

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

CENTRO UNIVERSITARIO DE SAN MARCOS

CARRERA DE INGENIERO AGRÓNOMO CON ORIENTACIÓN EN
AGRICULTURA SOSTENIBLE

**IDENTIFICACIÓN DE RAZAS FISIOLÓGICAS DE ROYA (*Uromyces
appendiculatus* (Pers.: Pers.) Unger) DEL FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.)
UTILIZANDO VARIEDADES DIFERENCIALES EN DOCE LOCALIDADES DEL
ALTIPLANO DE GUATEMALA.**



TESIS

**PRESENTADA A LAS AUTORIDADES DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE SAN
MARCOS DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

POR:

PLUTARCO EMANUEL MORALES GONZÁLEZ

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO INGENIERO AGRÓNOMO CON
ORIENTACIÓN EN AGRICULTURA SOSTENIBLE EN EL GRADO ACADÉMICO
DE LICENCIADO EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

SAN MARCOS, NOVIEMBRE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE SAN MARCOS

MIEMBROS DEL CONSEJO DIRECTIVO

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

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

CENTRO UNIVERSITARIO DE SAN MARCOS

MIEMBROS DE LA COORDINACIÓN ACADÉMICA

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

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE SAN MARCOS

COMITÉ DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Coordinador Ing. Agr. Rodolfo Raquel Carredano

Secretario Ing. Agr. Fredy Roberto Pérez

Vocal Ing. Agr. Leonel Alfredo Orozco

ASESORES

Dr. Luis Fernando Aldana

Ing. Agr. Nehemías Juan Rivera

Dr. Marcial A. Pastor Corrales

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE SAN MARCOS

TRIBUNAL EXAMINADOR

Directora	Licda. Eugenia Elizabet Makepeace Alfaro
Coordinador Académico	Edwin René del Valle López
Coordinador de Carrera	Ing. Jorge Robelio Juárez González
Asesor Principal	Dr. Luis Fernando Aldana
Asesor Adjunto	Ing. Agr. Nehemías Juan Rivera
Asesor Adjunto	Dr. Marcial A. Pastor Corrales

San Marcos, Julio de 2014.

Señores,
Comité de Trabajo de Graduación
Carrera de Ingeniero Agrónomo Con Orientación En Agricultura Sostenible
Centro Universitario de San Marcos
Edificio.

Atentamente me dirijo a ustedes para manifestarles que he asesorado y revisado el informe final del trabajo de graduación titulado: "**IDENTIFICACIÓN DE RAZAS FISIOLÓGICAS DE ROYA (*Uromyces appendiculatus* (Pers.: Pers.) Unger) DEL FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) UTILIZANDO VARIEDADES DIFERENCIALES EN DOCE LOCALIDADES DEL ALTIPLANO DE GUATEMALA**" del estudiante **Plutarco Emanuel Morales González**, carné número 200941162.

Dicho informe cumple con los requisitos metodológicos y académicos, por lo que emito **OPINIÓN FAVORABLE** para ser aprobado como trabajo de graduación previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo Con Orientación En Agricultura Sostenible.

Atentamente,



Dr. Luis Fernando Aldana
No. De Colegiado 549
Asesor principal

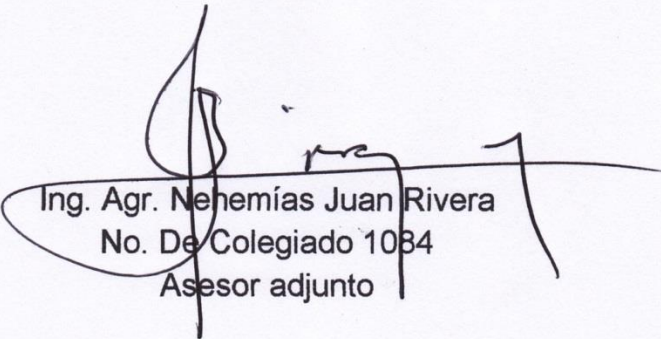
San Marcos, Julio de 2014.

Señores,
Comité de Trabajo de Graduación
Carrera de Ingeniero Agrónomo Con Orientación En Agricultura Sostenible
Centro Universitario de San Marcos
Edificio.

Atentamente me dirijo a ustedes para manifestarles que he asesorado y revisado el informe final del trabajo de graduación titulado: "**IDENTIFICACIÓN DE RAZAS FISIOLÓGICAS DE ROYA (*Uromyces appendiculatus* (Pers.: Pers.) Unger) DEL FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) UTILIZANDO VARIEDADES DIFERENCIALES EN DOCE LOCALIDADES DEL ALTIPLANO DE GUATEMALA**" del estudiante **Plutarco Emanuel Morales González**, carné número 200941162.

Dicho informe cumple con los requisitos metodológicos y académicos, por lo que emito **OPINIÓN FAVORABLE** para ser aprobado como trabajo de graduación previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo Con Orientación En Agricultura Sostenible.

Atentamente,



Ing. Agr. Nehemías Juan Rivera
No. De Colegiado 1084
Asesor adjunto



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, SEXTO, SEPTIMO Y OCTAVO DEL ACTA No. 005-2014, LOS QUE LITERALMENTE DICEN:

ACTA No. 005-2014

En la ciudad de San Marcos, siendo las quince horas del día lunes veinticuatro de noviembre del año dos mil catorce, reunidos en la Sede del Proyecto PIC del Centro Universitario de San Marcos, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, los integrantes del Comité de Trabajo de Graduación de la Carrera de Ingeniero Agrónomo con Orientación en Agricultura Sostenible en su orden: Ing. Agr. Aldo Mario Tobar Gramajo, Coordinador, Ing. Agr. Leonel Alfredo Orozco y quien suscribe Ing. Agr. Nehemías Juan Rivera Méndez, 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: solicitud de aprobación de temas de Trabajos de Graduación, solicitud de seminarios I, solicitud de aprobación de seminarios I, solicitud de seminarios II, Solicitudes de DICTAMEN de Trabajos de Graduación. **SEGUNDO:** APERTURA: El Coordinador del Comité procedió a dar la bienvenida a los presentes. **SEXTO:** El Secretario del comité de trabajo de graduación informo a los presentes que el estudiante **PLUTARCO EMANUEL MORALES GONZALEZ** solicita dictamen favorable del informe final del trabajo de graduación titulado "**IDENTIFICACION DE RAZAS FISIOLÓGICAS DE ROYA (*Uromyces appendiculatus* (Pers.) DEL FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) UTILIZANDO VARIEDADES DIFERENCIALES EN DOCE LOCALIDADES DEL ALTIPLANO DE GUATEMALA**". **SEPTIMO:** Se procedió por parte del Ing. Agr. Aldo Mario Tobar Gramajo a dar lectura a los artículos que rigen el Normativo del Trabajo de Graduación de la Carrera de Ingeniero Agrónomo con Orientación en Agricultura Sostenible para llevar a cabo la revisión del informe final del Trabajo de Graduación del estudiante: **PLUTARCO EMANUEL MORALES GONZALEZ**, titulado: "**IDENTIFICACION DE RAZAS FISIOLÓGICAS DE ROYA (*Uromyces appendiculatus* (Pers.) DEL FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) UTILIZANDO VARIEDADES DIFERENCIALES EN DOCE LOCALIDADES DEL ALTIPLANO DE GUATEMALA**". El cual llena los requisitos establecidos por el Normativo de Trabajo de Graduación de la Carrera de Ingeniero Agrónomo con Orientación en Agricultura Sostenible. **OCTAVO:** De lo descrito en el punto anterior y el dictamen emitido por los Profesionales: Dr. Luis Fernando Aldana e Ing. Agr. Nehemías Juan Rivera Méndez., el comité de trabajo de graduación acordó **DICTAMEN FAVORABLE** al Trabajo de Graduación presentado por el estudiante antes indicado. Concluyó la reunión en el mismo lugar y fecha a las dieciséis horas, previa lectura que se hizo a lo escrito y enterados de su contenido y efectos legales, aceptamos, ratificamos y firmamos. **DAMOS FE.** (FS) ilegibles Ing. Agr. Aldo Mario Tobar, Ing. Agr. Leonel Alfredo Orozco e Ing. Agr. Nehemías Juan Rivera Méndez.

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 CINCO DIAS DEL MES DE MARZO DEL AÑO DOS MIL QUINCE.

¡D Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Agr. Nehemías Juan Rivera Méndez
Secretario Comité Trabajo de Graduación

CC. archivo



USAC
TRICENTENARIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE SAN MARCOS

Transc.COACUSAM-1138-2015
Octubre 08, 2015

ESTUDIANTE: PLUTARCO EMANUEL MORALES GONZÁLEZ
CARRERA: INGENIERO AGRÓNOMO CON ORIENTACIÓN EN AGRICULTURA SOSTENIBLE
CUSAM, Edificio.

Atentamente transcribo a usted el Punto **QUINTO: ASUNTOS ACADÉMICOS, inciso b) subinciso b.28)** del Acta No. 015-2015, de sesión extraordinaria celebrada por la Coordinación Académica, el 30 de septiembre de 2015, que dice:

“QUINTO: ASUNTOS ACADÉMICOS: b) ORDENES DE IMPRESIÓN. CARRERA: INGENIERO AGRÓNOMO CON ORIENTACIÓN EN AGRICULTURA SOSTENIBLE. b.28) La Coordinación Académica conoció Providencia No. CACUSAM-115-2015, de fecha Septiembre, 30 de 2015, suscrita por el Ing. Agr. Jorge Robelio Juárez González, Coordinador de la Carrera de Ingeniero Agrónomo con Orientación en Agricultura Sostenible, a la que adjunta solicitud del estudiante: PLUTARCO EMANUEL MORALES GONZÁLEZ, Carné No. 200941162, en el sentido se le **AUTORICE IMPRESIÓN DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN, TITULADO:** “IDENTIFICACIÓN DE RAZAS FISIOLÓGICAS DE ROYA (*Uromyces appendiculatus* (Pers: Pers.) Unger) DEL FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) UTILIZANDO VARIEDADES DIFERENCIALES EN DOCE LOCALIDADES DEL ALTIPLANO DE GUATEMALA”, previo a conferírsele el Título de INGENIERO AGRÓNOMO CON ORIENTACIÓN EN AGRICULTURA SOSTENIBLE, EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO EN CIENCIAS AGRÍCOLAS. La Coordinación Académica en base a la opinión favorable de los Asesores, Comité de Trabajos de Graduación y Coordinador de Carrera, **ACORDÓ: AUTORIZAR IMPRESIÓN DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN TITULADO:** “IDENTIFICACIÓN DE RAZAS FISIOLÓGICAS DE ROYA (*Uromyces appendiculatus* (Pers: Pers.) Unger) DEL FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) UTILIZANDO VARIEDADES DIFERENCIALES EN DOCE LOCALIDADES DEL ALTIPLANO DE GUATEMALA”, al estudiante: PLUTARCO EMANUEL MORALES GONZÁLEZ, Carné No. 200941162, previo a conferírsele el Título de INGENIERO AGRÓNOMO CON ORIENTACIÓN EN AGRICULTURA SOSTENIBLE, EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO EN CIENCIAS AGRÍCOLAS.”

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Lic. Edwin René del Valle López
Coordinador Académico



ACTO QUE DEDICO

A mi Padre Celestial: Al único y bendito Soberano, Rey de reyes y Señor de señores, al único inmortal, que vive en luz inaccesible, a quien nadie ha visto ni puede ver, a él sea el honor y el poder eternamente. Amén. Tu promesa se ha cumplido.

A mi familia: Mi padre Plutarco Morales y mi madre Delgi González, no hay palabras que puedan describir mi agradecimiento hacia ustedes, un pequeño reconocimiento y homenaje a ustedes por todo el esfuerzo realizado durante estos veinticuatro años que Dios me ha permitido vivir. Que este logro sea uno de los frutos por todos los esfuerzos y sacrificios que han hecho por mí.

Mi hermana Dánitza Morales, por tu apoyo en momentos difíciles y por estar siempre disponible para ayudarme y que esto te sirva de motivación para culminar tu carrera y convertirte en una contadora pública y auditora.

Mis abuelos: Gilberto Morales, Angélica Rodríguez, Marcos González (Q.E.P.D) y en especial a Rosalinda Bravo por sus consejos, oraciones y bendiciones a lo largo de mi vida.

Mis tíos: Su apoyo ha sido muy valioso, especialmente a mis tíos Wanerges y Rudy González, gracias por sus grandes consejos y apoyo en los momentos difíciles de mi vida.

A mi Patria: Guatemala, tierra hermosa, país de la eterna primavera, nación bendita de Dios. Prometo engrandecerte con mi profesión.

AGRADECIMIENTOS

Mi Padre Celestial: Dios porque tus misericordias son nuevas cada mañana, me has dado salud, sabiduría e inteligencia para lograr este objetivo: ser un ingeniero agrónomo.

Mi familia Morales González: No hay palabras para agradecerles todo lo que han hecho por mí, gracias por su apoyo material, económico, espiritual y moral. Tal vez no pueda pagarles todo lo que han hecho por mí pero fiel es Dios y él los recompensará abundantemente.

Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA): Por permitirme realizar esta investigación y aprender mucho de sus investigadores, espero que la presente investigación sea de mucha ayuda para sus futuros trabajos de mejoramiento del cultivo de frijol.

Ing Agr. Nehemías Rivera: Por su asesoramiento y acompañamiento en esta investigación.

Doctores James Beaver y Marcial Pastor Corrales: Por su asesoramiento y apoyo en la realización de esta investigación.

Doctor Fernando Aldana: Por su asesoramiento y por todos los consejos que me brindó durante la investigación y más que esto por su amistad buena y sincera.

Señores y señoras: Ayra Cinto, Henry Ramírez, Lucas Fuentes, Javier Estrada, Marciano de León, Santiago Cumes, Héctor Macham: Por su valiosa colaboración, sin ustedes esta investigación no habría sido una realidad.

Catedráticos de la carrera de Ingeniero Agrónomo Con Orientación En Agricultura Sostenible: Por brindarme parte de sus conocimientos para mi formación profesional así como su amistad.

Centro Universitario de San Marcos (CUSAM) de la Universidad de San Carlos (USAC): Por abrirme sus puertas para formarme como un profesional de las ciencias agrícolas y ser de bien para el país.

Mis compañeros y amigos: Por su amistad y apoyo en los seis años de estudio universitario. Especialmente a Aroldo de León, Durvin Gómez, Mario Bravo, Aylwin Bámaca y Kewin Pérez.

RESUMEN

IDENTIFICACIÓN DE RAZAS FISIOLÓGICAS DE ROYA (*Uromyces appendiculatus* (Pers.: Pers.) Unger) DEL FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) UTILIZANDO VARIEDADES DIFERENCIALES EN DOCE LOCALIDADES DEL ALTIPLANO DE GUATEMALA

IDENTIFICATION OF PHYSIOLOGICAL RACES OF RUST (*Uromyces appendiculatus* (Pers.: Pers) Unger) BEAN (*Phaseolus vulgaris* L.) USING DIFFERENTIAL VARIETY IN TWELVE OF HIGHLANDS OF GUATEMALA LOCATIONS

En la presente investigación se identificaron las razas fisiológicas de la roya del frijol (*Uromyces appendiculatus*) en doce localidades del altiplano de Guatemala durante la estación invernal del año 2013. Para ello se sembró en una parcela en cada localidad la variedad de frijol Texel la cual es susceptible al patógeno causante de dicha enfermedad; se dejó infectar por el hongo y luego utilizando el método que consiste en la utilización de doce variedades diferenciales, seis de origen mesoamericano y seis de origen andino; se inocularon las plantas mediante su exposición por 21 días (tres semanas) a una parcela de frijol infectada y posteriormente se procedió a evaluar su reacción y por último se identificaron las razas fisiológicas. En este estudio se identificaron once razas fisiológicas las cuales son: 13-0, 22-63, 22-37, 3-4, 4-63, 16-63, 22-61, 5-47, 4-39, 4-55 y 4-62. Además se identificaron como razas nuevas las siguientes: 22-63, 22-37, 3-4, 4-63, 16-63, 22-61, 5-47, 4-39, 4-55 y 4-62. Además fue descubierto que el genotipo Compuesto Negro Chimaltenango ya no es la variedad más resistente a la roya del frijol debido a que resultó ser susceptible en más de la mitad de las localidades evaluadas. Se recomienda la utilización de los genes Ur-PI 260418, Ur-9, Ur-12, Ur-4, Ur-6 y Ur-13, todos de origen andino y la búsqueda de parientes silvestres con resistencia a la roya del frijol en Mesoamérica para los programas de mejoramiento genético en búsqueda de resistencia al ataque del patógeno causante de la roya del frijol.

