

EVALUACION DE LA REACCION DE GENOTIPOS DE PAPA *Solanum tuberosum* AL ATAQUE DE *Phytophthora infestans* CAUSANTE DE GOTA.

POR

**ANA ELIZABETH PORTILLA BENAVIDES
HUGO ALEJANDRO SALAS PATIÑO**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS
INGENIERIA AGRONOMICA
SAN JUAN DE PASTO
2007**

EVALUACION DE LA REACCION DE GENOTIPOS DE PAPA *Solanum tuberosum* AL ATAQUE DE *Phytophthora infestans* CAUSANTE DE GOTA.

**ANA ELIZABETH PORTILLA BENAVIDES
HUGO ALEJANDRO SALAS PATIÑO**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
INGENIERO AGRONOMO**

**PRESIDENTE DE TESIS
CARLOS BETANCOURT M. Sc. Fitopatología.**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS
INGENIERIA AGRONOMICA
SAN JUAN DE PASTO
2007**

“Las ideas y conclusiones aportadas en la tesis de grado, son responsabilidad exclusiva de sus autores”.

Artículo 1º del acuerdo No. 324 del 11 de octubre de 1966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación:

Firma del presidente de tesis

Firma del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

San Juan de Pasto, Octubre de 2007

A DIOS, por ser el motivo constante de mi inspiración,
razón de mi existir y autor principal de mi vida
A mis padres, Angel y Margarita; por su incansable
apoyo y comprensión,
A mis hermanos: Gloria, Mary Luz y Miguel,
por ser mis amigos, y compañeros en todo momento
A mi compañero de tesis Hugo por estar siempre a mi lado.

ANA ELIZABETH PORTILLA BENAVIDES

A DIOS, por ser la fuente de mi inspiración,
A mis padres, Romelio y Yolanda, por su amor y
apoyo constante en esta etapa de mi vida
A mis hermanos Gabriel y Alvaro por creer siempre
en mi y por estar siempre conmigo
A todas las personas que durante mi carrera me
prestaron su colaboración y apoyo
A mi compañera de tesis Elizabeth por su amistad
Incondicional.

HUGO ALEJANDRO SALAS PATIÑO

AGRADECIMIENTOS

Los autores presentan agradecimientos a:

BENJAMIN SAÑUDO SOTELO. Ingeniero Agrónomo. Por su colaboración y enseñanzas.

CARLOS BETANCOURTH GARCIA. Ingeniero Agrónomo M.Sc. fitopatología. Docente de la Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño

HERNANDO CRIOLLO ESCOBAR. Ingeniero Agrónomo M.Sc. Docente de la Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño

LUIS ALFREDO MOLINA VALERO. Ingeniero Agrónomo M.Sc. Docente de la Facultad de Ciencias Agrícolas (J), Universidad de Nariño.

LUZ STELLA LAGOS. Bióloga. M. Sc. Docente de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Universidad de Nariño.

LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS, UNIVERSIDAD DE NARIÑO

Todas las personas que de una u otra forma contribuyeron en la realización del presente trabajo.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	22
1. MARCO TEORICO	25
1.1 ASPECTOS GENERALES DEL CULTIVO	25
1.2 LA GOTA (<i>Phytophthora Infestans</i>).	26
1.2.1 Origen del patógeno (<i>Phytophthora infestans</i>).	25
1.3 IMPORTANCIA	26
1.4 TAXONOMÍA Y CLASIFICACIÓN DE <i>Phytophthora Infestans</i>	26
1.4.1 Posición taxonómica	27
1.4.2 Morfología de <i>Phytophthora infestans</i>	27
1.4.2.1 Micelio	28
1.4.2.2 Esporangios y zoosporas	29
1.4.2.3 Organos sexuales	30
1.5 BIOLOGIA DE <i>Phytophthora Infestans</i>	30
1.5.1 Reproducción asexual	30
1.5.2 Reproducción sexual	31
1.6 CICLO DE VIDA DE <i>Phytophthora Infestans</i>	32
1.7 MECANISMOS DE VARIACION GENETICA en <i>Phytophthora Infestans</i>	33
1.8 SINTOMATOLOGIA Y DESARROLLO DE LA ENFERMEDAD	33
1.9 INTERACCIÓN PATOGENO – HOSPEDANTE	35
1.9.1 El Patógeno	35
1.9.2 El Hospedante	35
1.9.2.1 Mecanismos de defensa pasivo o preexistente	35
1.9.2.2 Mecanismos de defensa activos	36
1.10 BASES GENETICAS DE LA RESISTENCIA	36
1.10.1 Resistencia vertical	36
1.10.2 Resistencia horizontal o de campo	37
1.10.3 Resistencia de no hospedante	38
1.10.4 Resistencia sistémica adquirida	38
1.10.5 Tolerancia	38
1.11 RAZAS FISIOLÓGICAS DE <i>Phytophthora Infestans</i>	39
1.11.1 Razas fisiológicas en Nariño	39
1.12 VARIEDADES COMERCIALES EN NARIÑO	40
1.12.1 Descripción de las principales variedades de papa cultivadas en Nariño	40
1.12.1.1 Ica pastusa	40
1.12.1.2 Parda pastusa	40
1.12.1.3 Ica morasurco	41
1.12.1.4 Ica san pedro	41

1.12.1.5	Diacol capiro	42
1.12.1.6	Chaucha amarilla	42
1.13	VARIETADES MEJORADAS	43
1.13.1	Betina	43
1.13.2	Parda suprema	43
1.13.3	Roja nariño	43
1.14	GENOTIPOS RESISTENTES EN EL DEPARTAMENTO DE NARIÑO	44
1.15	CLONES DE PAPA GUATA	44
1.15.1	Guata blanca	44
1.15.2	Pintada	44
1.15.3	Guata roja	44
1.15.4	Roja redonda	44
1.15.5	Rosada tipo capiro	44
1.15.6	Roja loca	44
2.	DISEÑO METODOLÓGICO	45
2.1	CICLO 1	45
2.1.1	Localización	45
2.1.2	Material vegetal	45
2.1.3	Area experimental	45
2.1.4	Diseño experimental	46
2.1.5	Siembra	49
2.1.6	Manejo del cultivo	49
2.2	VARIABLES EVALUADAS	49
2.2.1	Evaluación de la severidad de gota (<i>Phytophthora infestans</i>)	49
2.2.1.1	Epidemiología de la enfermedad Fase II	50
2.2.1.1.1	Desarrollo de la enfermedad	50
2.2.1.1.2	Tasa de desarrollo de la enfermedad	50
2.2.2	Altura de plantas	50
2.2.3	Número de tallos por planta	50
2.2.4	Area foliar	51
2.2.5	Indice de área foliar	51
2.2.6	Inicio de tuberización	51
2.2.7	Epoca de cosecha	52
2.2.7.1	Número de tubérculos por planta	52
2.2.7.2	Clasificación de producción	52
2.2.7.3	Rendimiento en Kg/ha	53
2.2.7.4	Caracterización de los tubérculos	53
2.2.8	Epoca de almacenamiento	53
2.2.8.1	Días a brotación	53
2.2.8.2	Número de yemas activas	53
2.3	COMPONENTES DE RENDIMIENTO	53
2.4	CRITERIOS DE SELECCIÓN	53
2.5	INDICE DE SELECCIÓN	54
2.6	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	55

