especie		AGRIMONIFOLIUM		AREA NECROTICA		Grado de Esporulaci3n
Cod. Material	Cod.Laboratorio	Largo	Ancho	Nivel		
G1	G1.1	10.61	1.96	6	2	
G1	G1.2	X	X	9	3	
G1	G1.3	15.07	5.75	5	2	
G2	G2.1	X	X	9	3	
G2	G2.2	X	X	9	3	
G2	G2.3	X	X	9	3	
G3	G3.1	18	24.22	8	2	
G3	G3.2	10.52	22.68	8	2	
G3	G3.3	14.16	9.73	8	2	
G4	G4.1	X	X	9	3	
G4	G4.2	X	X	9	3	
G4	G.4.3	X	X	9	3	
Promedio		8.17			3	



Especie		OXYCARPUM		AREA NECROTICA		Grado de Esporulaci3n
Cod. Material	Cod.Laboratorio	Largo	Ancho	Nivel		
O1	O1.1	X	X	9	3	
O1	O1.2	X	X	9	3	
O1	O1.3	10.28	7.94	7	2	
O2	O2.1	9.26	10.93	6	2	
O2	O2.2	9.51	5.96	8	2	
O2	O2.3	6.73	8.08	8	2	
O3	O3.1	3.23	3.16	7	2	
O3	O3.2	X	X	9	3	
O3	O3.3	X	X	9	3	
O4	O4.1	X	X	9	3	
O4	O4.2	X	X	9	3	
O4	O4.3	4.29	1.59	6	3	
Promedio		8.00			3	

Especie		LOMAN		AREA NECROTICA		Grado de Esporulaci3n
Cod. Material	Cod.Laboratorio	Largo	Ancho	Nivel		
L1	L1.1	8.91	5.33	5	2	
L1	L1.2	48.79	33.28	7	2	
L1	L1.3	X	X	9	2	
L2	L2.1	9.89	6.44	7	2	
L2	L2.2	X	X	9	2	
L2	L2.3	X	X	9	3	
L3	L3.1	X	X	9	2	
L3	L3.2	33.6	21.01	6	2	
L3	L3.3	X	X	9	3	
L4	L4.1	42.83	23.5	6	2	
L4	L4.2	X	X	9	2	
L4	L4.3	X	X	9	2	
Promedio		7.83			2	

## Anexo 29. Valores de incidencia del ABCPE del inóculo de San Marcos.

<b>Especie</b>	<b>ABCPE</b>
<i>S. morelliforme</i>	407
<i>S. tuberosum spp. andigenum</i>	410
<i>S.oxycarpum</i>	577
Loman (+)	615
<i>S. agrimonifolium</i>	687
<i>S. demissum</i>	723

*Nota:* Unidad de investigación Quetzaltenango, 2023.

## Anexo 30. Valores de severidad de ABCPE de inóculo de San Marcos.

<b>Especie</b>	<b>ABCPE</b>
<i>S. morelliforme</i>	13.33
<i>S. tuberosum spp andigenum</i>	14.08
Loman (+)	14.17
<i>S.oxycarpum</i>	14.5
<i>S. demissum</i>	15.75
<i>S. agrimonifolium</i>	15.83

*Nota:* Unidad de investigación Quetzaltenango, 2023

## Anexo 31. Valores de incidencia del ABCPE del inóculo de Quetzaltenango.

<b>Especie</b>	<b>AUDPC</b>
<i>S. tuberosum spp andigenum</i>	131
<i>S. demissum</i>	311
<i>S.oxycarpum</i>	369
Loman (+)	407
<i>S. agrimonifolium</i>	410
<i>S. morelliforme</i>	419

*Nota:* Unidad de investigación Quetzaltenango, 2023.

## Anexo 32. Valores de severidad en ABCPE por especie del inóculo de Quetzaltenango.

<b>Especie</b>	<b>AUDCP</b>
<i>S. tuberosum spp. andigenum</i>	7.08
<i>S. morelliforme</i>	8.42
<i>S.oxycarpum</i>	9.58
Loman (+)	9.59
<i>S. demissum</i>	9.67
<i>S. agrimonifolium</i>	11.57

*Nota:* Unidad de investigación Quetzaltenango, 2023.