Índice

1	Introducción.....	1
2	Definición del problema.....	3
3	Justificación.....	5
4	Marco teórico	6
4.1	El cultivo de frijol en Guatemala	6
4.2	La roya del frijol en Guatemala.....	6
4.3	La roya del frijol	6
4.3.1	Origen	6
4.3.2	Clasificación taxonómica.....	6
4.3.3	Distribución geográfica.....	7
4.4	Importancia económica	7
4.4.1	Sintomatología	7
4.4.2	Organismo causante	7
4.4.2.1	Morfología y fisiología	8
4.4.2.2	Ciclo biológico.....	8
4.4.2.2.1	Ciclo primario	8
4.4.2.2.2	Ciclo secundario.....	8
4.4.2.3	Características de los diferentes estados del patógeno.....	8
4.4.3	Epidemiología.....	9
4.4.4	Patogenicidad	9
4.4.5	Diseminación.....	9
4.4.6	Control	10
4.4.6.1	Control químico.....	10
4.4.6.2	Control cultural.....	10
4.4.6.2.1	Rotación de cultivos	10
4.4.6.2.2	Aireación en el cultivo	10
4.4.6.2.3	Eliminación de residuos	10
4.4.6.3	Variedades resistentes	10
4.5	Razas fisiológicas del hongo <i>Uromyces appendiculatus</i>	10

4.6	Las variedades diferenciales en la identificación de razas fisiológicas de la roya del frijol	12
4.7	Evaluación de la reacción de las plantas de frijol al patógeno de la roya	13
4.8	Sistema binario para nombrar a las razas de <i>U. appendiculatus</i>	13
4.9	Edad del hospedero	14
4.10	Hojas primarias versus hojas trifoliadas	14
4.11	Número de repeticiones de variedades diferenciales	14
4.12	Inoculación	14
4.13	Resistencia genética a roya en la variedad Compuesto Negro Chimaltenango	14
4.14	Variedad de frijol TEXEL	15
5	Marco referencial	16
5.1	Ubicación del ensayo No. 1	16
5.1.1	Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas “Labor Ovalle” (18)	16
5.1.2	Extensión	16
5.1.3	Vías de acceso.....	16
5.1.4	Clima.....	16
5.1.4.1	Temperatura	16
5.1.4.2	Precipitación pluvial	16
5.1.4.3	Zona de vida	16
5.2	Ubicación del ensayo No. 2.....	16
5.2.1	Municipio de Cajolá, Quetzaltenango (8)	16
5.2.2	Vías de acceso.....	17
5.2.3	Condiciones climáticas.....	17
5.2.4	Zona de vida	17
5.3	Ubicación del ensayo No. 3.....	17
5.3.1	Municipio de San Francisco La Unión, Quetzaltenango (12)	17
5.3.2	Vías de acceso.....	17
5.3.3	Condiciones climáticas.....	17
5.3.4	Zonas de vida.....	17
5.4	Ubicación del ensayo No. 4	18

5.4.1	Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas “La Alameda” (6).....	18
5.4.2	Vías de acceso.....	18
5.4.3	Condiciones climáticas.....	18
5.4.4	Zona de vida	18
5.5	Ubicación del ensayo No. 5.....	18
5.5.1	Municipio de Tecpán Guatemala, Chimaltenango (20)	18
5.5.2	Vías de acceso.....	18
5.5.3	Condiciones climáticas.....	19
5.5.4	Zona de vida	19
5.6	Ubicación del ensayo No. 6.....	19
5.6.1	Municipio de Parramos, Chimaltenango (13)	19
5.6.2	Vías de acceso.....	19
5.6.3	Condiciones climáticas.....	19
5.6.4	Zona de vida	19
5.7	Ubicación del ensayo No. 7	19
5.7.1	Aldea Piedra Grande, San Pedro Sacatepéquez (18).....	19
5.7.1.1	Ubicación geográfica	19
5.7.1.2	Extensión	19
5.7.1.3	Vías de acceso	19
5.7.1.4	Climatología.....	20
5.8	Ubicación del ensayo No. 8.....	20
5.8.1	Caserío Ixcá, San Pedro Sacatepéquez	20
5.8.2	Vías de acceso.....	20
5.8.3	Climatología	20
5.9	Ubicación del ensayo No. 9.....	20
5.9.1	Caserío Llano Grande, San Pedro Sacatepéquez	20
5.9.2	Vías de acceso.....	20
5.9.3	Climatología	20
5.10	Ubicación del ensayo no. 10.....	20
5.10.1	San Antonio Sacatepéquez, San Antonio Sacatepéquez (24)	20
5.10.2	Extensión territorial	21

5.10.3	Vías de acceso.....	21
5.10.4	Climatología	21
5.11	Ubicación del ensayo No. 11	21
5.11.1	Aldea Candelaria Siquival, San Antonio Sacatepéquez.....	21
5.11.2	Vías de acceso.....	21
5.11.3	Climatología	21
5.12	Ubicación del ensayo No. 12	21
5.12.1	Cantón Tojchiná, San Antonio Sacatepéquez.....	21
5.12.2	Vías de acceso.....	21
5.12.3	Climatología	22
6	Objetivos	23
6.1	General.....	23
6.2	Específicos	23
7	Hipótesis	23
8	Materiales y métodos	24
8.1	Metodología de la investigación	24
8.1.1	Unidad experimental	24
8.1.2	Manejo del experimento.....	25
8.1.2.1	Preparación del área.....	25
8.1.2.2	Preparación del suelo	25
8.1.2.3	Trazado de surcos	25
8.1.2.4	Siembra	25
8.1.2.5	Control de plantas indeseables.....	25
8.1.2.6	Fertilización.....	25
8.1.3	Obtención de las semillas de las variedades diferenciales	25
8.1.4	Pre germinación de variedades diferenciales	25
8.1.5	Siembra de variedades diferenciales	25
8.1.6	Etiquetado.....	26
8.1.7	Riego.....	26
8.1.8	Inoculación de variedades diferenciales	26
8.2	Variables de respuesta.....	26

8.3	Análisis de información.....	26
8.3.1	Evaluación de los síntomas de la enfermedad.....	26
8.3.2	Determinación de razas fisiológicas.....	27
9	Análisis y discusión de resultados.....	28
9.1	Identificación de genes que confieran resistencia al ataque de las diferentes razas del hongo causante de la roya del frijol.....	33
9.2	Identificación de nuevas razas de roya del frijol.....	34
9.3	Determinación de, si la variedad Compuesto Negro Chimaltenango sigue siendo el mejor genotipo al ataque de la roya del frijol.....	34
10	Conclusiones.....	36
11	Recomendaciones.....	37
12	Bibliografía.....	38
Anexos		
1	Ubicación geográfica de las doce localidades donde se realizará la investigación.....	44
2	Producción, área cosechada, rendimiento y comercio exterior de Frijol Negro en Guatemala.....	55
3	Escala para la evaluación de las reacciones resultantes de la interacción entre la planta de frijol y el patógeno de la roya del frijol.....	55
4	El conjunto de variedades diferenciales de frijol propuestas en el Tercer Seminario Internacional De La Roya Del Frijol llevado a cabo en Sudáfrica en el año 2002 y sus características.....	56
5	Ciclo biológico de la roya del frijol.....	56
6	Infección de la roya del frijol en los distintos órganos de la planta.....	57
7	Imágenes del trabajo de campo.....	60
8	Diagrama de investigación.....	65
9	Escala graduada para medición de pústulas de roya del frijol.....	66
10	Glosario.....	67

Índice de cuadros

Cuadro 1 Grados de reacción a la enfermedad por parte de las doce variedades diferenciales en las doce localidades donde se realizó la investigación..	28
Cuadro 2 Razas fisiológicas de roya del frijol identificadas en doce localidades del altiplano de Guatemala	29
Cuadro 3 Patrones de virulencia de las razas de roya del frijol identificadas en las 12 localidades	31
Cuadro 4 Distribución del comportamiento (resistencia o susceptibilidad) de las variedades diferenciales en las localidades bajo investigación	33

1 Introducción

La roya del frijol, es una enfermedad causada por el hongo *Uromyces appendiculatus* (Pers.: Pers.) Unger (sinónimo *U. Phaseoli*), su principal característica es la formación de pústulas color pardo rojizo en el haz y en el envés de las hojas aunque puede infectar tallos y vainas de la planta de frijol, si el ataque es muy severo puede provocar la defoliación total de la planta y ocasionar pérdidas considerables a la hora de la cosecha.

El control de esta enfermedad se ha basado en la utilización de fungicidas, que solo hacen que aumenten los costos de producción y además causan daños al ambiente, también se han utilizado prácticas culturales como rotación de cultivos, eliminación de residuos y siembra con densidades bajas pero no siempre funcionan, el difícil control de esta enfermedad se debe a que tiene una capacidad de virulencia muy amplia pues es un hongo genéticamente variable con numerosas razas fisiológicas, el control que mejor ha dado resultado es el control genético el cual busca genes de resistencia en contra de las diferentes razas del patógeno, además, este control tiene la ventaja de no causar efectos dañinos en el ambiente.

En Guatemala, nunca se ha realizado una investigación profunda sobre la identificación de razas fisiológicas de roya del frijol. Yoshii, K y Cojulún, R. (1977) realizaron una investigación en la que solamente demostraban la existencia de algunas razas de roya del frijol utilizando la metodología propuesta por Davison y Vaughan (actualmente en desuso). Este hecho motivó a realizar la presente investigación, además de establecer bases para futuros programas de mejoramiento genético que buscan resistencia a esta enfermedad especialmente para el altiplano guatemalteco.

Los objetivos de la investigación fueron identificar las razas de roya presentes en doce localidades del altiplano de Guatemala, Identificar genes que confieran resistencia al ataque de las diferentes razas del hongo causante de la roya del frijol para el altiplano de Guatemala, identificar razas nuevas y determinar

si la variedad Compuesto Negro Chimaltenango sigue siendo el genotipo con mayor resistencia a la roya del frijol.

La investigación se realizó en 1) **Aldea Piedra Grande**, 2) **Caserío Ixcá**, 3) **Caserío Llano Grande** del Municipio de San Pedro Sacatepéquez; 4) **Aldea Candelaria Siquival**, 5) **Centro de San Antonio Sacatepéquez**, 6) **Cantón Tojchiná**; del Municipio de San Antonio Sacatepéquez; ambos Municipios del Departamento de San Marcos, 7) **Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA) Labor Ovalle**, 8) **Municipio de Cajolá**, 9) **Municipio de San Francisco La Unión**; del Departamento de Quetzaltenango; 10) **Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA) La Alameda**, 11) **Municipio de Parramos** y 12) **Municipio de Tecpán Guatemala**; del Departamento de Chimaltenango.

Se empleó el método que consiste en la utilización de doce variedades diferenciales de frijol, seis de origen mesoamericano y seis de origen andino, las cuales poseen cada una genes específicos de resistencia contra la roya. Se inocularon dichas variedades con roya del frijol de cada localidad y posteriormente se analizaron los síntomas presentados por las variedades diferenciales, identificándose las razas fisiológicas de roya presentes. Utilizar

2 Definición del problema

La roya es una de las enfermedades más comunes del cultivo de frijol en el altiplano de Guatemala, se estima que para Centroamérica la disminución del rendimiento a causa de esta enfermedad es del 25% (15) lo cual trae serias consecuencias debido a que el frijol es de uno de los granos básicos de la dieta de la población guatemalteca. (3)

El centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) define a la roya como una enfermedad que ocasiona reducciones considerables en la cosecha de frijol, asimismo indica que las pérdidas ocasionadas por este hongo pueden explicarse por la gran cantidad de esporas que produce y además por la **aparición constante de nuevas razas** de este hongo lo que propicia que cada vez sea mayor el número de variedades susceptibles. También señala que la susceptibilidad a la roya por parte de las distintas variedades ha llevado a la utilización de productos químicos para el control de la enfermedad lo que se convierte en gastos extras que disminuyen la rentabilidad del cultivo y dañan el ambiente. El daño que causa es defoliación de la planta y esto ha reducido los rendimientos de la cosecha en un 38-50% en Brasil, un 25% en Perú y de 40-80% en los Estados Unidos de Norteamérica (CIAT).

El Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA) señala que en el altiplano guatemalteco, las temperaturas medias durante la época de producción del frijol oscilan entre 16 y 20 °C. Y la precipitación alrededor de 1000 mm. En esas condiciones, el desarrollo de hongos patógenos como la roya es uno de los problemas de campo más graves.

Las variedades que el ICTA recomienda para el altiplano de Guatemala son HUNAPÚ, ALTENSE y TEXEL debido a su alta producción que va de 15 a 30 quintales por manzana (ICTA), pero, la siembra continua de una misma variedad resistente casi siempre favorece la aparición de una nueva raza capaz de vencer esta resistencia (CIAT).

Una forma de controlar esta enfermedad es la búsqueda de resistencia genética horizontal la cual confiere resistencia parcial a la enfermedad contra varias razas del patógeno, pero en Guatemala nunca se ha realizado una investigación profunda sobre razas de roya del frijol, por lo que se carece de información sobre la variabilidad de este patógeno, lo cual hace que el trabajo de búsqueda de líneas de frijol resistentes sea más caro y dificultoso.

Por lo tanto debemos saber que razas son las que se encuentran en las áreas del altiplano donde se siembra frijol, para empezar a realizar trabajos de fitomejoramiento en busca de dicha resistencia, por lo que debemos hacernos la siguiente pregunta **¿Cuáles son las razas fisiológicas de la roya del frijol presentes en el altiplano de Guatemala?**

3 Justificación

La roya del frijol es una de las enfermedades más comunes en el altiplano de Guatemala, su importancia radica en la alta variabilidad genética que posee y a la aparición constante de nuevas razas fisiológicas, lo cual hace que las variedades de frijol se vuelvan susceptibles a esta enfermedad y por lo tanto su rendimiento se ve mermado.

El cultivo de frijol es sembrado en las regiones suroriental, nororiental, centro y suroccidental, en estas últimas uno de los principales problemas debido a las temperaturas (16 a 20 °C) y a la alta humedad atmosférica es la aparición de enfermedades fungosas (Voysesst, V. O). Una de las más importantes es la roya del frijol (*Uromyces appendiculatus*) la cual **ocasiona defoliación de la planta y reduce el rendimiento de la cosecha de un 25 a 80%**. (CIAT)

En la región del altiplano guatemalteco los materiales más cultivados son criollos los cuales son muy susceptibles a enfermedades y de bajos rendimientos. El Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA) recomienda sembrar las variedades liberadas por ellos, las cuales son: Hunapú, Altense y Texel (ICTA); estas son muy rendidoras pero el continuo cultivo de las mismas variedades hace que aparezcan nuevas razas fisiológicas de la roya del frijol por lo que su resistencia se ve mermada y la variedad se hace susceptible a la enfermedad. (CIAT)

Por lo anterior se debe realizar una identificación de las razas fisiológicas de la roya del frijol presentes en el altiplano de Guatemala y así conocer el número de razas presentes, e identificar posibles nuevas razas para proporcionar bases para la realización de proyectos de mejoramiento genético de frijol en busca de resistencia a las razas que se encuentren y a las posibles nuevas razas que se logren identificar.

4 Marco teórico

4.1 El cultivo de frijol en Guatemala

El cultivo de frijol está extendido prácticamente por todo el país. La región más importante por su aporte a la oferta nacional de frijol es la región **sur-oriental**, que comprende los departamentos de Jutiapa, Jalapa y Santa Rosa. La sigue, en orden de importancia, la región **nororiental** conformada por los departamentos de Izabal, Zacapa, El Progreso y Chiquimula; luego siguen la región **central**, que corresponde a los departamentos de Chimaltenango, Sacatepéquez y Escuintla, la región **noroccidental** que comprende los departamentos de Huehuetenango y el Quiché y la región **suroccidental**, que abarca los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango, Totonicapán, Sololá, Retalhuleu y Suchitepéquez. En los últimos años, la frontera agrícola frijolera se ha expandido a la región norte integrada por los departamentos de Alta y Baja Verapaz y a la región del Petén (ver anexo 2). En todo el país el frijol de mayor preferencia es el de grano negro.(29)

En el altiplano guatemalteco, las temperaturas medias durante la época de producción del frijol oscilan entre 16 y 20° C. Y la precipitación alrededor de 1000 mm. Bajo esas condiciones, el desarrollo de hongos patógenos es uno de los problemas de campo más graves. Son muy severos los ataques de ascochita (*Ascochyta boltshauseri*), de la roya del frijol (*Uromyces appendiculatus*), y de la antracnosis del frijol (*Colletotrichum lindemuthianum*). (11)

4.2 La roya del frijol en Guatemala

Es una de las enfermedades más importantes en el cultivo del frijol tanto en el suroriente como en el altiplano de Guatemala. Yoshii, K y Cojulún, R.(1977) realizaron una investigación en los departamentos de Jutiapa y Chimaltenango sobre la existencia de distintas razas fisiológicas de la roya del frijol en la cual evidenciaron la presencia de distintas razas en ambas localidades.(30)

4.3 La roya del frijol

4.3.1 Origen

La roya fue detectada por primera vez en Alemania en 1795, y desde entonces ha sido encontrada en casi todos los países del mundo donde se cultiva el frijol.(10)

4.3.2 Clasificación taxonómica

Reino: Fungi

Clase: Pucciniomycetes

Orden: Pucciniales

Familia: Pucciniaceae
Género: Uromyces
Especie: *appendiculatus* (28)

4.3.3 Distribución geográfica

El ataque de la roya es más severo en las áreas tropicales y subtropicales, tales como México, Brasil, Centro América, Colombia y el Este de África.(10)

4.4 Importancia económica

Cuando el ataque en la floración es muy severo, puede haber defoliación prematura así como una disminución drástica en la formación y el llenado de las vainas.(2) Las pérdidas en rendimiento están alrededor del 25% en el área de Centroamérica(15) en otros países se ha determinado una disminución de 38-50% en Brasil, 25% en Perú, de 40-80% en Estados Unidos,(10) en México se ha reportado disminuciones de hasta 80%.(16)