2.6.1	Análisis de sendero	55
3.	RESULTADOS Y DISCUSION	56
3.1	CICLO 1	56
3.1.1	Severidad de gota (<i>Phytophthora infestans</i>)	56
3.1.2	Altura de plantas	59
3.1.3	Número de tallos por planta	61
3.1.4	Area foliar	61
3.1.5	Indice de área foliar	63
3.1.6	Inicio de tuberización	65
3.1.7	Número de tubérculos por planta	66
3.1.8	Categoría de tubérculos	67
3.1.9	Rendimiento	70
3.1.10	Características de los tubérculos	74
3.1.11	Días a brotación	78
3.1.12	Número de yemas activas	79
3.2	INDICE DE SELECCION	79
3.3	ANÁLISIS DE REGRESION MULTIPLE PARA LOS COMPONENTES DE RENDIMIENTO	81
3.4	ANALISIS DE SENDERO	82
3.5	CICLO 2	85
3.5.1	Severidad de gota (<i>Phytophthora infestans</i>)	85
3.5.1.1	Severidad para cada localidad	88
3.5.2	Epidemiología de la enfermedad	89
3.5.2.1	Desarrollo de la enfermedad	89
3.5.2.2	Tasa de desarrollo de la enfermedad	90
3.5.3	Número de tubérculos por planta	91
3.5.3.1	Número de tubérculos por planta para cada localidad	94
3.5.4	Clasificación de la producción	95
3.5.5	Rendimiento	100
3.5.5.1	Rendimiento para cada localidad	103
4.	CONCLUSIONES	105
5.	RECOMENDACIONES	106
6.	BIBLIOGRAFIA	107
	ANEXOS	113

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clasificación de tubérculos de acuerdo a su peso.	53
Tabla 2. Escala valorativa para tamaño de tubérculos.	54
Tabla 3. Escala valorativa para color de tubérculos.	54
Tabla 4. Prueba de significancia de Tukey para severidad.	57
Tabla 5. Prueba de significancia de Tukey para altura	60
Tabla 6. Prueba de significancia de Tukey para Area foliar	62
Tabla 7. Prueba de significancia de Tukey para índice de area foliar.	64
Tabla 8. Prueba de significancia para Nº de tubérculos	66
Tabla 9. Prueba de significancia de Tukey para categoría de tubérculos.	69
Tabla 10. Prueba de significancia de Tukey para rendimiento	71
Tabla 11. Días a brotación para los genotipos evaluados.	78
Tabla 12. Número de yemas activas.	79
Tabla 13. Datos para índice de selección.	80
Tabla 14. Índice de selección.	80
Tabla 15. Efectos directos-indirectos de la severidad sobre el rendimiento	83
Tabla 16. Efectos directos-indirectos del IAF sobre el rendimiento	83
Tabla 17. Efectos directos-indirectos de Nº tubérculos promedio sobre rendimiento.	83
Tabla 18. Prueba de significancia de tukey para severidad fase II.	86

Tabla 19. Prueba de significancia de Tukey para severidad entre localidades Fase II.	86
Tabla 20. Prueba de significancia de Tukey para severidad, dentro de cada localidad.	89
Tabla 21. Prueba de significancia de Tukey para Número de tubérculos por planta fase II.	92
Tabla 22. Prueba de significancia de tukey por localidades para número de tubérculos por planta.	95
Tabla 23. Prueba de significancia de Tukey para categoría de tubérculos entre genotipos fase II.	98
Tabla 24. Prueba de significancia de Tukey para categoría de tubérculos entre localidades.	98
Tabla 25. Prueba de significancia de tukey para rendimiento fase II.	100
Tabla 26. Prueba de significancia de Tukey para rendimiento entre localidades.	102
Tabla 27. Prueba de significancia de tukey por cada localidad Para rendimiento.	104

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ciclo biológico de gota (<i>Phytophthora infestans</i>).	32
Figura 2. Mapa de campo Fase I	47
Figura 3. Mapa de campo Fase II.	48
Figura 4. Escala gráfica de severidad. James Clive, 1970.	52
Figura 5. Comportamiento de la severidad para los genotipos evaluados.	58
Figura 6. Altura de Plantas	61
Figura 7. Area foliar	63
Figura 8. Índice de área foliar.	64
Figura 9. Número de tubérculos por planta.	67
Figura 10. Clasificación de tubérculos por categoría.	70
Figura 11. Rendimiento Tn/ha.	71
Figura 12. Comportamiento severidad y rendimiento.	72
Figura 13. Índice de selección.	81
Figura 15. Diagrama análisis de sendero.	82
Figura 16. Comportamiento severidad fase II.	85
Figura 17. Comportamiento severidad para la interacción entre localidades.	88
Figura 18. Avance aritmético de gota (<i>Phytophthora infestans</i>) a través del tiempo.	90
Figura 19. Tasa de desarrollo de la enfermedad.	91
Figura 20. Número de tubérculos por planta para los genotipos.	93

Figura 21.	Número de tubérculos para la interacción entre localidades.	94
Figura 22.	Categoría de tubérculos para genotipos.	96
Figura 23.	Categoría de tubérculos entre localidades.	99
Figura 24.	Rendimiento fase II.	101
Figura 25.	Comportamiento severidad y rendimiento.	102
Figura 26.	Rendimiento para la interacción entre localidades.	103

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Características de tubérculos.	114
Anexo B. Análisis de varianza para severidad, altura de plantas, número de tallos, área foliar, IAF, número tubérculos y rendimiento fase I.	115
Anexo C. Condiciones climatológicas para Mapachico.	115
Anexo D. Inicio de tuberización.	116
Anexo E. Análisis de varianza para categoría de tubérculos.	116
Anexo F. correlación para severidad y rendimiento.	116
Anexo G. Análisis de varianza para regresión múltiple.	116
Anexo H. Análisis de varianza combinado severidad fase II	117
Anexo I. Análisis de varianza para tusandala fase II.	117
Anexo J. Análisis de varianza para Potosí Fase II.	117
Anexo K. Análisis de varianza para Botana.	118
Anexo L. Análisis de varianza combinado para número de tubérculos y rendimiento.	118
Anexo M. Análisis de varianza combinado para clasificación de tubérculos.	118
Anexo N. Análisis de suelos para localidades fase II.	119

GLOSARIO

Clon: individuo proveniente de una parte asexual de su progenitor, conservando sus características genotípicas y fenotípicas.

Enfermedad: cualquier alteración fisiológica de una planta o de una parte considerable de la planta, causada por un factor abiótico o biótico resultando en la manifestación de síntomas.

Escape: situación en la que una planta queda sin infección (o intento de infección) debido a que el inóculo no la alcanzó.

Epifitía: cuando un determinado patógeno se disemina e infecta a un gran número de individuos de una población en un periodo relativamente corto.

Hospedante (planta): especie de planta (u otro taxón) que es susceptible a un enemigo natural y le sirve como fuente de alimento y como sustrato para vivir.

Inóculo: las esporas u otros propágulos del patógeno o parásito a los cuales son expuestas las plantas y de los cuales se produce infección exitosa o no.

Parásito: organismo que vive permanentemente durante todo o parte de su ciclo de vida en estrecha relación con un organismo vivo del cual toma sus nutrientes en forma dañina para ese organismo.

Raza: un grupo de genotipos dentro de una especie de patógeno que son distinguidos por su espectro de virulencia.

Reacción de hipersensibilidad: capacidad de una planta para defenderse de un patógeno o parásito mediante el necrosamiento de células de la planta en el (los) sitio(s) de infección.

Resistencia: capacidad de una planta para reducir o detener el crecimiento, desarrollo y reproducción del enemigo natural después del establecimiento de un contacto íntimo.

Resistencia horizontal: resistencia que es igualmente efectiva para todos los genotipos de una especie de patógenos.

Resistencia vertical: resistencia que es efectiva contra genotipos (avirulentos) específicos de una especie de patógeno.

Severidad: se refiere al porcentaje (%) de tejido enfermo en una planta y se aplica para patógenos de efecto localizado.