4.4.1 Sintomatología

Uromyces appendiculatus afecta principalmente las hojas del frijol, aunque también ataca las vainas y en ocasiones los tallos y las ramas (ver anexo 6). (10)

La infección inicial puede presentarse en el haz o en el envés de las hojas, pero generalmente los síntomas aparecen primero en el envés y son pequeñas manchas de color blanco, que al crecer, forman ligeras elevaciones conocidas con el nombre de soros o pústulas, las cuales, a los pocos días, ya se han formado en ambos lados de la hojas.(10) Estas pústulas, que tienen apariencia de herrumbre y color oscuro, contienen miles de esporas microscópicas llamadas uredosporas; las pústulas son de tamaño variable, pueden llegar a tener de 1 a 2 mm de diámetro en las variedades susceptibles y a veces se encuentran rodeadas de un halo amarillo y de pústulas secundarias. (10,19)

En las plantas muy afectadas por el hongo, las pústulas cubren una buena porción de la superficie foliar (10) y pueden estar rodeadas por un borde amarillo (15); las hojas se ponen amarillas y se desprenden de la planta. (10)

Hacia el final del ciclo del cultivo, es decir, cuando las plantas ya están maduras y las hojas empiezan a caer, las teliosporas, esporas tardías, pediceladas, perdurables y de color negro que ya no germinan sobre las hojas del hospedante, reemplazan las uredosporas.(10) La roya del frijol no es transmitida por semilla. (22)

4.4.2 Organismo causante

El organismo causante de la roya del frijol es el hongo *Uromyces appendiculatus* (Pers.: Pers.) Unger. (23) la infección es favorecida por

temperaturas entre 17-27° C y humedad relativa cerca del 95% durante 10 a 18 horas por día. (27)

4.4.2.1 Morfología y fisiología

El hongo *Uromyces appendiculatus* es un parasito obligado, que no puede vivir de forma independiente de su huésped el frijol. Este hongo no puede cultivarse en medios artificiales en el laboratorio. Completa su ciclo de vida únicamente en el frijol, por lo que es una roya autoica. También es macrocíclica, es decir, que produce varios tipos diferentes de esporas que incluyen a las uredosporas, teliosporas, basidiosporas, picniosporas y aeciosporas. (19)

4.4.2.2 Ciclo biológico

De acuerdo con Zaumeyer, Thomas y Vargas, el ciclo completo de la enfermedad, consta de un ciclo primario y un ciclo secundario (ver anexo 5). (10)

4.4.2.2.1 Ciclo primario

El ciclo primario de la enfermedad comienza con la germinación de las teliosporas. Estas producen un promicelio y a su vez originan cuatro esporidias o basidiosporas, dos positivas y dos negativas en cuanto a la sexualidad; las cuales llevadas por el viento, se depositan sobre las hojas tiernas de la planta de frijol, sitio de infección. Bajo condiciones favorables de humedad, las esporidias germinan y su micelio se establece en los tejidos parenquimatosos de las hojas afectadas. Como resultado de esta infección, aparecen los picnios; estos tienen sexualidad positiva o negativa. Un picnio (+) necesita recibir una picniospora (-) de otro picnio para que se realice la fertilización. Después se desarrollan los aecios en el envés de las hojas; tienen forma de copa y producen gran cantidad de aeciosporas. (10)

Las aeciosporas diseminadas por el viento caen sobre otras hojas de la misma planta o sobre otras plantas, germinan y producen las pústulas, las cuales a su vez forman las uredosporas. Este es el estado más conocido de la enfermedad. (10)

4.4.2.2.2 Ciclo secundario

Las uredosporas diseminadas por el viento, caen sobre otras hojas e inician nuevas infecciones con la producción de más pústulas y uredosporas. Hacia el final del período vegetativo de la planta, cesa la producción de uredosporas y se inicia la formación de teliosporas en las telias, con lo cual finaliza el ciclo secundario. (10)

4.4.2.3 Características de los diferentes estados del patógeno

Las uredosporas, producidas en gran número en los soros o pústulas, sobre el haz o el envés de las hojas germinan inmediatamente después de madurar;

bajo condiciones favorables pueden producir otra generación de su misma clase en 10 o 15 días y al ser diseminadas a grandes distancias, originan otros ciclos de infección y epidemias severas. (10)

Las uredosporas son de color bronceado claro, espinosas, uniceluladas, de pared delgada, de forma globosa o elíptica y su tamaño varía de 22 a 28 micras. (10)

Las teliosporas son de color pardo oscuro o negro, uniceluladas, de pared gruesa y forma elíptica; su tamaño varía de 24 a 30 micras y su función es mantener vivo el patógeno de una estación a otra, o bajo condiciones adversas. (10)

4.4.3 Epidemiología

Son mayores las probabilidades de que se presente una infección de roya en localidades donde una alta humedad persiste durante 8 a 10 horas. En zonas secas la infección rara vez ocurre. Las temperaturas que permiten el desarrollo de este hongo y la infección del cultivo están entre 17 y los 27° C. las temperaturas mayores de 32° C pueden destruir el patógeno y las menores de 15° C retardar su desarrollo. (10)

Las uredosporas pueden sobrevivir bajo condiciones favorables de campo aproximadamente 60 días. Algunas veces la incidencia de la roya del frijol es menor en monocultivos de frijol que en asociaciones con maíz. Esta diferencia posiblemente está determinada por la mayor humedad relativa de la asociación frijol-maíz. (10)

4.4.4 Patogenicidad

La frecuencia de aparición de las razas de roya varía año tras año en una misma localidad y entre localidades vecinas. La raza B11 de roya identificada en Río Grande do Sul en 1965, disminuyó su frecuencia de aparición en 1966 y desapareció en 1967; reapareció en 1968 y su frecuencia aumentó un 41% entre 1969 y 1970. En Cuba, la variedad de frijol 25-9 que era la más difundida y de más altos rendimientos, se volvió susceptible a la roya debido a variaciones del patógeno. (10)

4.4.5 Diseminación

El hongo *Uromyces appendiculatus* puede ser diseminado a distancias cortas por accesorios agrícolas, insectos y animales vertebrados; a grandes distancias el principal agente diseminador es el viento. El hongo no es transmitido por la semilla. (10)

4.4.6 Control

El control de la roya se puede realizar mediante: aplicación de productos químicos, uso de prácticas culturales y obtención de resistencia de la planta. (10)

4.4.6.1 Control químico

El control químico es más efectivo cuando inicia el problema, en las etapas iniciales de los síntomas. Los productos más usados son: Oxicarboxin, Mancozeb, Maneb y Cloratomil. La aplicación de fungicidas es más efectiva en el frijol ejotero, ya que la mayoría de variedades de frijoles ejoteros son susceptibles a enfermedades. (2)

4.4.6.2 Control cultural

4.4.6.2.1 Rotación de cultivos

El frijol no debe sembrarse en sitios donde en el período anterior haya habido un cultivo de frijol altamente infectado, ni cerca de cultivos que hayan presentado roya. (2,15)

4.4.6.2.2 Aireación en el cultivo

Cuando se hace un espaciamiento apropiado entre plantas y se mantiene el campo limpio de malezas se consigue una adecuada aireación, lo cual impide que alrededor de las plantas la atmósfera se sature de humedad especialmente durante la estación lluviosa, condición que favorece el ataque. (2,15)

4.4.6.2.3 Eliminación de residuos

Se recomienda eliminar los residuos de cosecha los cuales pueden contener uredosporas y teliosporas que se pueden constituir en fuente de inóculo. (2,15)

4.4.6.3 Variedades resistentes

La obtención de variedades resistentes a la roya es posible; lo difícil es que esta resistencia sea permanente y a todas las razas del citado hongo, ya que la siembra continua de una misma variedad resistente casi siempre favorece la aparición de una nueva raza capaz de vencer esta resistencia. (10) La resistencia del frijol a la infección por *U. appendiculatus* está regulada por al menos 11 genes denominados Ur-3, Ur-4, Ur-5, Ur-6, Ur-7, Ur-9, Ur-11, Ur-12, Ur-Ouro Negro, más otros dos aún no denominados, los cuales confieren resistencia a múltiples razas en función de la combinación presente, lo cual indica que están organizados en grupos y que el tipo de resistencia es específica de razas. (16)

4.5 Razas fisiológicas del hongo *Uromyces appendiculatus*

El patógeno roya del frijol (*U. appendiculatus*) está considerado como uno de los de mayor variabilidad en cuanto a virulencia. A menudo, existen cepas con

diferente virulencia en el campo. Diferentes cepas del patógeno de la roya se caracterizan por su espectro de virulencia mediante la inoculación de ellos en un conjunto de variedades de frijol diferenciales, a cada una de las variaciones de estas se les llama raza. (19)

Numerosas razas de *U. appendiculatus* han sido reportados en la literatura (19), para el año 1996 se habían reportado más de 300 razas de dicho hongo en todo el mundo (5). Estas razas se definen por los grados de reacción que provocan en cada variedad diferencial. En esencia, cada raza del patógeno de la roya del frijol es un fenotipo de virulencia. (19)

Fitopatólogos trabajando con frijol en el primer cuarto del siglo 20 encontraron que el patógeno de la roya del frijol tenía una diversidad alta de virulencia. Para comprender y estimar a esta diversidad, diferentes científicos de frijol generaron una gran diversidad de cultivares diferenciales para caracterizar sus aislamientos de roya. Muchas razas del patógeno fueron publicadas en diferentes países como Estados Unidos, Australia, Brasil, Colombia, México, Perú y otros. (19)

Así, Fromme y Wingard en 1921 informaron sobre la posible ocurrencia de dos razas del hongo causante de la roya en el frijol. Una en los Estados Unidos de Norte América y la otra en Sur América. En 1935 Harter, Andrus y Zaumeyer informaron la existencia de dos razas fisiológicas del hongo. En 1939 Harter anunció la existencia de trece razas fisiológicas. Harter y Zaumeyer en 1941 propusieron un método para la identificación de las razas fisiológicas del hongo causante de la roya del frijol y distinguieron 20 razas. Este método de identificación se basó en el tamaño de las pústulas que ocurren después de 14 días de inoculado el hospedero. (4, 9, 10)

Usando el sistema de identificación desarrollado por Harter y Zaumeyer, Fisher identificó las razas 21 a la 30, Sappenfield la raza 31 y Zaumeyer la raza 32. Hikida la raza 33 y Goode la raza 34. (9)

En México los trabajos de Crispín y Dongo efectuados en 1962 resumen a 31 el total de razas fisiológicas encontradas en ese país, los cultivares diferenciales usados en México no fueron los mismos que se utilizaron en los Estados Unidos de Norte América. (4, 9, 10)

Cada uno de estos investigadores utilizó su propio conjunto de variedades diferenciales, su propia escala de evaluación para anotar las reacciones observadas, y su propio sistema para nombrar a estas razas. Como resultado, muchas de las razas nombradas y publicadas que se encontraron en los diferentes países no podían compararse con los demás. Por lo tanto, había necesidad de

crear un conjunto uniforme de cultivares diferenciales para la evaluación sistemática de la variabilidad del patógeno y la creación de la nomenclatura para nombrar a las distintas razas. (19)

4.6 Las variedades diferenciales en la identificación de razas fisiológicas de la roya del frijol

El origen de frijol indica que proviene de una diversidad de lugares, se hizo evidente que el conjunto de variedades diferenciales utilizadas anteriormente consistían principalmente en cultivares de frijol del acervo genético mesoamericano. (19)

Además, la nueva información acerca de la diversidad del patógeno de la roya del frijol reveló que esta diversidad también se puede separar en dos grupos diferentes, uno de los Andes y otro de Mesoamérica, que corresponden a los acervos genéticos andinos y Mesoamericanos del huésped. Razas andinas del patógeno de la roya infectan principalmente solo cultivares andinos de frijol. Estas razas son comunes en los países andinos de América del Sur, en el Este y Sur de África, donde crecen granos andinos. Por el contrario, las razas de Mesoamérica infectan las reservas genéticas de ambos. Estas razas son frecuentes en Brasil, América Central y México, y muchos lugares donde se siembran frijoles mesoamericanos. (19)

Estos resultados, sugirieron la necesidad de más variedades diferenciales de frijol andinos y una separación de las razas del patógeno en andinas y mesoamericanas. (19)

Durante el Tercer Seminario Internacional De La Roya Del Frijol en Sudáfrica en 2002, se propusieron un nuevo conjunto de cultivares diferenciales. En esta reunión se acordó que el nuevo conjunto estaría formado por 12 variedades diferenciales de frijol, seis andinas y seis mesoamericanas. También se acordó que las seis variedades de frijol andinas se mencionarían en el orden siguiente: 1. Early Gallatin; 2. Redlands Pioneer, 3. Montcalm; 4. Pompadour Checa 50 (PC 50), 5. Golden Gate Wax, y 6. PI 260418. El segundo grupo de cultivares provenientes de Mesoamérica se ordenarían de la siguiente manera: 1. Great Northern (GN) 1140, 2. Aurora, 3. México 309, 4. México 235; 5. Compuesto Negro Chimaltenango (CNC), y 6. PI 181996. También se acordó continuar con la misma escala de calificación estándar aceptado en la reunión de 1983 en Puerto Rico (ver anexo 4). (19)

4.7 Evaluación de la reacción de las plantas de frijol al patógeno de la roya

Las evaluaciones de las reacciones de las plantas de frijol al patógeno de la roya se pueden realizar bajo condiciones de invernadero o de campo. La mayoría de las evaluaciones bajo condiciones de invernadero se realizan normalmente con el objetivo de identificar nuevas razas del patógeno de la roya, realizar estudios de diversidad de virulencia, identificar plantas de frijol con cierto gen o genes de resistencia a la roya, estudiar la herencia de un nuevo gen de resistencia a la roya, y otros estudios sobre la interacción entre el patógeno de la roya del frijol y su huésped vegetal. (19)

Los grados de reacción son evaluados mediante una escala de 1-6 como sigue: Grado 1 = inmune, sin síntomas visibles; 2 = manchas necróticas, sin esporulación esta reacción altamente resistente es la reacción llamada hipersensibilidad o HR, donde 2 = manchas necróticas menores de 0,3 mm de diámetro, 2 + = manchas necróticas de 0.3 a 1.0 mm de diámetro, 2 + + = manchas necróticas de 1.0 a 3.0 mm de diámetro, 2 + + + = manchas necróticas mayores a 3,0 mm de diámetro, respectivamente; 3 = resistente; uredinios - lesiones esporuladas - menos de 0.3 mm de diámetro; 4 = uredinios de 0.3 a 0.5 mm de diámetro; 5 = uredinios de 0.5 a 0.8 mm de diámetro, y 6 = uredinios mayores a 0.8 mm de diámetro. Cuando varios grados de pústulas están presentes, se registran en orden de importancia con el tipo más frecuente que aparece en primer lugar (ver anexo 3). (19)

4.8 Sistema binario para nombrar a las razas de *U. appendiculatus*.

Para nombrar a las razas de *U. appendiculatus* se utiliza un "sistema binario". En este sistema a cada variedad diferencial se le asigna un valor numérico. El valor de cada una de las seis variedades andinas y Mesoamericanas de 1 a 6 es: 1, 2, 4, 8, 16 y 32, respectivamente. La designación de cada raza de la roya tiene dos dígitos separados por un guión. El primer dígito se obtiene de la suma de los valores para cada una de las variedades diferenciales susceptibles andinas. (19, 27)

El segundo dígito es el resultado de sumar los valores de cada una de las variedades diferenciales mesoamericanas. Por ejemplo, si un aislamiento de roya es compatible con los cultivares andinos Early Gallatin (valor binario es 1), Redlands Pioneer (2) y Golden Gate Wax (16) y con las variedades mesoamericanas GN 1140 (1) y Aurora (2) e incompatible (resistente) con los otros cultivares, la "nueva" raza será nombrada 19-3. (19,27)

4.9 Edad del hospedero

Según Wei (1937) citado por Chisten (1966), en las royas, cuando el tejido del hospedero es viejo, la infección tiende a disminuir. No así en el caso de la roya del frijol, ya que entre las hojas viejas y las jóvenes no se encuentra diferencia entre el grado de infección. (9)

4.10 Hojas primarias versus hojas trifoliadas

Davison (1962) citado por Chisten (1966) en un estudio comparativo entre hojas primarias y trifoliadas, encontró que cuando se usan los cultivares diferenciales, la reacción es la misma tanto en hojas primarias como en las trifoliadas, pero que en muchos de los cultivares comerciales existen diferencias entre la reacción de las hojas primarias y las trifoliadas. Basándose en esto, Davison recomendó las hojas primarias para la determinación de razas fisiológicas y las primarias y trifoliadas en las pruebas de resistencia de los cultivares. (9)

4.11 Número de repeticiones de variedades diferenciales

Steadman et al., (2002) recomienda replicar cuantas veces sea necesario. (19) Arunga et al., (2012) en su investigación sobre identificación de razas de roya del frijol en Kenia utilizó dos réplicas por cada variedad diferencial para obtener resultados consistentes. (7)

4.12 Inoculación

Christen Verdeguer, RG. (1966) utilizó 10 ml de suspensión de esporas por cada 5 plantas de las variedades diferenciales. Utilizó un atomizador y una bomba portátil eléctrica, la boquilla del atomizador se mantuvo aproximadamente a 30 cm. De las plantas con lo cual logró una atomización uniforme sin llegar al escurrimiento. La suspensión de esporas se aplicó tanto en el haz como en el envés de las hojas primarias. (9) También se puede realizar mediante la colocación de las variedades diferenciales en un campo infectado con roya del frijol y esperar a que la inoculación sea realizada por el viento. (26)

4.13 Resistencia genética a roya en la variedad Compuesto Negro Chimaltenango

Rasmussen, JB, et al. (2002) estudiaron la resistencia genética de la variedad Compuesto Negro Chimaltenango (CNC), llegaron a la conclusión de que su resistencia es eficaz contra todas las razas de roya de frijol descubiertas en los Estados Unidos. Por lo que recomiendan utilizar esta fuente de resistencia en combinación con la del gen Ur-3. En su investigación indicaron que CNC tiene un solo gen dominante, este tipo de gen es común encontrarlo en plantas como el trigo y el lino donde la resistencia es controlada por genes dominantes que se ajustan al modelo gen-por-gen. Aunque otra posibilidad es que la capacidad de

CNC para resistir múltiples razas resulte de la presencia de múltiples genes en línea.(21)

4.14 Variedad de frijol TEXEL

Variedad de grano negro, se puede cosechar de 100 a 110 días después de la siembra. Es la variedad más precoz. Su crecimiento es arbustivo postrado. Tiene alrededor de 12 a 15 vainas por planta y seis semillas por vaina. Es tolerante a Ascochita pero **altamente susceptible a Roya**. Rinde alrededor de 15 quintales por manzana. (2)

5 Marco referencial

5.1 Ubicación del ensayo No. 1

5.1.1 Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas “Labor Ovalle” (18)

Está ubicado en el municipio de Olinstepeque, departamento de Quetzaltenango a 203.5 Km. De la ciudad Capital, a 3.5 Km. De la cabecera departamental de Quetzaltenango y a 2 Km. De la cabecera municipal de Olinstepeque. Las coordenadas son: Latitud norte 14°52'16” y longitud oeste 91°30'52”

5.1.2 Extensión

Posee una extensión territorial aproximada de 21.02 Ha, divididas en 7.81 Ha para instalaciones y 13.21 Ha para campos de investigación y producción.

5.1.3 Vías de acceso

Cuenta con una vía de acceso, que la conduce al municipio de Olinstepeque, siendo esta la carretera interamericana, que va al municipio de San Carlos Sija.

5.1.4 Clima

Según la estación meteorológica del INSIVUMEH Labor Ovalle, la estación experimental ICTA “Labor Ovalle” se encuentra a una altura de 2,380 msnm, teniendo predominancia de viento y baja temperatura en la época seca del año.

5.1.4.1 Temperatura

Varía dependiendo de la época del año, teniendo una temperatura media mensual de 13.8° C, temperatura máxima mensual de 21.9° C y una temperatura mínima mensual de 5.9° C.

5.1.4.2 Precipitación pluvial

La precipitación pluvial anual registrada en la región según la estación meteorológica Labor Ovalle varía de 2000 a 2500 mm distribuidos generalmente en los meses de abril y octubre.

5.1.4.3 Zona de vida

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

5.2 Ubicación del ensayo No. 2

5.2.1 Municipio de Cajolá, Quetzaltenango (8)

Localizado a 217 kilómetros de la ciudad capital de Guatemala y a 16 kilómetros de la cabecera departamental, situado a 2,510 msnm, sus coordenadas son 14°55'17” de latitud y 91°36'53” de longitud.

5.2.2 Vías de acceso

Tiene accesos asfaltados por tierra fría y por la Costa Sur, por la carretera CA-1 y CA-9, las dos carreteras tienen comunicación directa con el departamento de Quetzaltenango.

5.2.3 Condiciones climáticas

Predomina un clima templado y frío, con temperatura máxima promedio anual de 22 °C y un promedio anual de temperatura mínima de 6 °C, presenta una notoria variación en la precipitación pluvial, lo cual provoca que se den solamente dos épocas bien definidas, el invierno y el verano. El promedio de precipitación pluvial anual es de 50 mm.

5.2.4 Zona de vida

Pertenece a dos zonas de vida, bosque muy húmedo montano bajo subtropical y bosque húmedo montano bajo subtropical.

5.3 Ubicación del ensayo No. 3

5.3.1 Municipio de San Francisco La Unión, Quetzaltenango (12)

El municipio de San Francisco La Unión se encuentra situado en la parte norte del departamento de Quetzaltenango, ubicado en las coordenadas: 14°55'28" de latitud norte y 91°32'35" de longitud oeste. Ubicada a 2770 msnm.

5.3.2 Vías de acceso

Se encuentra a una distancia de 15 kilómetros de la cabecera departamental de Quetzaltenango, cuenta con carretera asfaltada transitable todo el año y existe buen servicio de transporte hacia la cabecera departamental.

5.3.3 Condiciones climáticas

El clima que prevalece en San Francisco La Unión es frío, principalmente en los meses de noviembre a abril de cada año, se marcan dos épocas (lluviosa y seca). Los registros por parte del INSIVUMEH reportan que la temperatura oscila entre: mínima -2 a 0 °C y máxima de 21 a 27 °C y una media de 13 a 15 °C, la cual varía de acuerdo a la época del año. Su precipitación anual es de 1,500 a 2,500 mm, humedad relativa de 75% y evapotranspiración media de 4.4 mm.

5.3.4 Zonas de vida

El municipio se encuentra en dos zonas de vida, un 45% aproximadamente del territorio en la zona bosque muy húmedo montano bajo subtropical (bmh-MB) y un 55% en la zona bosque húmedo montano bajo subtropical (bh-MB).

5.4 Ubicación del ensayo No. 4

5.4.1 Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas “La Alameda” (6)

Se encuentra localizado en la región central de la República de Guatemala, en el departamento de Chimaltenango, a una distancia de 53 Km. De la ciudad Capital. Se localiza en las siguientes coordenadas: 14°39'30" de latitud Norte y 90°49'30" de longitud Oeste, con una altura de 1,786 msnm.

5.4.2 Vías de acceso

Se cuenta con carretera asfaltada de 53 Km. Desde la ciudad Capital, y a una distancia de 3 Km. De la cabecera departamental y con comunicación de terracería a la carretera principal que conduce a La Antigua Guatemala.

5.4.3 Condiciones climáticas

En cuanto a las condiciones climáticas que se presentan en el área experimental, están las siguientes:

Precipitación anual 1244 mm

Temperatura media anual 22.6° C

Temperatura máxima anual 25.6° C

Temperatura mínima anual 5.8° C

5.4.4 Zona de vida

Pertenece a la zona de vida clasificada como Bosque muy Húmedo Montano Bajo Subtropical.

5.5 Ubicación del ensayo No. 5

5.5.1 Municipio de Tecpán Guatemala, Chimaltenango (20)

El municipio está a 89 kilómetros de la ciudad de Guatemala y a 34 de la cabecera departamental. Posee una extensión territorial de 201 kilómetros cuadrados que representa el 10% del territorio del departamento, sus coordenadas son: latitud: 14°45'37", longitud 90°59'30", con una altura de 2,286.14 msnm.

5.5.2 Vías de acceso

La vía de acceso hacia el municipio es sobre la carretera Interamericana CA-1, se encuentran dos entradas una denominada la Virgen en el kilómetro 87 y en el kilómetro 87.7 la entrada por la aldea Cipresales.

5.5.3 Condiciones climáticas

La temperatura máxima anual es de 22.6 °C; mínima de 9.1 °C y el promedio anual es de 16.1 °C. En los meses de diciembre a febrero, se experimentan descensos en la temperatura ambiente, con un promedio de 6.3 °C.

5.5.4 Zona de vida

Pertenece a una zona de vida bosque húmedo, montano bajo subtropical.

5.6 Ubicación del ensayo No. 6

5.6.1 Municipio de Parramos, Chimaltenango (13)

Está ubicado al sureste del departamento de Chimaltenango, a 60 kilómetros de la Ciudad Capital, y a 7 kilómetros de la cabecera departamental de Chimaltenango. Sus coordenadas son: latitud: 14°36'30", longitud 90°48'08". Ubicado a 1,769 msnm.

5.6.2 Vías de acceso

De Chimaltenango a Parramos, la carretera que conduce a Antigua Guatemala. De Guatemala a Parramos la carretera Interamericana y se cruza por la carretera que conduce a Antigua Guatemala.

5.6.3 Condiciones climáticas

Es de clima frío y sus temperaturas promedian los 15 °C, la humedad es de 45% y con una precipitación pluvial promedio anual de 8,000 mm/año.

5.6.4 Zona de vida

Se ubica entre dos zonas de vida, bosque húmedo montano bajo subtropical y bosque muy húmedo montano bajo subtropical.

5.7 Ubicación del ensayo No. 7

5.7.1 Aldea Piedra Grande, San Pedro Sacatepéquez (18)

5.7.1.1 Ubicación geográfica

Está ubicada a una altitud que va desde 2,400 msnm en la parte más baja, 2,500 msnm en la parte media y 2,600 msnm en la parte alta. Se localiza en las siguientes coordenadas: 21°50'55" latitud norte y 91°46'35" longitud oeste.

5.7.1.2 Extensión

La aldea posee una extensión territorial de 16 kilómetros cuadrados.

5.7.1.3 Vías de acceso

El centro de esta aldea está muy cercana a la cabecera departamental de San Marcos, cuenta con dos entradas principalmente: una por el Cantón el Mosquito; y la otra por Aldea San Francisco Soche.

5.7.1.4 Climatología

El clima de la aldea es frío, la temperatura máxima alcanza los 27° C y la temperatura mínima los 2° C.

5.8 Ubicación del ensayo No. 8

5.8.1 Caserío Ixcá, San Pedro Sacatepéquez

Ubicado al norte del Centro del Municipio de San Pedro Sacatepéquez, sus coordenadas son: 14°58'41" latitud norte y 91°46'55" longitud oeste, está ubicado a 2,357 msnm. (14)

5.8.2 Vías de acceso

Cuenta con dos entradas principalmente, la principal es por el Caserío Cruz Verde y la otra por Aldea La Grandeza. La carretera por la entrada principal está pavimentada y es transitable todo el año; la entrada por Aldea La Grandeza es empedrada y transitable todo el año.

5.8.3 Climatología

El clima del Caserío es frío, con temperatura media máxima de 21° C y temperatura media mínima de -5° C y una temperatura media anual de 13°C. (17)

5.9 Ubicación del ensayo No. 9

5.9.1 Caserío Llano Grande, San Pedro Sacatepéquez

Ubicado al sureste de la Cabecera Municipal, se encuentra ubicado en las coordenadas: 14°56'13" latitud norte y 91°45'03" longitud oeste, está ubicado a 2,094 msnm. (14)

5.9.2 Vías de acceso

Para llegar al Caserío se cuenta con una sola entrada, se debe seguir por Calzada Independencia, luego seguir por Caserío Los Jazmines y luego se llega al Caserío Llano Grande, una parte del camino está asfaltada, otra empedrada, otra parte es terracería y otra adoquinada; es transitable durante todo el año.

5.9.3 Climatología

Su clima es templado debido a que se encuentra a una altitud menor a la de la Cabecera Municipal.

5.10 Ubicación del ensayo no. 10

5.10.1 San Antonio Sacatepéquez, San Antonio Sacatepéquez (24)

San Antonio Sacatepéquez, se sitúa en la parte este del departamento de San Marcos. Se localiza en la latitud 14°57'38" y longitud 91°43'55". Se ubica a 10 kilómetros de la cabecera departamental de San Marcos, a 38 kilómetros de la

cabecera departamental de Quetzaltenango y a 242 kilómetros de la Ciudad Capital. Se encuentra a una altura de 2338 msnm.

5.10.2 Extensión territorial

Su extensión territorial es de 79 kilómetros cuadrados.

5.10.3 Vías de acceso

Para llegar a la cabecera municipal se sigue desde San Pedro Sacatepéquez, San Marcos por la ruta nacional uno, a una distancia de 8 kilómetros.

5.10.4 Climatología

El clima es frío. La temperatura máxima es de 24° C y la mínima es de 15° C con una temperatura media anual de 20° C.

5.11 Ubicación del ensayo No. 11

5.11.1 Aldea Candelaria Siquival, San Antonio Sacatepéquez

Ubicada a 2 kilómetros de la Cabecera Municipal de San Antonio Sacatepéquez (24) y a una altitud de 2,284 msnm, se encuentra en las coordenadas 14°57'08" latitud norte y 91°44'28" longitud oeste. (14)

5.11.2 Vías de acceso

La entrada principal está a 100 metros al este del parque central de San Antonio Sacatepéquez, cuenta con carretera empedrada con carrileras, es transitable todo el año.

5.11.3 Climatología

Su clima es templado debido a que se encuentra a una altitud de 2,284 msnm (14).

5.12 Ubicación del ensayo No. 12

5.12.1 Cantón Tojchiná, San Antonio Sacatepéquez

El Cantón Tojchiná se encuentra ubicado a 0.65 kilómetros de la Cabecera Municipal de San Antonio Sacatepéquez, se encuentra ubicado a 2,454 msnm, sus coordenadas son: 14°57'57" latitud norte y 91°43'42" longitud oeste. (14)

5.12.2 Vías de acceso

Para llegar al Cantón Tojchiná; desde San Pedro Sacatepéquez, San Marcos se sigue por la ruta nacional uno (24) y a 8.5 kilómetros al lado izquierdo se encuentra la entrada al cantón (14), cuenta con carretera empedrada con carrileras, transitable todo el año. .

5.12.3 Climatología

El clima es frío con una temperatura máxima de 24° C y una mínima de 15° C y una temperatura media anual de 20° C. (24)

6 Objetivos

6.1 General

Identificar razas fisiológicas de la roya del frijol presentes en el altiplano de Guatemala mediante la utilización de variedades diferenciales.

6.2 Específicos

1. Identificar genes que confieran resistencia al ataque de las diferentes razas del hongo causante de la roya del frijol en doce localidades del altiplano occidental y central de Guatemala.
2. Identificar nuevas razas de roya del frijol.
3. Determinar si la variedad Compuesto Negro Chimaltenango sigue siendo el genotipo más resistente al ataque de la roya de frijol.

7 Hipótesis

Ha¹ Al menos uno de los genotipos, andinos o mesoamericanos pertenecientes a los diferenciales de la roya del frijol presentaran mayor resistencia a esta enfermedad.

Ha² Al menos en esta evaluación de diferenciales de razas de roya de frijol, se encontraran nuevos idiotipos.

Ha³ Al menos en esta evaluación de diferenciales de razas de roya de frijol, se determinará si la Variedad Compuesto Chimaltenango sigue siendo el genotipo más resistente a esta enfermedad.

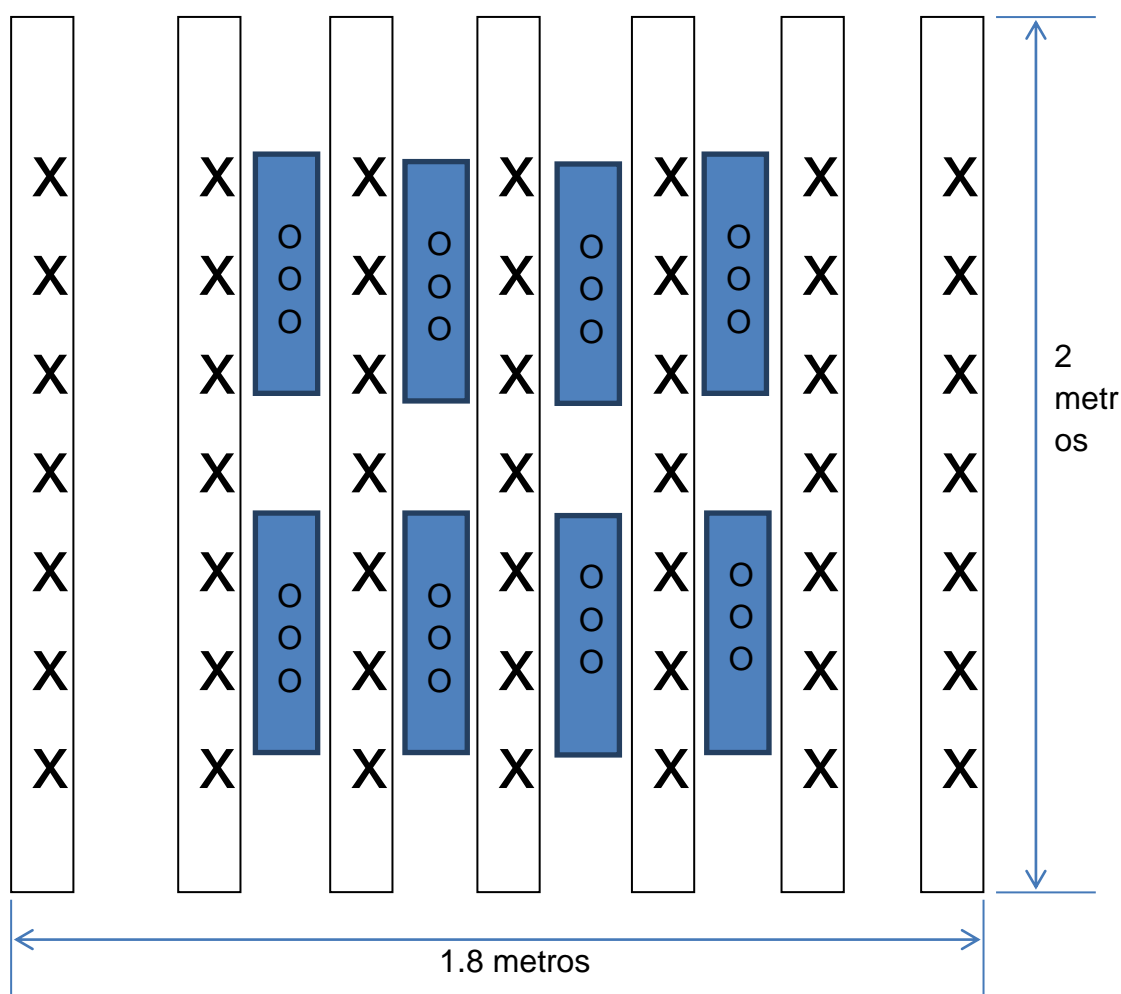
8 Materiales y métodos

8.1 Metodología de la investigación

El método fitopatológico que se utilizó fue el de **concordancia**, el cual dice que si repetidamente se observa que un resultado tiene un antecedente igual, y sólo ese antecedente se presenta repetidamente, cuando se produce ese resultado, ese antecedente es la causa del resultado.