Susceptibilidad: incapacidad de una planta para reducir el crecimiento, desarrollo y reproducción del enemigo natural.

Tolerancia: capacidad de una planta hospedante para restringir los síntomas o los efectos dañinos de la infección sin restringir la cantidad de infección.

Virulencia: capacidad de un patógeno para infectar una planta con uno o más genes mayores para resistencia (hipersensitividad), debido a que no posee ninguno de los genes para avirulencia correspondientes.

RESUMEN

Este ensayo se llevó a cabo en su primera fase en el Corregimiento de Mapachico, ubicado en el municipio de Pasto departamento de Nariño con una altura de 2710msnm. El objetivo del trabajo fue evaluar seis selecciones clónales de papa guata (*Solanum tuberosum sbsp andigena*) blanca, pintada, rosada tipo capiro, roja guata, roja redonda y roja loca y tres variedades mejoradas (parda suprema, roja nariño y betina) en cuanto a componentes de rendimiento y su reacción a gota (*Phytophthora infestans*) mediante severidad. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones y nueve tratamientos. Los datos fueron interpretados mediante un análisis de varianza, prueba de significancia de Tukey, regresión múltiple y análisis de sendero.

Para la variable severidad los genotipos: blanca con promedio de 19.72%, pintada (23.15%), parda suprema (21.99%) y betina (23.62%) mostraron menor severidad a la enfermedad, siendo estos los mejores genotipos, a diferencia de roja redonda, guata roja y rosada tipo capiro los cuales presentaron mayor susceptibilidad a la enfermedad.

El índice de área foliar mas alto fue para los genotipos parda suprema (23.36), roja loca (22.56) y Betina (20.11), a diferencia de los genotipos restantes. En la variable número de tubérculos por planta no hubo diferencias estadísticas entre los genotipos blanca, pintada, roja nariño, parda suprema, roja redonda, betina, rosada tipo capiro y roja loca con promedios que oscilaron entre 12.8 y 17.4, en comparación al genotipo roja redonda que presentó el promedio más bajo (9.8).

Los mejores rendimientos los presentaron los genotipos blanca (29.61 Tn/Ha), pintada (24.6), parda suprema (25.7), betina (27.1) y roja loca (28 Tn/Ha). Los rendimientos más bajos fueron para roja nariño, rosada tipo capiro, roja redonda y roja guata con promedios que oscilaron entre 15.47 y 19.21 Tn/ha.

Para los componentes de rendimiento (Índice de área foliar, número de tubérculos por planta, y severidad a gota) el análisis de regresión múltiple y de sendero, determinó que las variables de mayor aporte sobre el rendimiento fueron severidad y número de tubérculos con un efecto total de -0.64 y 0.80 respectivamente.

Finalmente, se estableció un índice de selección teniendo en cuenta rendimiento, severidad a gota, color y tamaño de tubérculos. Los genotipos seccionados fueron: blanca, pintada, betina, parda suprema y roja loca, los cuales se llevaron a evaluaciones posteriores en una segunda fase.

La segunda fase de evaluación con los cinco genotipos seleccionados previamente se llevó a cabo en tres regiones del departamento de Nariño (Ipiales

con una altura de 2900 m.s.n.m, Pasto con 3100 m.s.n.m y Potosí con 2750 m.s.n.m), con el objetivo de evaluar su reacción a gota (*Phytophthora infestans*) mediante severidad y rendimiento en comparación con un testigo comercial (Diacol capiro). En cada municipio se utilizó un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones y seis tratamientos. Los datos se interpretaron mediante un análisis de varianza combinado y prueba de significancia de Tukey.

En cuanto a severidad la localidad con menor porcentaje fue Potosí con promedio de 33.09%, en comparación a Pasto que tuvo la severidad mas alta (47.88%). Dentro de Potosí los genotipos mas tolerantes fueron betina, parda suprema, blanca y pintada con severidades de 28.77, 25.13, 22.86 y 18.75 respectivamente, en comparación al testigo que fue un genotipo susceptible a la enfermedad (50.46%).

Para la variable rendimiento Potosí fue la localidad que presentó el mas alto (21.85 Tn/ha), en comparación a Ipiales que tuvo el rendimiento mas bajo (12.76 Tn/ha). En la localidad de Potosí los genotipos con mayor rendimiento fueron blanca, pintada, parda suprema y betina con rendimientos de 30.97, 29.47, 27.09 y 23.4 Tn/ha respectivamente, en comparación con el testigo (12.43 Tn/ha) y el genotipo roja loca (7.73 Tn/ha) que fueron los rendimientos mas bajos.

ABSTRACT

This experiment in its first stage, was carried out at Mapachico, located in Pasto, department of Nariño at 2710 meter on the sea level, in order to assay six potatoe cloning selections (*Solanum tuberosum sbsp andigena*) blanca, pintada rosada capiro , roja guata , roja redonda, roja loca and three bettered cultivars (parda suprema, roja nariño and betina). About the yielding components and its reaction to late blight (*Phytophthora infestans*) by means of severity, it was used an experimental design at random blocks, with four repetitions and nine treatments; the data was interpreted by means of a anova, a Tukey significance testing, multiple regression and footpath analysis.

For the severety variable the genotypes: blanca with 19.72% average, pintada (23.15%), parda suprema (21.99%) and betina (23.62%) showed lower severity to the disease, being thus the best genotypes samples, different from roja redonda, guata roja and rosada capiro which presented higher susceptibility to the disease.

The higher index of foliar area was for parda suprema (23.36%), roja loca (22.56%) and betina (20.11%), different from the remaining genotypes in the amount of tubers for plant, there was no statistic difference among the sample kinds blanca, pintada, roja nariño, parda suprema, roja redonda, betina, rosada capiro and roja loca with averages of 12.8 and 17.4, compared to the genotype roja redonda which had the lowest average (9.86).

The best yielding were presented by the genotypes blanca, (29.61tn/ha), pintada (24.6), parda suprema (25.7), betina (27.1) and roja loca (28Tn/Ha).

The lowest yielding were for roja Nariño, rosada capiro, roja redonda, and roja guata with an average of (15.47) and 19.21 Tn/Ha.

For the yielding components (foliar area, amount of tubers for plant, and severity of disease), the multiple regression analysis and footpath, determined that the higher production variables on yielding were: incidence, severity, the amount of tubers with an effect of 0.65, 0.68 and 0.80 respectively.

Finally, a selection index was established, by taking into account the yielding, severity and incidence to the late blight color and size of tubers. The selected genotypes were: blanca, pintada, betina, parda suprema and roja loca which were taken to further testing on a second stage.

The second testing stage with this five selected genotypes, was carried out in three regions of Nariño (Ipiales at 2900 m. o. s. l., Pasto at 3100 m. o. s. l and Potosi at 2750 m. o. s. l in order to test its reaction to *Phytophthora infestans* (late blight) based with incidence, severity and yielding compared(Diacol Capiro) as control. In each municipality, it was used a random block design with four repetitions and six treatments. The data interpretation was an anova combined and the Tukey significance test.

Talking about severity, the lowest percentage was for Potosí, 33.09% average, compared to Pasto that got the highest severity (47.88%). In Potosí, the strongest genotypes were betina, parda suprema, blanca and pintada with severity degrees of 28.77, 25.13, 22.86 and 18.75 respectively, compared to those from the control which was susceptible to the disease (50.46%).

For the yielding variable, Potosí showed the highest level (21.85 Tn/Ha) compared to Ipiales which had the lowest one. (12.76 Tn/Ha).