8.1.1 Unidad experimental

En cada una de las localidades, la unidad experimental estuvo formada por 7 surcos separados 0.3 metros entre ellos y con un largo de dos metros, por lo que el área a utilizar fue de 3.6 metros cuadrados.



8.1.2 Manejo del experimento

8.1.2.1 Preparación del área

Consistió en limpiar el área a utilizar donde se realizó la investigación.

8.1.2.2 Preparación del suelo

Se labró la tierra a una profundidad de 30 centímetros, con el propósito de airear el suelo, favorecer el desarrollo radicular de la planta y penetración de agua de modo que la planta creciera y se desarrollara con normalidad.

8.1.2.3 Trazado de surcos

Se utilizó pita y estacas para delimitar el área experimental y se procedió a elaborar los surcos.

8.1.2.4 Siembra

Para la siembra se utilizó la variedad susceptible a roya ICTA Texel. Se colocaron tres semillas por postura a una distancia de 25 centímetros entre cada una de ellas.

8.1.2.5 Control de plantas indeseables

Consistió en eliminar aquellas plantas indeseables que crecieron y se desarrollaron dentro de la parcela experimental, se eliminaron manualmente.

8.1.2.6 Fertilización

Se realizó 15 días después de realizar la siembra, se utilizó gallinaza procesada y se aplicó de forma localizada.

8.1.3 Obtención de las semillas de las variedades diferenciales

Las semillas de las variedades diferenciales Early Gallatin, Redlands Pioneer, Montcalm, Pompadour Checa 50, Golden Gate Wax, PI 260418, Great Northern 1140, Aurora, México 309, México 235, Compuesto Negro Chimaltenango y PI 181996 fueron proporcionadas por el Ph. D. James Beaver, de la Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, Puerto Rico.

8.1.4 Pre germinación de variedades diferenciales

Se realizó aproximadamente a los 45 días después de haber sembrado la variedad ICTA Texel en cada localidad, para ello se colocaron las semillas dentro de toallas de papel húmedas y se dejaron por un período de 3 días en pre germinación.

8.1.5 Siembra de variedades diferenciales

Se realizó tres días después de colocar las semillas en pre germinación, se utilizaron 288 vasos de duroport de 9 cm * 7.5 cm y peat moss humedecido. Se perforaron los vasos en la parte inferior y se procedió a llenar con el sustrato

húmedo, se llenaron hasta $\frac{3}{4}$ de su capacidad, luego se colocó 1 semilla por vaso y por último se cubrieron las semillas con más sustrato. Se utilizaron dos repeticiones para cada localidad.

8.1.6 Etiquetado

Con un marcador permanente se procedió a colocar la inicial de la procedencia del gen de resistencia para el caso de andinos “A” y para el caso de mesoamericanos “M” y el valor binario de cada una de las variedades diferenciales en cada uno de los vasos.

8.1.7 Riego

Se realizó cuando fue necesario, para ello se utilizó un atomizador manual.

8.1.8 Inoculación de variedades diferenciales

Cuando las semillas germinaron y se expandieron las hojas primarias se llevaron a los lotes de frijol infectados con roya y se dejaron por un período de 21 días para que las uredosporas pudieran entrar en contacto con las variedades diferenciales y las puedan infectar.

8.2 Variables de respuesta

Variables independientes

Diámetro de pústula: Se midió el diámetro de cada pústula presente en las variedades diferenciales.

Virulencia del patógeno: Se midieron de acuerdo a los síntomas mostrados por las variedades diferenciales y se compararon con los grados de reacción de las variedades diferenciales (ver anexo 3)

Variable dependiente

Razas fisiológicas: Se determinaron usando los resultados obtenidos de las variables independientes.

8.3 Análisis de información

8.3.1 Evaluación de los síntomas de la enfermedad

En todos los ensayos, los grados de reacción a la enfermedad se determinaron con la escala adoptada para el nuevo procedimiento de clasificación internacional. Esta escala considera seis grados de infección: 1 - no pústulas (inmunidad); 2 - manchas necróticas sin esporulación; 3 - pústulas con esporulación con un diámetro de <300 micras; 4 - pústulas con esporulación con un diámetro de entre 300 micras a 499 micras; 5 - pústulas con esporulación con

un diámetro de entre 500 micras a 800 micras, y 6 - pústulas con esporulación con un diámetro de > 800 micras.

La evaluación se realizó 21 días después de iniciarse la inoculación, para ello se utilizó una escala graduada para medición de pústulas de la roya del frijol. Los cultivares que presentaron grado tres o menor fueron clasificados como cultivares resistentes, mientras que aquellos que presentaron grado 4 o más se consideraron susceptibles.

8.3.2 Determinación de razas fisiológicas

Las razas fisiológicas se determinaron basándose en el sistema de nomenclatura binaria propuesto por Steadman et al. (2002), el cual dice que cada raza es designada por dos números separados por un guión. El primer número se obtiene por la suma de los valores binarios atribuidos al conjunto de variedades diferenciales andinas. El segundo número se obtiene por la suma de los valores binarios de las variedades diferenciales mesoamericanas.

9 Análisis y discusión de resultados

Los grados de infección por parte de las variedades diferenciales después de ser inoculadas por el hongo de la roya del frijol (*U. appendiculatus*) en las doce localidades se muestran en el Cuadro 1, donde 1 significa inmunidad por parte de la variedad diferencial (Síntomas no visibles), 2 resistencia por parte de la variedad diferencial (Lesiones necróticas, sin esporulación de hasta 0.3 mm de diámetro), 2+ resistencia por parte de la variedad diferencial (Lesiones necróticas, sin esporulación de 0.3 a 1 mm de diámetro), 2++ resistencia por parte de la variedad diferencial (Lesiones necróticas, sin esporulación de 1 a 3 mm de diámetro), 2+++ resistencia por parte de la variedad diferencial (Lesiones necróticas, sin esporulación mayores a 3 mm de diámetro), 3 resistencia por parte de la variedad diferencial (Pústulas esporulantes menores de 0.3 mm de diámetro), 4 susceptibilidad por parte de la variedad diferencial (Pústulas esporulantes de 0.3 a 0.5 mm de diámetro), 5 susceptibilidad por parte de la variedad diferencial (Pústulas esporulantes de 0.5 a 0.8 mm de diámetro) y 6 susceptibilidad por parte de la variedad diferencial (Pústulas esporulantes mayores a 0.8 mm de diámetro).

reserva genética	variedad diferencial	Grado de virulencia de <i>U. appendiculatus</i>											
		Llano Grande, San Pedro Sac	ICTA Labor Ovalle, Quetzaltenango	Cajolá, Quetzaltenango	San Francisco La Unión, Quetzaltenango	Ixcá, San Pedro Sac	Tojchiná, San Antonio Sac	Parramos, Chimaltenango	Tecpan, Chimaltenango	ICTA La Alameda, Chimaltenango	Piedra Grande, San Pedro Sac	Centro, San Antonio Sac	Candelaria Siquival, San Antonio Sac
Andinos	Early Gallantin	5, 4	1, 1	1, 1	4, 4	3, 1	3, 3	1, -	1, 1	5, 5	3, 3	3, 3	3, 3
	Redlands Pioneer	1, 1	4, -	4, 4	4, 4	3, 3	3, 3	3, 1	3, 4	3, 1	3, 3	3, 3	1, 3
	Montcalm	4, 5	4, 4	4, 4	1, 1	4, 4	4, 4	3, 3	4, 5	5, 4	4, 4	4, 4	4, 3
	PC-50	4, 4	1, 1	1, 1	3, 3	3, 3	3, 3	1, 3	3, 3	1, 3	3, 3	3, 3	3, 3
	GG Wax	1, 1	4, 4	4, 4	3, 3	3, 3	3, 3	4, 4	4, 4	3, 3	3, 3	3, 3	3, 3
	PI 260418	3, 1	1, 1	1, 1	1, 1	3, 3	3, 3	3, 3	3, 3	3, 3	3, 3	3, 3	3, 3
Mesoamericanos	GN 1140	3, 3	4, -	4, 5	1, 3	4, 4	5, 4	5, 5	5, 5	4, 5	5, 4	4, 4	3, 3
	Aurora	2+, 2+	5, 5	3, 3	1, 1	4, 4	4, 4	5, 5	3, 3	5, 5	4, 3	4, 4	5, 4
	Mexico 309	2++, 2++	4, 4	4, 4	5, 4	4, 4	4, 4	5, -	5, 5	4, 4	5, 4	4, 4	4, 4
	Mexico 235	3, 3	5, 5	3, 3	1, 1	4, 4	3, 3	4, 4	4, 4	4, 4	3, 3	3, 3	5, 5
	CNC	1, 1	4, 4	3, 3	3, 3	4, 4	4, 4	4, 4	4, 4	3, 3	3, 3	4, 4	3, 4
	PI 181996	1, 1	6, -	4, 4	1, 1	5, 5	4, 4	5, 5	5, 5	3, 4	4, 5	4, 4	5, 5

Cuadro 1 Grados de reacción a la enfermedad por parte de las doce variedades diferenciales en las doce localidades donde se realizó la investigación

Con base en la reacción de las 12 variedades diferenciales, se identificaron las siguientes razas: 13-0, 22-63, 22-37, 3-4, 4-63, 16-63, 22-61, 5-47, 4-39, 4-62 y dos de la raza 4-55 (Cuadro 2).

Reserva genética	valor binario	variedad diferencial (genes de resistencia)	Reacción a <i>U. appendiculatus</i>												
			Llano Grande, San Pedro Sac	ICTA Labor Ovalle, Quetzaltenango	Cajolá, Quetzaltenango	San Francisco La Unión, Quetzaltenango	Ixcá, San Pedro Sac	Tojchiná, San Antonio Sac	Parramos, Chimaltenango	Tecpan, Chimaltenango	ICTA La Alameda, Chimaltenango	Piedra Grande, San Pedro Sac			
andinos	1	Early Gallantín (Ur-4)	+	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	
	2	Redlands Pioneer (Ur-13)	-	+	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	
	4	Montcalm (Ur-?)	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	
	8	PC-50 (Ur-9, Ur-12)	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	16	GG Wax (Ur-6)	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-	-	
	32	PI 260418 (Ur-?)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
mesoamericanos	1	GN 1140 (Ur-7)	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	
	2	Aurora (Ur-3)	-	+	-	-	+	+	+	-	+	+	+	+	
	4	Mexico 309 (Ur-5)	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
	8	Mexico 235 (Ur-3*)	-	+	-	-	+	-	+	+	+	-	-	+	
	16	CNC (Ur-?)	-	+	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+	
	32	PI 181996 (Ur-11)	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	
nomenclatura de razas			13-0	22-63	22-37	3-4	4-63	4-55	16-63	22-61	5-47	4-39	4-55	4-62	

(+) Susceptible (-) Resistente. PC 50 (Pompadour Checa 50), GG Wax (Golden Gate Wax), GN 1140 (Great Northern 1140), CNC (Compuesto Negro Chimaltenango)

Cuadro 2 Razas fisiológicas de roya del frijol identificadas en doce localidades del altiplano de Guatemala

En las variedades diferenciales mesoamericanas se observó que México 309 (Ur-5) fue susceptible en 11 localidades siendo resistente únicamente en una de las localidades (Llano Grande, San Pedro Sac.), por otro lado PI 181996 (Ur-11) fue susceptible en 10 localidades siendo resistente solamente en Llano Grande, San Pedro Sac. Y en San Francisco La Unión, Quetzaltenango; GN 1140 (Ur-7) fue susceptible en 9 localidades, fue resistente en Llano Grande, San Pedro Sac., San Francisco La Unión y Candelaria Siquival, San Antonio Sac.; Aurora (Ur-3) fue susceptible en 8 localidades, fue resistente en Llano Grande, San Pedro Sac., Cajolá, y San Francisco La Unión, ambos del departamento de Quetzaltenango y en Tecpán, Chimaltenango; Compuesto Negro Chimaltenango (Ur-?) por su parte fue susceptible en 7 localidades y fue resistente en 5 de ellas, en Llano Grande y Piedra Grande de San Pedro Sac., San Francisco La Unión y

Cajolá de Quetzaltenango, y en ICTA Alameda, Chimaltenango; México 235 (Ur-3+) fue susceptible en 6 localidades y resistente en 6 localidades las cuales fueron: Llano Grande y Piedra Grande de San Pedro Sac., Cajolá y San Francisco La Unión de Quetzaltenango, Tojchiná y el Centro de San Antonio Sacatepéquez.

En las variedades diferenciales andinas PI260418 (Ur-?) mostró resistencia en todas las localidades, PC 50 mostró resistencia en 11 comunidades siendo susceptible únicamente en Llano Grande, San Pedro Sac.; Early Gallantin (Ur-4) fue resistente en 9 localidades y susceptible en 3, Llano Grande, San Pedro Sac., San Francisco La Unión, Quetzaltenango e ICTA La Alameda, Chimaltenango; G G Wax (Ur-6) fue resistente en 8 localidades y susceptible en 4, ICTA Labor Ovalle y Cajolá de Quetzaltenango y en Parramos y Tecpán de Chimaltenango; Redlands Pioneer (Ur-13) fue resistente en 8 localidades y susceptible en 4, ICTA Labor Ovalle, Cajolá y San Francisco La Unión de Quetzaltenango, y en Tecpán, Chimaltenango. Por su parte Montcalm (Ur-?) fue susceptible en 10 localidades y únicamente resistente en 2, siendo ellas San Francisco La Unión, Quetzaltenango y Parramos, Chimaltenango.

La gran variabilidad que se observó se debe a que la roya del frijol mesoamericana es de mayor virulencia que la andina, además se observa que las variedades diferenciales mesoamericanas resultaron ser las más susceptibles, lo cual refleja la coevolución de la interacción hospedante-patógeno de la roya del frijol (Araya, CM. 1996).

La alta variabilidad se puede atribuir al cruzamiento por medio de la reproducción sexual o a mutaciones en la etapa asexual del hongo, además a la alta variabilidad de granos cultivados y en estado silvestre que se encuentran en Guatemala, esto debido a que Guatemala forma parte del centro de origen mesoamericano del frijol.

La información recabada es de mucha ayuda para los programas de mejoramiento de frijol que buscan resistencia al hongo *Uromyces appendiculatus* en Guatemala, debido a que demuestra; que genes de resistencia específica o individual (resistencia vertical) no son apropiados para crear una resistencia permanente, por lo que es necesario piramidar genes y crear así una resistencia a múltiples razas del patógeno (resistencia horizontal).

Como se observa en el Cuadro 2, los genes que brindaron mayor resistencia al frijol contra la infección del hongo de la roya son los de origen andino, por lo que estos se pueden considerar como una fuente muy valiosa de resistencia, pero debido a la virulencia de las razas de roya mesoamericanas que

también pueden infectar cultivares andinos se debe de buscar genes de resistencia de parientes silvestres dentro del centro de origen mesoamericano.

Reserva genética	valor binario	variedad diferencial (genes de resistencia)	Reacción a <i>U. appendiculatus</i>											
			Llano Grande, San Pedro Sac	Ixcá, San Pedro Sac	Piedra Grande, San Pedro Sac	Centro, San Antonio Sac.	Tojchiná, San Antonio Sac	Candelaria Siquival, San Antonio Sac	ICTA Labor Ovalle, Quetzaltenango	Cajolá, Quetzaltenango	San Francisco La Unión, Quetzaltenango	Tecpán, Chimaltenango	Parramos, Chimaltenango	ICTA La Alameda, Chimalteango
andinos	1	Early Gallantin (Ur-4)	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+
	2	Redlands Pioneer (Ur-13)	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-
	4	Montcalm (Ur-?)	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	+
	8	PC-50 (Ur-9, Ur-12)	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	16	GG Wax (Ur-6)	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+	+	-
	32	PI 260418 (Ur-?)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
mesoamericanos	1	GN 1140 (Ur-7)	-	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+
	2	Aurora (Ur-3)	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+
	4	Mexico 309 (Ur-5)	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	8	Mexico 235 (Ur-3')	-	+	-	-	-	+	+	-	-	+	+	+
	16	CNC (Ur-?)	-	+	-	+	+	+	+	-	-	+	+	-
	32	PI 181996 (Ur-11)	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+
nomenclatura de razas			13-0	4-63	4-39	4-55	4-55	4-62	22-63	22-37	3-4	22-61	16-63	5-47

(+) Susceptible (-) Resistente. PC 50 (Pompadour Checa 50), GG Wax (Golden Gate Wax), GN 1140 (Great Northern 1140), CNC (Compuesto Negro Chimaltenango)

Cuadro 3 Patrones de virulencia de las razas de roya del frijol identificadas en las 12 localidades

En el Cuadro 3 se observan seis agrupaciones de los patrones de virulencia, 1) el de Llano Grande, San Pedro Sac. 2) conformado por Ixcá y Piedra Grande de San Pedro Sac. Y Centro, Tojchiná y Candelaria Siquival de San Antonio Sacatepéquez. 3) conformado por ICTA Labor Ovalle y Cajolá de Quetzaltenango y Tecpán Guatemala de Chimaltenango. 4) San Francisco La Unión de Quetzaltenango. 5) Parramos, Chimaltenango y 6) ICTA Alameda de Chimaltenango.