The genotypes with the highest crop yielding were gotten in Potosí, and these were: blanca, pintada, parda suprema, and betina with a yielding average of 30.97, 29.47, 27.09 and 23.4 Tn/Ha and roja loca 7.73 Tn/Ha which were the lowest crop yielding.

EVALUACION DE LA REACCION DE GENOTIPOS DE PAPA *Solanum tuberosum* AL ATAQUE DE *Phytophthora infestans* CAUSANTE DE GOTA.

POR:

**ANA ELIZABETH PORTILLA BENAVIDES
HUGO ALEJANDRO SALAS PATIÑO**

INTRODUCCION

La papa juega un rol significativo en el sistema global de alimentación. Es una fuente importante de empleo e ingresos en las áreas rurales, con frecuencia marginales, y también para la mujer. Además, se adapta a una amplia gama de usos; seguridad alimentaría, alimentos básicos (para consumo fresco y en forma procesada), cultivos comerciales, para alimento animal y como materia prima para fines industriales¹.

Este cultivo es la principal actividad agrícola de las zonas andinas en Colombia desarrollada por cerca de 90.000 familias. Se caracteriza por el uso intensivo de fertilizantes y plaguicidas, alta demanda de mano de obra rural no calificada (entre 110 y 120 jornales por hectárea), y por ser un cultivo disperso, aislado, de pequeños productores con limitado acceso a la tecnología.²

En la actualidad se cultivan en Colombia alrededor de 152.297 hectáreas según el Ministerio de Agricultura para el año 2005, con una producción de 2,709.341 Ton y un Rendimiento de 17.755 Kg/ha.³

Nariño se caracteriza por tener una de las mayores producciones de papa en el país siendo las variedades roja, parda, y capiro las más reconocidas en el interior.

¹ FEDERACION COLOMBIANA DE PRODUCTORES DE PAPA. Vademécum del cultivo de la papa. Bogotá, Colombia. Grafemas Ltda. 2002. p. 125.

² CEVIPAPA. Centro virtual de investigación de la cadena agroalimentaria de la papa. El cultivo de papa en Colombia. [en línea] Bogotá. Dic. 2004. [citado 14, Mar., 2007]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.Cevipapa.org.co/cultivo/colombia.php>>.

³ REPUBLICA DE COLOMBIA. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Anuario estadístico del sector agropecuario. Bogotá: Bochita Ltda., 2005. p. 59-61.

En el departamento de acuerdo al censo papero 2005-2006 se reportan 25.631 hectáreas anuales, con una producción de 442,092 Ton y un rendimiento de 17.342 Kg/ha.⁴

La papa es considerada como un producto básico en la alimentación de los colombianos, ocupando el cuarto lugar después de los cereales maíz, arroz y trigo, sin embargo, este cultivo se ve sometido a una fuerte presión de plagas y enfermedades, siendo la “gota” o tizón tardío la enfermedad más limitante o de mayor importancia económica, causada por el fitopatógeno *Phytophthora infestans*.⁵ Esta enfermedad ha ocasionado grandes pérdidas económicas, sociales y culturales como se puede referenciar en la famosa hambruna de Irlanda en la década de 1840 y en menor escala en otras partes del mundo⁶.

El tizón tardío es una enfermedad que se presenta en casi todas las regiones paperas, especialmente en zonas de clima húmedo y frío, pudiendo destruir totalmente la plantación en poco tiempo, razón por la cual se considera el problema más serio para su producción a nivel mundial⁷. Su agresividad afecta negativamente la rentabilidad del cultivo al depender en gran parte de la aplicación de fungicidas y del uso de variedades con resistencia de campo⁸. En general, el tizón tardío puede desarrollarse como epidemia en determinados rangos de temperatura y en el campo se comporta como una enfermedad policíclica, originando una curva de progreso cuya forma varía de acuerdo con las condiciones climáticas⁹.

Las variedades de papa sembradas en Colombia son altamente susceptibles a este patógeno, y la protección de las cosechas está basada en el uso de fungicidas. Si la enfermedad no es controlada a tiempo puede ocasionar pérdidas hasta del 100%. Para su control se hacen en promedio unas 10 aplicaciones por ciclo de cultivo.¹⁰

⁴ MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Consolidado agropecuario acuícola y pesquero. Pasto: Editar, 2006. p. 114-116.

⁵ ORDÓÑEZ, Nelson. Antagonismo invitro de aislamiento de trichoderma sobre el patógeno *Phytophthora infestans*, causante del tizón tardío en papa (*Solanum tuberosum*). Pasto, 2005. p. 21. Trabajo de Grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas.

⁶ JARAMILLO, Sonia. *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary. Medellín, 2003. p 27. Monografía de grado. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

⁷ AGRIOS, G. Plant pathology. 5 ed. México: Ed. Limusa, 2004. p. 310.

⁸ JONSON, D. et al. El tizón de la papa (*Phytophthora infestans*). Boletín de información Técnica 4. Centro Internacional de la Papa (CIP). Lims; 1990. p.20.

⁹ HARRISON, J. Effects of the aerial environment on late blight of potato foliage a review. Review plant pathology. 41 (4): 384-416. 1992.

¹⁰ MALDONADO, I; DELGADO, M y GARCIA, C. Estudio la estructura genética de las poblaciones de *Phytophthora infestans* en las regiones productoras de papa en Colombia. Redepapa. 2003. P: 3.

El mejoramiento genético es una de las herramientas fundamentales del Manejo Integrado de Plagas y quizás la que menos “externalidades” negativas tiene, considerando principalmente su impacto ambiental.

Actualmente entidades de gran importancia como FEDEPAPA, Universidad Nacional, ICA entre otras, han venido desarrollando investigaciones con miras a obtener genotipos con cierto grado de resistencia a *Phytophthora infestans*, sin embargo con el paso del tiempo la resistencia ha ido disminuyendo y actualmente el número de aplicaciones realizadas es igual en algunos casos al de los genotipos susceptibles, razón por la cual se hace necesario continuar con investigaciones que permitan obtener nuevos materiales promisorios que posteriormente pueden ser utilizados como bases para el manejo eficaz de la enfermedad.

Los objetivos del trabajo fueron los siguientes:

- Aportar al conocimiento del manejo de la enfermedad de gota en papa (*Phytophthora infestans*).
- Evaluar seis selecciones clónales de papa guata y tres variedades mejoradas, en cuanto a componentes de rendimiento y reacción a gota (*Phytophthora infestans*).
- Evaluar los mejores genotipos obtenidos en el primer ciclo en cuanto a severidad e incidencia a gota (*Phytophthora infestans*) y rendimiento, en tres regiones paperas del departamento de Nariño.

1. MARCO TEORICO

1.1 ASPECTOS GENERALES DEL CULTIVO DE PAPA

El cultivo de la papa se destaca en la actividad agropecuaria por sus aspectos directamente relacionados con su explotación y por la variada cantidad de actividades que se generan en torno a este producto. En forma indirecta, es un gran promotor de otros sectores de la economía como es transporte, la industria procesadora de derivados de la papa, las firmas productoras distribuidoras de agroquímicos, la producción de empaques, el estímulo de actividades que incrementan valor al producto como lavado y selección, entre otras actividades relacionadas¹¹.

1.2. LA GOTA (*Phytophthora infestans*)

1.2.1 Origen del patógeno *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary.

El nombre del género *Phytophthora* se deriva del griego que literalmente significa:

Phyto: planta

Phthora: destructor

Y la especie *infestans*, es el agente que causa el tizón tardío (gota) de la papa, el cual tiene varios sinónimos.

Según Bourke¹², hubo muchas teorías para explicar la nueva enfermedad que apareció en la papa en Europa Continental, las islas Británicas, pero la mayoría de los comentarios se basan en el mal clima (tiempo lluvioso y polución industrial).