El patrón de virulencia No. 1 (rojo), muestra que solo variedades diferenciales andinas fueron susceptibles a la infección del hongo mientras que las variedades mesoamericanas, todas mostraron resistencia. Esto se debe a que en el área de Llano Grande se han cultivado o se han introducido variedades con genes de resistencia de origen andino, lo cual ha hecho que la roya solo afecte a las variedades diferenciales andinas.

Los patrones de virulencia agrupados en el No. 2 (color amarillo), muestra que solo la variedad andina Montcalm fue susceptible a la infección de la roya del frijol.

Los patrones de virulencia del grupo No. 3 (azul) muestra que las variedades andinas Redlands pioneer (Ur-13), Montcalm (Ur-¿?) y Golden Gate Wax (Ur-6) fueron susceptibles al ataque del hongo de la roya del frijol.

El patrón de virulencia del grupo No. 4 (rosado) muestra que Early Gallantin (Ur-4) y Redlands Pioneer (Ur-13) de origen andino y México 309 (Ur-5) de origen mesoamericano fueron los únicos susceptibles al ataque de la roya del frijol.

El patrón de virulencia del grupo No. 5 (morado), Se caracterizó por ser susceptible la variedad Golden Gate Wax (Ur-6) de origen andino.

El patrón de virulencia No. 6 (gris) muestra que las variedades susceptibles andinas fueron: Early Gallantin (Ur-4) y Montcalm (Ur-¿?).

Al analizar los patrones de virulencia se observa que varias razas son muy parecidas (más no iguales) en cuanto a la infección por parte del patógeno, esto sugiere que al no ser uniforme la virulencia del patógeno se deben de crear variedades de frijol distintas para cada una de las regiones del país.

9.1 Identificación de genes que confieran resistencia al ataque de las diferentes razas del hongo causante de la roya del frijol

Gen de resistencia	# R	# S	% R	% S
Ur-PI260418	12	0	100	0
Ur-9, Ur-12	11	1	91.7	8.3
Ur-4	9	3	75	25
Ur-6	8	4	66.7	33.3
Ur-13	8	4	66.7	33.3
Ur-3+	6	6	50	50
Ur-CNC	5	7	41	58.3
Ur-3	4	8	33.3	66.7
Ur-7	3	9	25	75
Ur-Montcalm	2	10	16.7	83.3
Ur-11	2	10	16.7	83.3
Ur-5	1	11	8.3	91.7



Gen de origen mesoamericano

Gen de origen andino

R

No. De localidades donde fue resistente

S

No. De localidades donde fue susceptible

% R

Porcentaje de resistencia

% S

Porcentaje de susceptibilidad

Cuadro 4 Distribución del comportamiento (resistencia o susceptibilidad) de las variedades diferenciales en las localidades bajo investigación

Las variedades diferenciales que mostraron mayor resistencia a las diferentes razas de roya del frijol fueron las de origen andino (Cuadro 4), en orden de importancia los genes que brindaron mayor resistencia fueron: el gen Ur-PI 260418, fue resistente en las 12 localidades, luego los genes Ur-9 y Ur-12 que fueron resistentes en once localidades, el gen Ur-4 resistente en 9 localidades, el gen Ur-6 resistente en 8 localidades al igual que el gen Ur-13; la variedad diferencial Montcalm fue la única variedad andina que mostró susceptibilidad.

Ninguna de las variedades diferenciales que mostró resistencia a las razas de roya mostró inmunidad en la totalidad de localidades, la variedad PI 260418 que fue resistente en las 12 localidades presentó pústulas esporulantes pequeñísimas en nueve localidades, en las tres localidades restantes si mostró inmunidad, Early Gallantin mostró inmunidad en cuatro localidades pero fue susceptible en tres localidades, Pompadour Checa 50 mostró inmunidad en dos localidades y solamente en una mostró susceptibilidad. Las variedades Aurora y

Compuesto Negro Chimaltenango, mostraron inmunidad en una localidad cada una y PI 181996 mostró inmunidad en 2 localidades (Cuadro 2).

Las variedades diferenciales mesoamericanas México 309 (Ur-5), Pi 181996 (Ur-11), Great Northern 1140 (Ur-7) y Aurora (Ur-3) fueron las más susceptibles; el Compuesto Negro Chimaltenango (Ur-CNC) Y México 235 (Ur-3+) mostraron una moderada resistencia al ataque del patógeno. En general los genes de origen mesoamericano no se recomiendan para la creación de variedades de frijol resistentes a la roya del frijol en Guatemala.

El gen Ur-11 presente en la variedad diferencial PI 181996, ha sido reportado como un gen que proporciona resistencia a 89 de 90 razas de roya del frijol que se conservan en el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos en Beltsville, Maryland (Pastor-Corrales, 2002) sin embargo, aquí en Guatemala su capacidad de resistencia fue vencida fácilmente, al igual que otros genes mesoamericanos que han dado buenos resultados en otros países aquí ha sido mermada su capacidad de resistencia, tal es el caso de los genes Ur-5 y Ur-3 que han sido recomendados para controlar las razas de roya del frijol en Kenia, África (Arunga, EE, et. Al. 2012) y los genes Ur-5 y Ur-3+ en Brasil (Souza, TLPO, 2007).

9.2 Identificación de nuevas razas de roya del frijol

La raza 13-0, encontrada en Llano Grande, San Pedro Sac. Ha sido caracterizada en Estados Unidos como la raza 61, fue hallada en el estado de Nebraska, además han caracterizado otras razas parecidas más no son las mismas, las cuales son: 13-1 y 13-2 (Pastor Corrales, MA).

Acevedo, M (2013) realizó una investigación sobre diversidad del patógeno *U. appendiculatus* en Honduras, donde identificó 91 patotipos de este hongo en 28 localidades de este país, sin embargo ninguno de los patotipos concuerda con los identificados en la presente investigación y de acuerdo a sus resultados, los patotipos de Honduras atacan principalmente a las variedades diferenciales andinas al igual que en los resultados de investigaciones realizadas en Kenia, Africa (Arunga, EE, et. Al. 2012) y Brasil (Souza, TLPO, 2007).

Al no encontrar similitud de razas con otras investigaciones, se sugiere reconocer como nuevas razas las siguientes: 22-63, 22-37, 3-4, 4-63, 16-63, 22-61, 5-47, 4-39, 4-55 y 4-62.

9.3 Determinación de, si la variedad Compuesto Negro Chimaltenango sigue siendo el mejor genotipo al ataque de la roya del frijol

La variedad Compuesto Negro Chimaltenango, se ha caracterizado por ser una variedad resistente a la roya del frijol, por lo que se recomienda para combatir esta enfermedad y combinarlo con el gen Ur-3 con el fin de potenciar aún más la

resistencia de la variedad a liberar. Sin embargo, de acuerdo al Cuadro 2, esta variedad fue susceptible en 7 de las 12 localidades, siendo estas: ICTA Labor Ovalle, Quetzaltenango; Ixcá, San Pedro Sac.; Tojchiná, Candelaria Siquival y Centro de San Antonio Sac.; Parramos y Tecpán Guatemala, Chimaltenango.

Fue susceptible en más del 50% de las localidades, lo cual muestra la pérdida de la resistencia que la caracterizaba como uno de los genotipos más estables y resistentes a la roya del frijol. Esto demuestra que, con el paso del tiempo el patógeno causante de la roya del frijol ha evolucionado, con el fin de vencer la resistencia de la variedad Compuesto Negro Chimaltenango. Solamente una variedad fue resistente a todas las razas de roya del frijol, la cual fue el genotipo PI 260418 (Ur-¿?) de origen andino.

10 Conclusiones

1. Se identificaron 11 razas fisiológicas de roya del frijol en las 12 localidades evaluadas. Las razas identificadas fueron: 13-0, 22-63, 22-37, 3-4, 4-63, 16-63, 22-61, 5-47, 4-39, 4-55 y 4-62.
2. Los genes que brindaron mayor resistencia a la infección del patógeno causante de la roya del frijol fueron: el gen Ur-¿? De la variedad PI 260418, el gen Ur-9 y Ur-12 presente en la variedad diferencial Pompadour Checa 50, el gen Ur-4 presente en la variedad diferencial Early Gallantin el gen Ur-6 presente en la variedad Golden Gate Wax y el Gen Ur-13 presente en la variedad Redlands Pioneer. Todas estas líneas o variedades de origen andino, por lo que se acepta la hipótesis alternativa uno.
3. Las razas fisiológicas sugeridas como nuevas son: 22-63, 22-37, 3-4, 4-63, 16-63, 22-61, 5-47, 4-39, 4-55 y 4-62. Por tal razón se acepta la hipótesis alternativa dos.
4. La variedad Compuesto Negro Chimaltenango no fue la variedad o línea más resistente al ataque de la roya del frijol, debido a que con el paso del tiempo el patógeno ha evolucionado y ha conseguido vencer la barrera genética de resistencia de esta variedad. La línea o variedad más resistente en todas las localidades evaluadas fue PI 260418, por lo que se rechaza la hipótesis alternativa tres.
5. Los patrones de virulencia demostraron similitudes entre algunas razas de roya del frijol por lo que la creación de variedades de frijol resistentes a roya pueden ser enfocadas para zonas específicas del país.
6. La resistencia mostrada por las variedades diferenciales andinas, y la susceptibilidad mostrada por las variedades diferenciales mesoamericanas al ataque de la roya del frijol, confirma la coevolución hospedero-patógeno para esta enfermedad, por esta razón las razas identificadas presentaron mucha virulencia para los genotipos mesoamericanos y avirulentas en los genotipos andinos.

11 Recomendaciones

1. Realizar la identificación de razas del hongo causante de la roya del frijol en otras zonas frijoleras del país, con el fin de mapear el comportamiento de este patógeno en el país, que como ya quedó demostrado, la variabilidad del patógeno es muy grande.
2. Se recomienda la piramidación de genes Ur-PI 260418, Ur-9, Ur-12, Ur-4, Ur-6 y Ur-13 para lograr una resistencia eficaz contra el ataque del agente causal de la roya del frijol, esto debido a que fueron los que mayor resistencia proporcionaron, o bien la utilización o creación de multilíneas.
3. Socializar los resultados obtenidos con el fin de que se conozcan las razas identificadas y sugeridas como nuevas, de modo que los trabajos de mejoramiento genético vayan enfocados y dirigidos a esta línea.
4. Se recomienda cambiar constantemente las variedades de frijol a sembrar debido a que el uso continuo de la misma variedad hace que los patógenos venzan la resistencia genética de la planta, como quedó demostrado con el caso de la pérdida de la resistencia de la variedad Compuesto Negro Chimaltenango.
5. Buscar parientes silvestres con resistencia a la roya del frijol dentro del centro de origen mesoamericano y piramidarlos con genes de origen andino; debido a que las razas de roya del frijol mesoamericanas son de mayor virulencia y atacan tanto a variedades de frijol mesoamericanas como andinas por lo que la utilización de genes andinos exclusivamente no es recomendable.
6. Realizar la investigación bajo condiciones controladas con el fin de observar si existen diferencias de resultados.
7. Se recomienda dejar las variedades diferenciales por lo menos tres semanas en el campo para lograr una buena infección por parte del patógeno causante de la roya del frijol.

12 Bibliografía

1. Acevedo, M; Steadman, JR; Rosas, JC. 2013. *Uromyces appendiculatus* in Honduras: Pathogen diversity and host resistance screening (en línea). Consultado 4 Jun. 2014. Disponible en: <http://apsjournals.apsnet.org/doi/pdfplus/10.1094/PDIS-02-12-0169-RE>
2. Aldana de León, LF. 2010. Manual Producción Comercial y de Semilla de Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Quetzaltenango, GT, s.e. 38 p.
3. Álvarez Marroquin, J. J. et al. 2011. PROYECTO DE MÓDULO DE GRANOS BÁSICOS“CULTIVO DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L. var ICTA LIGERO)”. (En línea). Consultado 24 feb 2013. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/47383078/Innforme-frijol>
4. Anzueto del Valle, CA. 1979. EVALUACIÓN DE FUENTES DE RESISTENCIA CONTRA ROYA DEL FRIJOL (*Uromyces phaseoli* var *typica* Arth) (En línea). Tesis Lic. Ing. Agr. Guatemala, USAC. Consultado 19 feb. 2013. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_0425.pdf
5. Araya, CM; Alleyne, AT; Steadman, JR; Eskridge, KM; Coyne, DP. 2004. Phenotypic and Genotypic Characterization of *Uromyces appendiculatus* from *Phaseolus vulgaris* in the Americas (en línea). Papers in Plant Pathology. Paper 185. University of Nebraska – Lincoln. Consultado 27 mar. 2013. Disponible en: <http://digitalcommons.unl.edu/plantpathpapers/185>
6. Arroyave Cerón, SE. 2005. Trabajo de graduación: realizado en el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA), La Alameda, Chimaltenango (En línea). Tesis Lic. Ing. Agr. Guatemala, USAC. Consultado 6 mar. 2013. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2195.pdf
7. Arunga, EE; Ochuodho JO; Kinyua MG; Owuochi, JO. 2012. Characterization of *Uromyces appendiculatus* isolates collected from snap bean growing areas

- in Kenya (En línea). African Journal of Agricultural Research. Vol. 7. Consultado 5 abr. 2013. Disponible en: <http://www.academicjournals.org/ajar/PDF/pdf2012/2Nov/Arunga%20et%20al.pdf>
8. Barrera Rodas, HR. 2004. "DIAGNOSTICO Y PRONOSTICO SOCIOECONÓMICO" MUNICIPIO DE CAJOLÁ, DEPARTAMENTO DE QUETZALTENANGO (En línea). Informe individual Lic. Economista. Guatemala, USAC. Vol. 11. Consultado 24 jul 2013. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/EPS/03/03_0039.pdf
 9. Christen Verdeguer, RG. 1966. DETERMINACIÓN DE LAS RAZAS FISIOLÓGICAS DE LA ROYA (Uromyces Phaseoli (Pers.) Wint. Var. Phaseoli) PRESENTES EN CIERTAS ZONAS FRIJOLERAS DE COSTA RICA Y EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA DE ALGUNOS CULTIVARES SELECCIONADOS POR EL PROGRAMA DE CULTIVOS ALIMENTICIOS DEL IICA (En línea). Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, IICA. Consultado 14 feb. 2013. Disponible en: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A7156E/A7156E.PDF>
 10. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical, CO). 1980. La Roya del Frijol y su Control: Guía de Estudio (En línea). Cali, CO. Consultado 27 feb. 2013. Disponible en: http://books.google.com.gt/books?id=X6ivZKUci6AC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0
 11. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical, CO). 1989. Progreso en la Investigación y Producción del Frijol Común (Phaseolus vulgaris L.) (En línea). Cali, CO. Consultado 23 feb 2013. Disponible en: http://books.google.com.gt/books?id=w_9nA_-kO2IC&pg=PA183&lpg=PA183&dq=produccion+de+frijol+en+guatemala&source=bl&ots=F4-NuxOgRi&sig=u_FyEUCZsHpoUna5J_5TI-WmTLw&hl=es&sa=X&ei=DgEpUc2-BqfK0AGo0IBA&ved=0CEAQ6AEwBDge#v=onepage&q=produccion%20de%20frijol%20en%20guatemala&f=false

12. Consejo Municipal de Desarrollo del Municipio de San Francisco La Unión, Quetzaltenango, Secretaría de Planificación y programación de la presidencia. 2010. Plan de Desarrollo San Francisco La Unión, Quetzaltenango (en línea). Guatemala: SEGEPLAN/DTP. Consultado 27 sep 2013. Disponible en: http://www.segeplan.gob.gt/2.0/index.php?option=com_k2&view=itemlist&task=category&id=204:san-francisco-la-union&Itemid=333

13. González, HR. 2006. EL MUNICIPIO DE PARRAMOS (En línea). Guatemala, USAC. Consultado 25 jul 2013. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/07/07_1793.pdf

14. Google Inc. 2011. Google Earth (en línea). USA. Consultado 02 Ago 2013. Disponible en: <http://earth.google.com>

15. IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, CR)/ Proyecto Red SICTA, COSUDE. 2008. Guía de identificación y manejo integrado de las enfermedades del frijol en América Central (En línea). Managua, IICA. Consultado 24 feb. 2013. Disponible en: www.redsicta.org

16. Montero Tavera, V; Acosta Gallegos, JA; Guerrero García, BZ; Sánchez García, BM; González Chavira, MM. 2010. Combinación de Genes de Frijol que le Confieren Resistencia Contra *Uromyces appendiculatus* (Pers.) Unger (En línea). Fitotecnia mexicana vol. 33. Consultado 7 abr. 2013. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v33nspe4/v33nspe4a22.pdf>

17. Morales Gramajo, WA. 2011. "DIAGNOSTICO ADMINISTRATIVO MUNICIPAL" MUNICIPIO DE SAN PEDRO SACATEPÉQUEZ, DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS (En línea). Informe individual Lic. Admón. Empresas. Guatemala, USAC. Vol. 7. Consultado 01 ago 2013. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/EPS/03/03_0751_v7.pdf

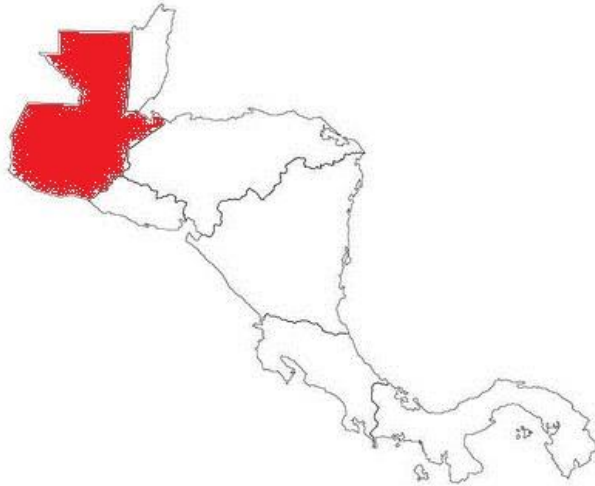
18. Navarro Meza, MR. 2012. EFECTO DE CUATRO DISTANCIAMIENTOS DE SIEMBRA SOBRE EL RENDIMIENTO DE CINCO GENOTIPOS DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris*) EN DOS LOCALIDADES DEL ALTIPLANO OCCIDENTAL DE GUATEMALA. Tesis Lic. Ing. Agr. Con OAS. San Marcos, GT, USAC - CUSAM. 98 p.
19. Pastor-Corrales, MA; Liebenberg, M. 2010. COMMON BEAN RUST (En línea). Consultado 24 mar. 2013. Disponible en: http://bic.css.msu.edu/_pdf/Rust.pdf
20. Pérez de Mata, SJ. 2011. "DIAGNÓSTICO FINANCIERO MUNICIPAL" MUNICIPIO DE TECPÁN GUATEMALA, DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO (En línea). Informe individual Lic. Admón. Empresas. Guatemala, USAC. Vol. 9. Consultado 24 jul 2013. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/EPS/03/03_0744_v9.pdf
21. Rasmussen, JB; Grafton, KF; Gross, PL; Donohue, CM. 2002. GENETICS OF RUST RESISTANCE IN COMPUESTO NEGRO CHIMALTENANGO (CNC) (En línea). North Dakota State University, USA. Consultado 6 abr. 2013. Disponible en: <http://naldc.nal.usda.gov/download/IND23299686/PDF>
22. Schwartz, HF; Steadman, JR; Harveson, RM. (s.f.) Rust of Dry Beans (En línea). Fact Sheet No. 2936, Colorado State University Extension. Consultado 12 abr. 2013. Disponible en: <http://www.ext.colostate.edu/pubs/crops/02936.pdf>
23. Schwartz, HF; Steadman, JR; Pastor-Corrales, MA. 2005. PROCEEDINGS FROM THE RUST WORKSHOP HELD AT THE 2005 BIC MEETING UPDATE ON OFFICIAL NAME CHANGE FOR RUST OF COMMON BEAN AND SOYBEAN. Consultado 12 abr. 2013. Disponible en: http://bic.css.msu.edu/_pdf/Rust_Workshop_Challenges.pdf

24. Siliezar Iturrios, EP. 2010. DIAGNOSTICO FINANCIERO MUNICIPAL, MUNICIPIO DE SAN ANTONIO SACATEPÉQUEZ, DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS (En línea). Informe individual Licda. CPA. Guatemala, USAC. Vol. 3. Consultado 25 jul. 2013. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/EPS/03/03_0746_v3.pdf
25. Souza, TLPO; Ragagnin, VA, Sanglard, DA, Moreira, MA; Barros, EG. 2007. Identification of races of selected isolates of *Uromyces appendiculatus* from Minas Gerais (Brazil) based on the new international classification system (En línea). *Fitopatologia Brasileira*. Consultado 5 abr. 2013. Disponible en: <http://www.scielo.br/pdf/fb/v32n2/02.pdf>
26. Steadman, J; Godoy Lutz, G; Rosas JC, Beaver J. 2002. Uso de un vivero móvil para obtener patrones de virulencia de la roya del frijol común (En línea). *Agronomía Mesoamericana*, Vol. 13. Universidad de Costa Rica. Consultado 29 mayo 2013. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43713107>
27. Steadman, JR; Pastor-Corrales, MA; Beaver, JS. 2002. An Overview of the 3rd Bean Rust and 2nd Bean Common Bacterial Blight International Workshops, March 4-8, 2002 Pietermaritzburg, South Africa (En línea). Consultado 6 abr. 2013. Disponible en: <http://naldc.nal.usda.gov/download/IND23299719/PDF>
28. *Uromyces appendiculatus* (Pers.) Unger: Roya. (s.f.). Consultado 5 abr. 2013. Disponible en: www.sef.es/descargar.php?ap=6&el=1045
29. Voysest Voysest, O. 2000. Mejoramiento genético del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.): legado de variedades de América Latina 1930-1999 (En línea). Cali, CO.IICA. Consultado 6 abr. 2013. Disponible en: http://books.google.com.gt/books?id=VzxXI2TL9YcC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0

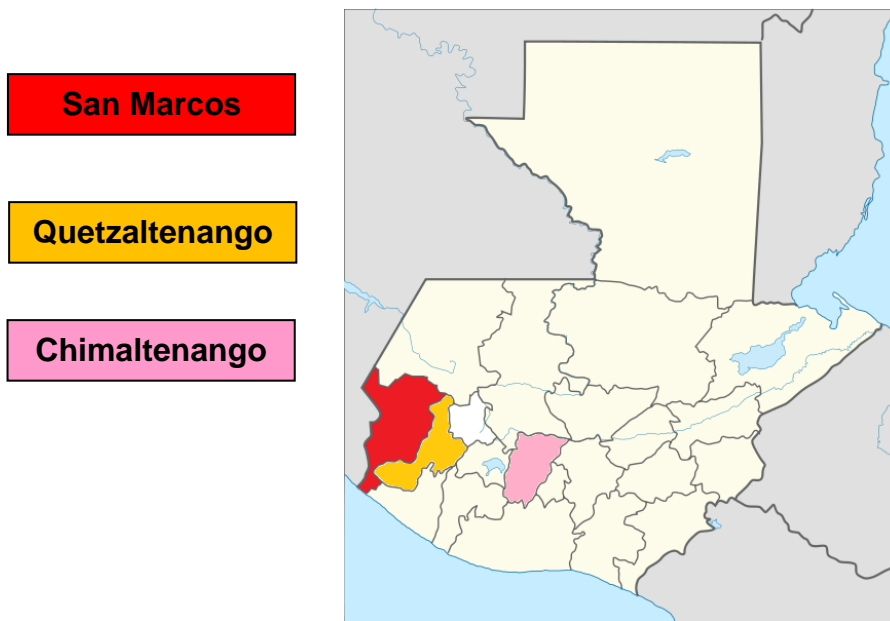
30. Yoshii, K; Cojulún, R. 1977. Existencia de distintas razas fisiológicas de la roya de frijol en sur oriente y altiplano de Guatemala (En línea). Consultado 24 feb. 2013. Disponible en: <http://ufdc.ufl.edu/UF00066722/00001>

Anexos

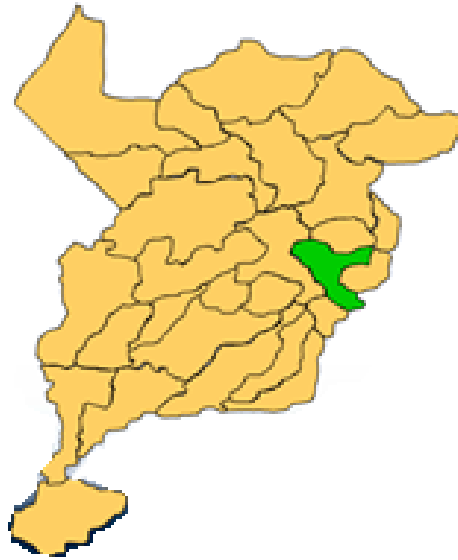
1 Ubicación geográfica de las doce localidades donde se realizó la investigación



Ubicación de Guatemala en Centroamérica



Departamentos donde se realizó la investigación



Municipio de San Pedro Sacatepéquez, Departamento de San Marcos



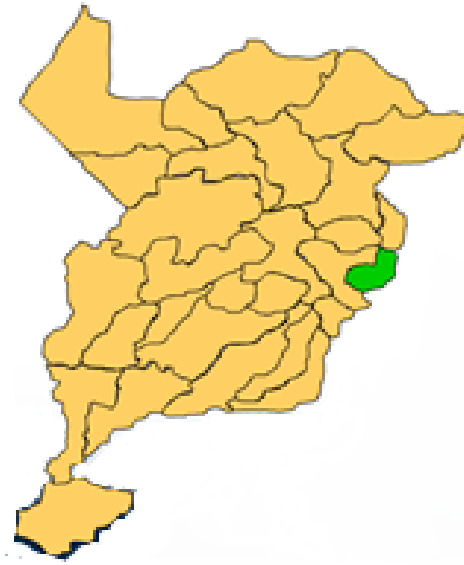
Ubicación del experimento en Aldea Piedra Grande



Ubicación del experimento en Caserío Ixcá



Ubicación del experimento en Caserío Llano Grande



Municipio de San Antonio Sacatepéquez, Departamento de San Marcos



Ubicación del experimento en Aldea Candelaria Siquival



Ubicación del experimento en el Centro de San Antonio Sacatepéquez



Ubicación del experimento en Cantón Tojchiná



Municipio de Cajolá, Departamento de Quetzaltenango



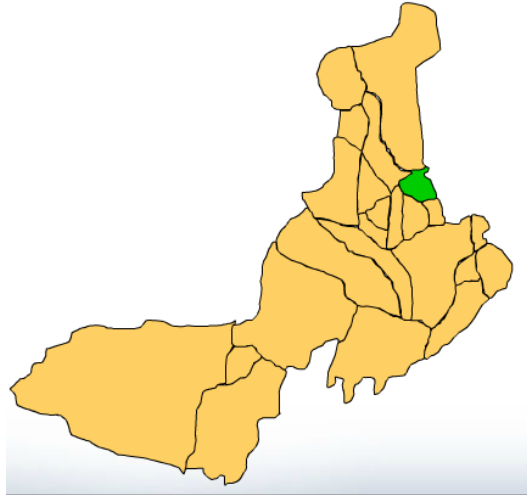
Localización del experimento en Cajolá



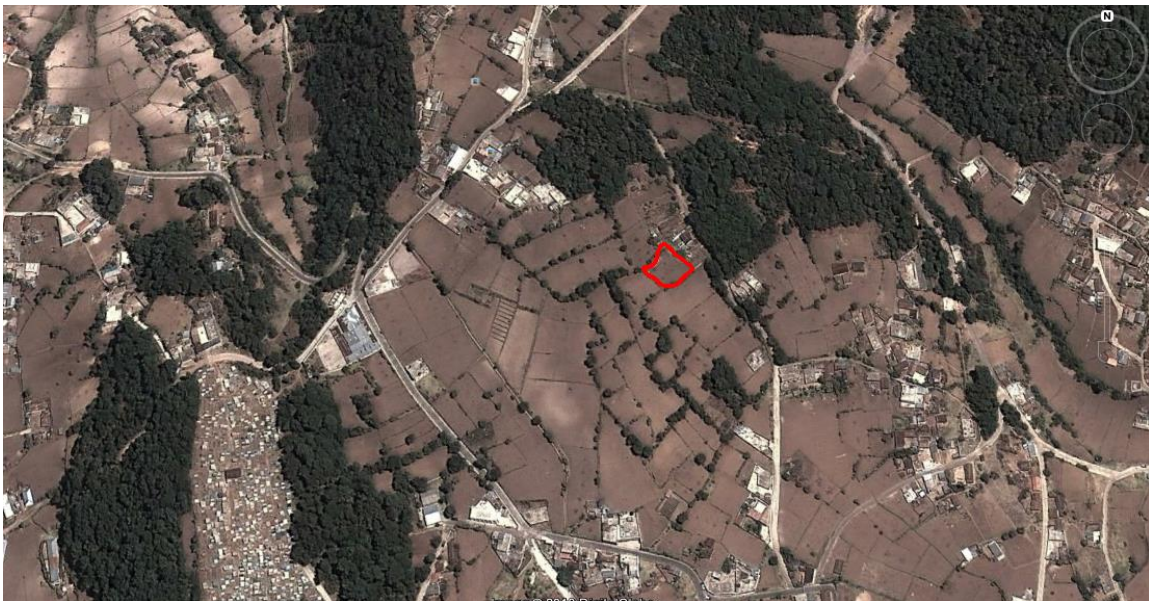
Municipio de Olintepéque, Departamento de Quetzaltenango



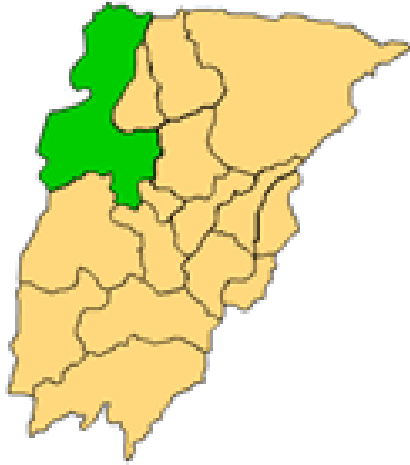
Ubicación del experimento en ICTA Labor Ovalle



Municipio de San Francisco La Unión, Departamento de Quetzaltenango



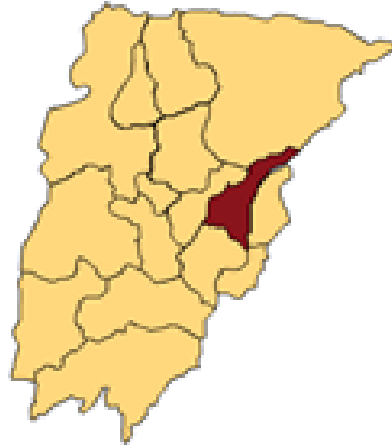
Ubicación del experimento en San Francisco La Unión



Municipio de Tecpán Guatemala, Departamento de Chimaltenango



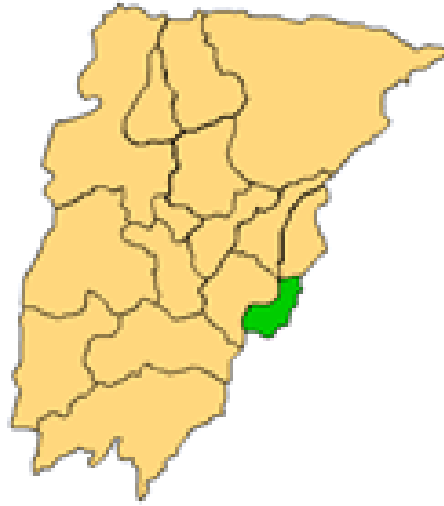
Ubicación del experimento en Tecpán Guatemala



Municipio de Chimaltenango, Departamento de Chimaltenango



Ubicación del experimento en ICTA La Alameda



Municipio de Parramos, Departamento de Chimaltenango



Ubicación del experimento en Parramos

2 Producción, área cosechada, rendimiento y comercio exterior de Frijol Negro en Guatemala

Año agrícola	Área cosechada (ha)	Producción (tm)	Rendimiento (tm/ha)
2005/06	218,405.00	184,485.86	0.84
2006/07	220,152.24	188,175.58	0.85
2007/08	223,646.72	194,199.22	0.87
2008/09	229,237.89	199,636.80	0.87
2009/10	235,178.50	198,113.71	0.84
2010/11	235,357.42	209,143.62	0.89
2011/12 p/	238,181.71	213,033.69	0.89
2012/13 e/	239,417.64	218,252.80	0.91

p/ cifras preliminares. e/ cifras estimadas

3 Escala para la evaluación de las reacciones resultantes de la interacción entre la planta de frijol y el patógeno de la roya del frijol