Hacia 1845, Morren de Bélgica escribió varias cartas en las que sostenía que un hongo era la causa del tizón en la papa, teoría fuertemente controvertida. Posteriormente se dio a conocer como *Phytophthora infestans* la cual fue confirmada por Anthon de Bary 1876¹³.

¹¹ MORENO, J. Manejo integrado del cultivo de la papa. Tibaitatá, CORPOICA, 2000. p. 152.

¹² BOURKE, P. Emergente of potato blight. 1843 - 1846. Nature. 203:805-808. 1964.

¹³ ERWIN, D AND RIBEIRO, O. *Phytophthora* Diseases Worldwide. Minesota. The American Phytopathological Society, 1996. 562 p.

1.3 IMPORTANCIA

Phytophthora infestans, muestra gran virulencia en la gran mayoría de especies de la familia Solanáceae, este patógeno afecta cultivos como: papa (*Solanum tuberosum*), el tomate de árbol (*Solanum betacea*), tomate de mesa (*Lycopersicon esculentum* Mill). La enfermedad puede destruir el follaje y los tallos de éstas en cualquier momento durante el crecimiento de las plantas. También puede atacar los tubérculos de la papa y los frutos del tomate en el campo, así como en almacenamiento¹⁴.

La gota puede destruir totalmente todas las plantas de una zona de cultivo al cabo de una o dos semanas, cuando las condiciones climáticas son favorables y no se aplica ningún método de control¹⁵.

La importancia económica y social de *Phytophthora infestans*, no solo se debe a su impacto sobre los productos básicos de la alimentación mundial, sino también, por las investigaciones generadas a su alrededor, contribuyendo al desarrollo de la ciencia con hallazgos que han servido de origen, base y progreso de la fitopatología¹⁶.

1.4 TAXONOMIA Y CLASIFICACION DE *Phytophthora infestans*

1.4.1 Posición taxonómica.

Actualmente, *P. infestans* ya no pertenecen al reino Fungi, se lo considera protista, dentro del reino Chromista¹⁷ con la siguiente ubicación.

REINO: Chromista (grupo Stramenophyla)
PHYLUM: Oomycota
CLASE: Oomycetes
SUBCLASE: Peronosporomycetidae
ORDEN: Pythiales
FAMILIA: *Pythiaceae*
GENERO: *Phytophthora*
ESPECIE: *P. infestans*¹⁸

¹⁴ ALARCON, J. La gota de la papa: importancia de la enfermedad causada por *Phytophthora infestans* En: Plagas y enfermedades de la papa. CORPOICA, Bogotá, 2003. P. 74.

¹⁵ AGRIOS, G. Op cit. P. 303.

¹⁶ ALARCON, J. Op cit. p. 72

¹⁷ RAVEN, P; EVERT, R, and EICHHORN, S. Biology of plant, 6 ed. New York: WH Freeman and Company. 1999. P. 370.

¹⁸ ERWIN, D. C y RIBEIRO. O. K. Op cit. p. 562

El phylum Oomycota, pertenece al reino Chromista, comprende más de 700 especies, las cuales no tienen pigmentos fotosintéticos, poseen gametos masculinos y femeninos, con paredes formadas por celulosa o polímeros similares y tienen hábitos acuáticos y terrestres aunque siempre necesitan la presencia de agua.

Por sus formas filamentosas parecidas a hifas, se agrupan originalmente como hongos, y más tarde fue confirmado por estudios filogenéticos basados en las secuencias del ARN ribosomal, evidenciando que los Oomycetes adquirieron la habilidad de infectar las plantas de manera independiente que los hongos verdaderos¹⁹.

Los Oomycetes, están más relacionados con las algas, dado que presentan meiosis en los gametangios, por lo tanto sus núcleos vegetativos son de naturaleza diploide. Con micelio cenocítico muy desarrollado, del que se originan los esporangióforos y de estos los esporangios donde se desarrollan las zoosporas biflageladas (heterocontes). Lo que significa que poseen flagelos en las zoosporas con longitud y ornamentación diferente. Los flagelos se presentan en pares un flagelo largo y adornado con mastigonemas (pelos) distintivos (plumosos) y un flagelo más corto, delgado, cilíndrico y en forma de flecha²⁰.

Las características que diferencian el género *Phytophthora* de los hongos se basa en la morfología de las crestas mitocondriales (tubulares) y la bioquímica de las paredes celulares, las cuales contienen microfibrillas de celulosa con una matriz amorfa de β-1-3-glucano y no de quitina, tampoco sintetizan esteroides pero los requieren de una fuente externa para la esporulación, tienen reproducción sexual, la mayor parte del ciclo de vida es diploide, mientras que en los hongos el ciclo de vida es haploide. Según Deacon, los Oomycetes sintetizan la lisina mediante DAP (Ácido Diaminopimélico), mientras que los hongos lo hacen por la vía del AAA (Ácido Alfa-aminoadípico), surgiendo así una divergencia evolutiva entre hongos y Oomycetes²¹.

1.4.2 Morfología de *Phytophthora infestans*.

1.4.2.1 Micelio.

Son estructuras somáticas (talos), y están compuestos de filamentos, “hialinos” (hifas) ramificados y cenocíticos (no septados), excepto en cultivos viejos, en los cuales algunas veces se pueden observar septas. En cultivos jóvenes, el

¹⁹ KAMOUN, S. Basic Biology: Information of mechanisms that make *Phytophthora infestans* a pathogen. En: GILB`02 Conference late blight: Managing the Global treath. Abstract. Hamburg, Germany. (july-2002); p. 11-13

²⁰ DEACON, J. Introducción a la micología moderna. México: Limusa, 1990. p. 85.

²¹ *Ibid.*, p. 87

citoplasma fluye libremente dentro del micelio. El diámetro del micelio (5-8 micras) es variable y depende de la naturaleza física y química del medio y si el micelio está sobre la superficie aérea, sumergido o dentro de las células huéspedes. En Ocasiones el micelio se esponja, se vuelve nudoso o tuberculado y raras veces crece simétricamente²². Las hifas se ramifican en ángulos de 90° y algunas veces se constriñen en la base.

1.4.2.2 Esporangios y Zoosporas.

Los esporangios son esporas asexuales que se producen sobre pedúnculos llamados esporangioforos, los cuales difieren ligeramente de las hifas vegetativas, su desarrollo es indeterminado y se ramifican simpodialmente, lo cual es propio de *Phytophthora infestans*. Los esporangios se diferencian porque en *Phytophthora* cada uno tiene un pedúnculo, cuya longitud varía con la especie, en rangos de medio a corto como en *P. infestans*, en el cual pueden liberar hasta 36 zoosporas. Los esporangios varían en forma y tamaño. Las formas son algo diferentes para una especie en particular, pero son a menudo variables en rango: De esféricas, subesféricas, ovoides elipsoidales, limoniformes (*P. infestans*), periformes, turbinazas²³.

El patógeno *P. infestans*, produce hinchamientos característicos arriba de la zona donde se desprende el esporangio. El nuevo esporangio puede proliferar adentro de las paredes de uno vacío (proliferación interna) o el esporangióforo puede crecer hacia fuera y salir por el poro de esporangios anteriores y formar el próximo esporangio a alguna distancia del último (proliferación extendida)²⁴

El engrosamiento apical sobre el esporangio, el cual tiene forma de limón, se denomina papila, de cuyo extremo emergen las zoosporas. El espesor de esta estructura varía entre especies. La especie *P. infestans* es semipapilada o sea una cavidad superficial, cuyo poro es generalmente estrecho²⁵.