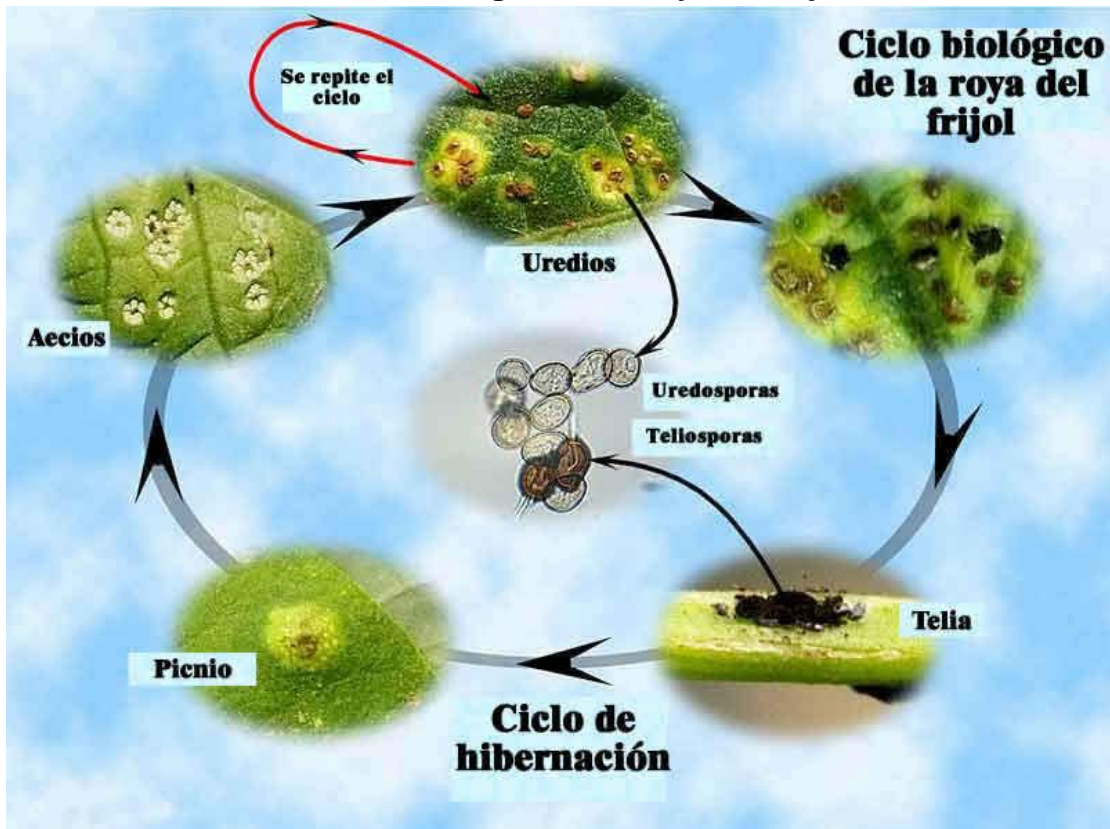
Grado de reacción (escala 1-6)	Tipo de reacción	Descripción de interacción	Tamaño de lesión (diámetro)
1	Inmune	Síntomas no visibles	
2	Resistente (HR)	Lesiones necróticas, sin esporulación	0.3 mm
2+	Resistente (HR)	Lesiones necróticas, sin esporulación	0.3-1 mm
2++	Resistente (HR)	Lesiones necróticas, sin esporulación	1-3 mm
2+++	Resistente (HR)	Lesiones necróticas, sin esporulación	>3 mm
3	Resistente	Pequeñas pústulas esporuladas	<0.3 mm
4	Susceptible	Pústulas esporulantes	0.3-0.5 mm
5	Susceptible	Pústulas esporulantes	0.5-0.8 mm
6	Susceptible	Pústulas esporulantes	>0.8 mm

4 El conjunto de variedades diferenciales de frijol propuestas en el Tercer Seminario Internacional De La Roya Del Frijol llevado a cabo en Sudáfrica en el año 2002 y sus características

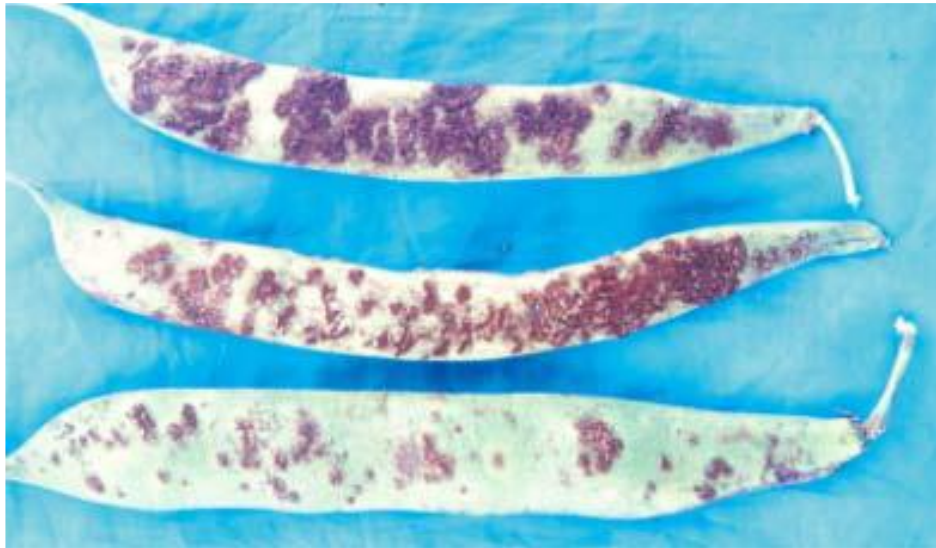
	Variedades diferenciales de frijol	Gen de resistencia	Origen del cultivar*	Valor binario
Frijoles andinos				
1	Early Gallatin	Ur-4	A/MA	1
2	Redlands Pioneer	Ur-13	A	2
3	Montcalm	Desconocido	A	4
4	PC 50	Ur-9, Ur-12	A	8
5	Golden Gate Wax	Ur-6	A/MA	16
6	PI 260418	Desconocido	A	32
Frijoles mesoamericanos				
7	GN 1140	Ur-7	MA	1
8	Aurora	Ur-3	MA	2
9	Mexico 309	Ur-5	MA	4
10	Mexico 235	Ur-3+	MA	8
11	CNC	Desconocido	MA	16
12	PI 181996	Ur-11	MA	32

*A = andino; MA = mesoamericano

5 Ciclo biológico de la roya del frijol



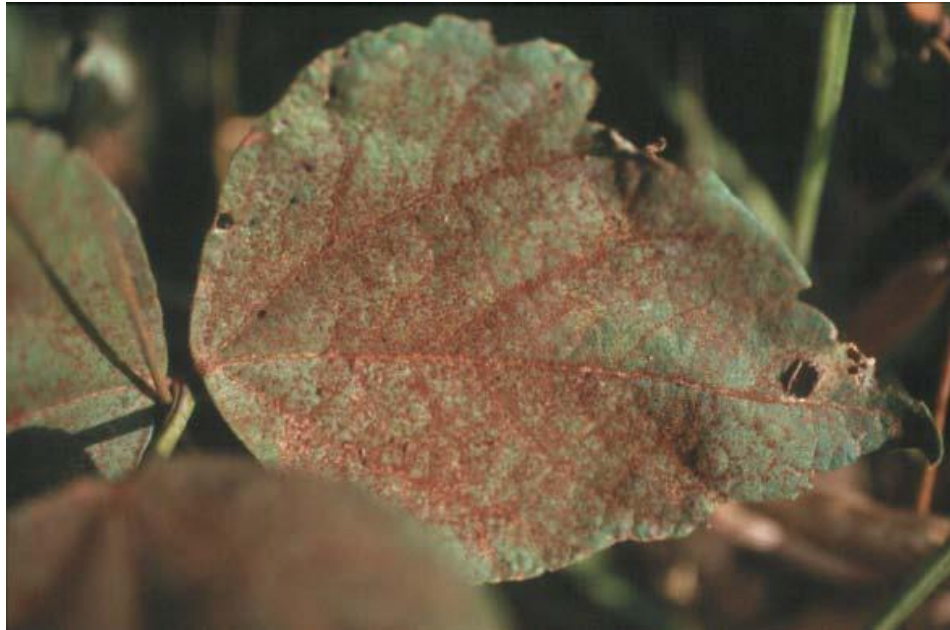
6 Infección de la roya del frijol en los distintos órganos de la planta



Pústulas de roya de frijol en vainas



Pústulas de roya del frijol en el tallo



Pequeñas pústulas de la roya de frijol en las hojas



Pústulas grandes, rodeadas por halos cloróticos



Diferentes tipos de pústulas pueden estar presentes en la misma hoja en condiciones de campo



Telia contiene oscuras y robustas teliosporas de hibernación.

7 Imágenes del trabajo de campo



Limpieza del área del terreno



Siembra de frijol variedad Texel



Parcela sembrada con frijol variedad Texel, susceptible a roya



Deshierbe de las parcelas de investigación



Semillas de variedades diferenciales pre-germinadas listas para ser sembradas en los recipientes



Siembra de variedades diferenciales



Variedades diferenciales listas para ser inoculadas con roya en el campo



Introducción de variedades diferenciales en parcela infectada con roya para su inoculación

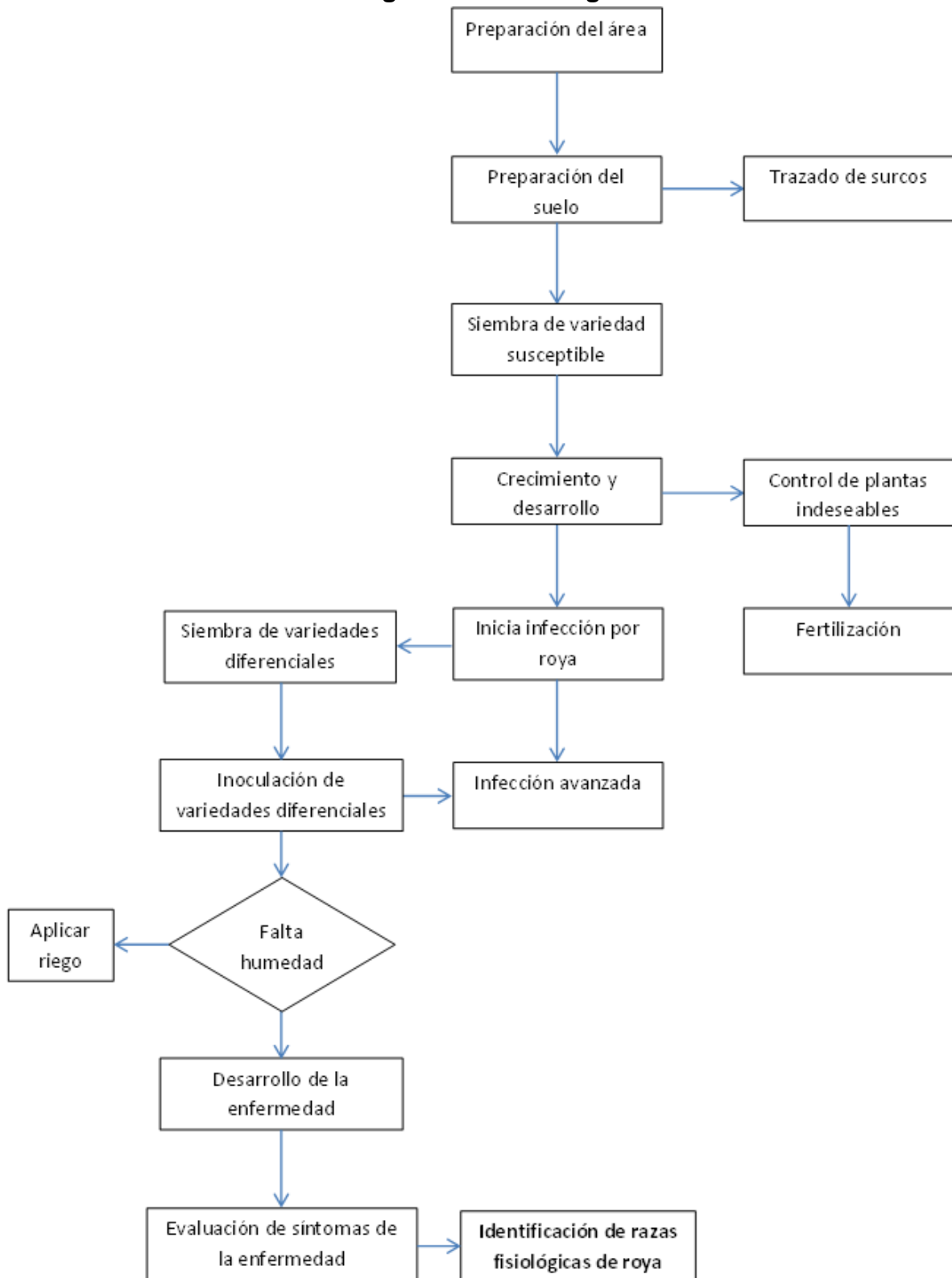


Hoja de la planta de frijol atacada severamente con roya

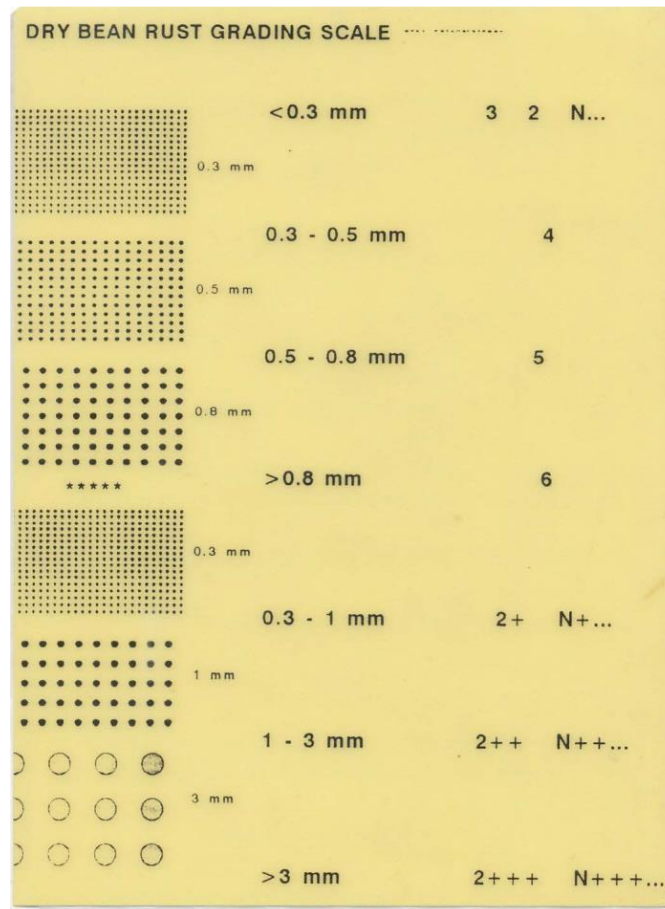


Identificación de razas fisiológicas de roya del frijol

8 Diagrama de investigación



9 Escala graduada para medición de pústulas de roya del frijol



10 Glosario

Cepa: Progenie de un solo aislamiento en un cultivo puro; aislado; grupo de aislados similares; una raza.

Dicariótico: Micelio o esporas que contienen un par de núcleos sexualmente compatibles encada célula. Es común en los basidiomicetos.

Espermacio; (o picniospora) Gameto masculino o gametangio de las royas.

Espermagonio: (o picnio) Cuerpo fructífero de las royas en el que se forman los gametos o gametangios.

Espora: Unidad reproductiva de los hongos que consta de una o varias células; es análoga a la semilla de las plantas verdes.

Idiotipo: Totalidad de los factores hereditarios, constituida por los genes del núcleo celular y los llamados genes extranucleares (que configuran unas formas características).

Inoculación: Arribo o transferencia de un patógeno sobre su hospedante.

Inoculo: Patógeno o partes de él que causan infección; partes de los patógenos que entran en contacto con el hospedante.

Inoculo primario: Patógeno o esporas de éste que sobreviven al verano o invierno y que causan la infección primaria.

Inoculo secundario: Inoculo que se produce por las infecciones que ocurren durante una misma estación de crecimiento.

Patogenicidad: Capacidad que tiene un patógeno para producir enfermedad.

Patógeno: Entidad que causa enfermedad.

Picnio: Llamado también espermagonio o espermatogonio.

Picniospora: Llamada también espermacio; espora que se forma en el picnio.

Piramidar genes: Reunir o acumular en un mismo genotipo 2 o más genes.

Pústula: Pequeña protuberancia en forma de ampolla que sobresale de la epidermis conforme emergen las esporas del patógeno.

Raza: En una especie, grupo de apareamiento genéticamente distinto (con frecuencia también en el aspecto geográfico); representa también un grupo de patógenos que infectan a una serie dada de variedades de plantas.

Raza nueva: aquella raza de roya del frijol no encontrada o reportada en otra parte del mundo.

Roya: Enfermedad que da una apariencia "rojiza" a las plantas y que es causada por uno de los miembros de los Uredinales (royas).

Roya autoica: Roya que completa su ciclo de vida en un solo hospedante.

Soro: Masa compacta de esporas o estructura fructífera que se encuentra particularmente en las royas y carbones.

Telia: Estructura de fructificación en la que se forman las teliosporas de las royas.

Teliospora: Espora sexual, de resistencia y de pared gruesa de las royas y los carbones.

Uredio: Estructura de fructificación de las royas en la que se forman las uredosporas.

Uredospora: Espora dicaríótica (binucleada) de las royas.

Variedades diferenciales: Cada una de las líneas cuya constitución genética solo difiere en los alelos de un locus determinado en este caso el alelo de resistencia a la roya del frijol.

Variedad multi línea: Es aquella variedad conformada por varias líneas puras.

Virulencia: Grado de patogenicidad de un patógeno determinado.