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

Los anclajes (como raicillas) de los flagelos de *P. infestans*, son significativamente diferentes, pues solo tiene cinco "raicillas", mientras que otras especies tienen seis. Una de las raicillas de las zoosporas de *P. infestans* contiene seis

²² ERWIN, D. y RIBEIRO, O. Op cit. p. 1-6.

²³ Ibid., p. 56

²⁴ JARAMILLO, S. Op cit. p. 7

²⁵ Ibid., p. 7

microtúbulos en comparación con otras especies que solo presentan cuatro. Esta característica podría ser útil para diferenciar *P. infestans* ya que parece ser única en el género²⁶.

1.4.2.3 Organos sexuales.

Los procesos sexuales involucran la producción del oogonio y el anteridio, los cuales surgen de las puntas del micelio que se contactan. Si el oogonio crece sobre el anteridio, éste se denomina anfiginio y si el anteridio rodea al oogonio, en su parte basal cerca al pedicelo, se conoce como paraginio. En *P. infestans*, el anteridio es anfíginio.²⁷

1.5 BIOLOGIA DE *Phytophthora infestans*

Villegas afirma:

Este patógeno se propaga sexual y asexualmente. La reproducción sexual sirve para proporcionar un estado de supervivencia a las esporas (oosporas) y generar nuevas combinaciones de genes²⁸. Agrios, sostiene que para este tipo de reproducción requiere un par de tipos de compatibilidad, y debido a que solo uno de ellos ocurre en la mayoría de países, la fase sexual rara vez se ha observado²⁹.

1.5.1 Reproducción Asexual.

Legard *et al.*, afirman que: “El esporangio (zoosporangio) es la unidad de reproducción asexual, el cual puede ser producido en abundancia en muchas especies huéspedes. Una sola lesión puede producir hasta 300.000 esporangios en una noche”³⁰

Según Smart *et al.*:

Cada esporangio presenta de seis a diez núcleos, se desprenden fácilmente de los esporangioforos cuando maduran y son arrastrados por los vientos que los dispersan y las altas humedades relativas, los ayudan a germinar en los tejidos de las plantas hospedantes, mediante germinación directa a través de un tubo germinativo o indirectamente al producir zoosporas³¹.

²⁶ ERWIN, D Y RIBEIRO, O. Op cit. p. 6

²⁷ Ibid., p. 6.

²⁸ JARAMILLO, S. Op cit. p. 57

²⁹ AGRIOS, G. Op cit. p. 302

³⁰ LEGAR, D. E; LEE, T. and FRY, W. Phytopathology. USA: *s.n.*, 1995. p. 1356-1361.

³¹ SMART, C, *et al.* Molecular techniques and mystery of the potato late blight pathogen. Plant microbe interactions. vol 5. edited by Gary Stacey and Noel Keen. Paul Minnesota (U.S.A). 2000. P: 21-41.

Castaño afirma, bajo condiciones favorables *Phytophthora*, infecta el tejido susceptible, los esporangióforos emergen a través de los estomas y liberan numerosos esporangios. Estos pueden germinar directamente en los tejidos, o son diseminados por la lluvia y el viento generando ciclos secundarios de la enfermedad³².

Según Ries *et al.*, la germinación de los esporangios es afectada por la temperatura así: temperaturas entre 18-24 °C, favorecen la germinación directa de los zoosporangios, mientras que temperaturas inferiores 12-16 °C, estimulan la liberación de las zoosporas móviles (10 a 20), por el fraccionamiento del citoplasma multinucleado, en las células uninucleadas de paredes delgadas. Los tubos germinativos pueden penetrar directamente la epidermis de las hojas y tallos (no requieren estomas) Y en los tubérculos por las lenticelas o heridas³³.

Los esporangios de los Oomycetes están programados más para la producción de zoosporas que para la germinación directa. Cada zoospora produce dos flagelos, pero después de aproximadamente una hora de movilidad las zoosporas se enquistan (pierden los flagelos y desarrollan una pared celular) y germinan por la producción de un tubo germinativo³⁴.

1.5.2 Reproducción Sexual.

Según Smart *et al.*³⁵, la formación de oosporas es uno de los aspectos más relevantes del ciclo de vida de *P. infestans*. Como organismo heterotálico, son necesarios ambos tipos de apareamiento denominados A1 y A2 para la reproducción sexual.

La meiosis ocurre inmediatamente antes del desarrollo de los gametangios, representando el único estado haploide del ciclo de vida de este organismo. La cariogamia se da entre estos dos núcleos haploides, formando una oospora diploide uninucleada de paredes gruesas, que puede servir además, como estructura de supervivencia para el invierno en las zonas templadas³⁶.

Las oosporas se forman cuando los micelios con distinto tipo de apareamiento A1 y A2, crecen juntos y uno de ellos puede formar células masculinas (anteridio) y el

³² CASTAÑO, Jairo. Manejo del tizón de la papa: estado actual. *En:* Papas colombianas mejor entorno ambiental. Resúmenes. Santa fe de Bogotá: s.n., 1996. p. 95.

³³ RIES, A. *et al.* *Phytophthora infestans* populations in Brazil: Current status and epidemiological features. E.S.G. 2002.

³⁴ SMART, C. Op cit. p. 41

³⁵ FRY *et al.* Late blight forecasting: quantifying the risk from a know source. *En:* GILB'02 Conference late blight managing the Global Threat. Abstracts, 11-13 July, Hamburg, Germany. 2002.

³⁶ DRENT, A., JANSSEN, E. and GOVERS, F. Formation and survival of soprores of *Phytophthora infestans* under natural conditions. USA: Plant Pathology, 1995. p. 44.

otro células femeninas (oogonio). El oogonio crece a través del anteridio permitiendo la fertilización. El oogonio fertilizado se convierte en una espora de descanso, que le permite resistir condiciones desfavorables, como sequía, bajas temperaturas, ausencia de huéspedes. Las oosporas forman un tubo germinativo sobre el cual se forma un zoosporangio similar a los de la reproducción asexual, el cual germina y las zoosporas resultantes pueden iniciar un nuevo ciclo de vida³⁷.

Según Fry, "Las fallas del control de la enfermedad por resistencia a fungicidas dependen básicamente, de la variabilidad genética disponible"³⁸. Y, teniendo en cuenta que *P. infestans* es un patógeno obligado, la producción de oosporas elimina la dependencia de los tejidos del hospedante, incrementa la longevidad y la cantidad de inóculo, generando así un rápido reemplazo de las poblaciones de carácter asexual por la reproducción sexual³⁹.

Donde coexisten los tipos de apareamiento A1 y A2, se pueden observar oosporas en las hojas de papa que crecen en el campo, indicando que la recombinación sexual puede generar más variación y un banco de oosporas en el suelo, razón por la cual Shaw y Wattier⁴⁰, consideran que es necesario identificar y cuantificar los factores involucrados en la evolución del patógeno como: cambios climáticos; métodos de cultivo de los hospedantes; sexualidad; parasexualidad; migración de otras poblaciones sobre papa y otros hospedantes; deriva genética y mutación.

³⁷ FRY *et al.* Op cit. P: 89-95

³⁸ Ibid., p. 95

³⁹ GOODGWIN, S.B. The Population Genetics of *Phytophthora*. En: Phytopathology. USA. Vol 87, N° 4 (Abril, 1997); p. 462.

⁴⁰ SHAW, D. *et al.* Evolution de *Phytophthora infestans* : A Global Overview. En: GILB`02 CONFERENCE Late blight : managing the Global Threat. Abstracts. 11-13, july, Hamburg, Germany.

1.6 CICLO DE VIDA *Phytophthora infestans*

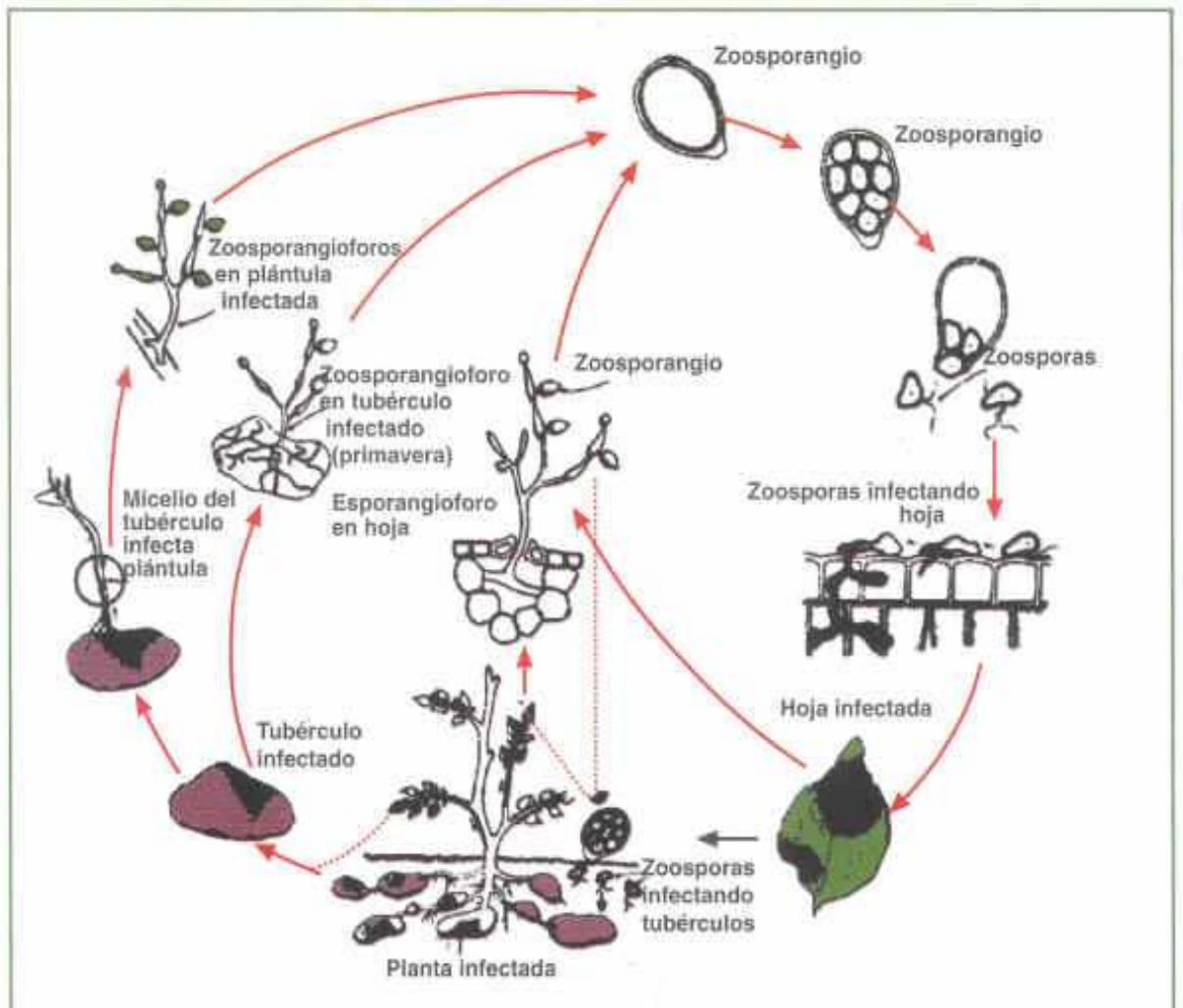


Figura 1. Ciclo de vida de *Phytophthora infestans*. Tomado de <http://www.cals.ncsu.edu/plantpath/faculty/ristaino/graphyocs/fig1.gif>.

1.7. MECANISMOS DE VARIACION GENETICA EN *Phytophthora infestans*

Goodwin afirma:

“La **mutación** es el principal mecanismo de variación genética en el género *Phytophthora*. En *P. infestans*, todos los miembros de un linaje clonal descienden de un grupo individual, siendo el más común el US-1, el cual corresponde al tipo

de apareamiento A1 y al parecer se derivó de un ancestro mexicano; algunos análisis moleculares han detectado algunas mutaciones en el ADN nuclear y mitocondrial, dichas variaciones son idénticas al genotipo más común de su linaje, excepto por una o dos aloenzimas o cambios en el ADN. Las mutaciones pueden ocurrir además por presión de fungicidas sobre las poblaciones del patógeno. De igual manera se ha atribuido a procesos mutacionales el cambio en el grado de virulencia observado en diferentes aislamientos del patógeno⁴¹.

La recombinación mitótica, es otro mecanismo de variación genética, se da cuando los locus heterocigóticos cambian a homocigóticos, lo que implica que caracteres recesivos se expresen en el nuevo individuo homocigótico. Sin embargo dicha variación no ha sido comprobada directamente, debido a la falta de marcadores adecuados.

La **recombinación parasexual**, es un mecanismo que se presenta muy frecuentemente en las poblaciones de *P. infestans*, el cual consiste en la recombinación de genes de dos razas en un núcleo, de esta forma una nueva raza será aquella que contenga los genes de ambas razas originales. Este hecho implica que más de un núcleo puede migrar al esporangio durante el tiempo de su migración⁴².

La **introgresión por hibridación** con otras especies de *Phytophthora* es otro de los mecanismos observados en *P. infestans*; híbridos interespecíficos entre *P. infestans* y *P. mirabilis* han sido obtenidos en laboratorio. También se ha planteado que la aparición de razas de *P. infestans*, puede estar influenciada por la presencia de **elementos extranucleares** transponibles, capaces de incorporarse al genoma de las células del patógeno⁴³.

La **fusión de zoosporas**, ha sido reportada para *P. infestans*, convirtiéndose en una posible vía para presentarse una síntesis de heterocarión en condiciones de campo, donde zoosporas de genotipos diferentes pueden encontrarse en la misma gota de agua⁴⁴.

1.8. SINTOMATOLOGÍA Y DESARROLLO DE LA ENFERMEDAD

Según Agrios, “los síntomas inicialmente toman la apariencia de manchas húmedas circulares o irregulares y por lo común aparecen en las puntas o bordes de las hojas inferiores. En tiempo húmedo, las manchas se extienden con rapidez y forman zonas cafés y atizonadas que presentan bordes irregulares. A nivel del borde de las lesiones en el envés de las hojas, se forma una zona blanca

⁴¹ GOODWIN, S. Op cit. p. 479

⁴² SHAW, D. Op cit. P: 552-556

⁴³ FRY, E. Op cit. p. 661

⁴⁴ GOODWIN, S. Op cit. p. 479

constituida por hifas del patógeno, posteriormente todo el foliolo, y más tarde todos los folíolos, de una hoja son infectados, mueren y se hacen flácidos. En condiciones prolongadas de humedad, todos los órganos tiernos y aéreos de las plantas se marchitan y pudren con gran rapidez, desprendiendo un aroma característico”⁴⁵

Cuando el micelio alcanza las partes aéreas de las plantas, produce esporangioforos (esporangios) que emergen a través de los estomas de las hojas y del tallo y se proyectan al aire, estos se desprenden y son diseminados por la lluvia o son llevados por las corrientes de aire cuando han llegado a su madurez. Al depositarse sobre las hojas o tallos húmedos de la papa, los esporangios germinan y producen nuevas infecciones. El tubo germinal penetra la cutícula de la hoja o entra a través de una estoma y forma un micelio que crece rápidamente entre las células el cual envía largos haustorios hacia el interior de ellas; estas células finalmente mueren y así como empiezan a degradarse, el micelio se propaga hacia nuevos tejidos. Como consecuencia pueden producirse numerosas generaciones asexuales del patógeno⁴⁶.

El desarrollo epidémico del tizón tardío depende en gran parte del efecto que tiene la humedad y la temperatura sobre las distintas etapas del ciclo de vida del patógeno. La mayor esporulación se presenta con una humedad relativa del 100% (o valores aproximados) y a temperaturas comprendidas entre 16 y 22 °C. Los esporangios pierden viabilidad al cabo de 3 a 6 horas, con humedad relativa inferior al 80%. La germinación de los esporangios tiene una duración de 0.5 a 2 horas, se produce cuando hay rocío o presencia de agua sobre las hojas de las plantas y, dentro de un rango de temperatura entre 10 y 15°C, con un rango de tiempo de media hora a dos. Una vez que los esporangios han germinado, se requiere un periodo de dos a 2.5 horas con temperaturas que van de 15-25 °C para que se produzca la penetración de los tubos germinales en los tejidos del hospedante. Una vez dentro, el micelio se desarrolla con mayor rapidez a una temperatura de 17 a 21°C, el cual es también óptimo para que pueda esporular. Las temperaturas mayores a los 30°C inhiben el desarrollo del patógeno en el campo pero no lo destruyen, de ahí pueda esporular de nuevo cuando la temperatura sea favorable, pero siempre y cuando la humedad relativa sea suficientemente alta⁴⁷.

⁴⁵ AGRIOS, G. Op cit. p. 371

⁴⁶ AGRIOS, G. Op cit. p. 320

⁴⁷ DONALD, C y ERWIN J. *Phytophthora* diseases worldwide. U.S.A., Sn. 1996. p. 312,

1.9 INTERACCIÓN PATÓGENO – HOSPEDANTE

Las interacciones entre una planta y un microorganismo pueden mostrar varios tipos que van desde las relaciones altamente perjudiciales para el hospedante hasta las que benefician tanto al hospedante como al microorganismo⁴⁸.

1.9.1 El patógeno: una vez dentro del hospedante, los patógenos pueden causar infecciones locales o sistémicas, de acuerdo con su capacidad característica de desplazamiento, influida a su vez por la respuesta de la planta afectada.

Los patógenos, frecuentemente secretan enzimas líticas mediante las cuales se abren paso a través de las células y tejidos vegetales con lo que, simultáneamente originan su desintegración. También se reconoce su capacidad para elaborar toxinas (sustancias no enzimáticas) y/o producir o afectar la disponibilidad de los reguladores de crecimiento de la planta atacada⁴⁹.

Los principales grupos de sustancias que secretan los patógenos en las plantas y que al parecer participan en la aparición de una enfermedad, ya sea directa o indirectamente, incluyen las **enzimas, toxinas, reguladores de crecimiento y polisacáridos**. Estos grupos de sustancias varían ampliamente de acuerdo a la importancia que tienen en la patogenicidad y su importancia relativa puede variar de una enfermedad a otra⁵⁰.

1.9.2 El hospedante: con el paso del tiempo las plantas han adquirido determinadas características para anular o contrarrestar los efectos de los diversos patógenos, dichas características son consideradas como **mecanismos de defensa**.

Los mecanismos involucrados son pasivos o preexistentes cuando se encuentran normalmente en la planta antes de la llegada del patógeno, pueden ser activos cuando son el resultado de la respuesta de la planta ante la presencia del patógeno⁵¹.

1.9.2.1 Mecanismos de defensa Pasivos o preexistentes: estos mecanismos pueden considerarse como barreras anatómicas o químicas que impiden el establecimiento del patógeno, aparecen antes de la infección siendo característica propia del hospedante. Los mecanismos de defensa pasivos dependen

⁴⁸ KEEN, N. The molecular biology of disease resistance. *Plant molecular biology* 19: 109 – 122.

⁴⁹ DICKINSON, C y LUCAS, A. *Patología vegetal y patógenos de las plantas*. México: Limusa, 1991. 2ª edición. 303 p.

⁵⁰ *Ibid.*, p. 250.

⁵¹ COLLINGE, D; MADRIS, K and NEWMAN, N. *The responses of plants to pathogens*. Holanda, Academic Publics, 2001.

fundamentalmente de tres factores: la estructura de la epidermis o **cutícula** la cual genera resistencia a la penetración de patógenos debido a la presencia de materiales cerosos que actúan como repelentes del agua o debido a su grosor; la estructura de los **estomas** de acuerdo a la cantidad y disponibilidad de estos será el grado de penetración del patógeno, y el **escape** que se da cuando al coincidir los factores necesarios para que una planta se enferme, sin embargo, ésta no llega a ser infectada⁵².

1.9.2.2 Mecanismos de defensa Activos: este tipo de mecanismos son inducidos cuando el hospedante queda expuesto al patógeno, por lo tanto las plantas muestran varios grados de resistencia que consisten en la formación de uno o más tipos de estructuras que tienen mas o menos cierta efectividad para contrarrestar las invasiones posteriores de los patógenos sobre ellas. Algunas de las estructuras de defensa formadas incluyen a los tejidos que impiden el avance del patógeno (hacia el interior de la planta), por lo que se les denomina **estructuras histológicas de defensa**; otras comprenden las paredes de las células invadidas y se les denomina **estructuras celulares de defensa**; otras incluyen al citoplasma de las células atacadas y se denominan **reacción de defensa citoplasmática**. Por último, la muerte de las células invadidas puede proteger a la planta de otras invasiones, por lo que se denomina **reacción necrótica o reacción de hipersensibilidad**⁵³.

1.10 BASES GENÉTICAS DE LA RESISTENCIA

Las plantas son resistentes a ciertos patógenos debido a que pertenecen a grupos taxonómicos que son inmunes a esos patógenos (**resistencia de plantas no hospedantes**), porque tienen genes que proporcionan resistencia directa ante los genes que determinan la virulencia del patógeno en particular (**Resistencia verdadera**) o bien debido a que por varias razones, las plantas escapan o toleran la infección causada por esos patógenos (**resistencia aparente**)⁵⁴.

1.10.1 Resistencia Vertical

Esta resistencia depende de uno o pocos pares de genes responsables de la defensa estructural o la respuesta activa del patógeno. Dicha resistencia generalmente es total y se puede romper con la aparición de una nueva raza con su gen de virulencia activada con la presencia de un inductor permanente en el hospedante, cuya genética de resistencia no es activada por la falta de un inductor

⁵² MARTIN, G. Function análisis of plant disease resistance genes and their downstream effector. Current opinion in plant biology 2: 273- 279. 1999

⁵³ AGRIOS, G. Op cit. P: 99-100

⁵⁴ JARAMILLO, S. Op cit. p. 63

en el patógeno, lo cual lleva a que una variedad inicialmente resistente se torne susceptible al patógeno⁵⁵.

La resistencia específica es manifestada por una respuesta o reacción de hipersensibilidad (HR) rápida, que produce una necrosis localizada en el sitio de infección, lo que restringe el patógeno al sitio de la infección, impidiendo su expansión a otros tejidos de la planta, debido a que el producto de un gen de resistencia dominante de la planta (R), interactúa con un elicitador específico de la raza del patógeno, producto de un gen genéticamente dominante de avirulencia "AVr" que resulta en el estímulo de una reacción de hipersensibilidad⁵⁶.

Este tipo de resistencia ha sido usada tradicionalmente para conferir resistencia a la gota, por cruzamientos de variedades comerciales con la especie Silvestre *Solanum demissum* (L)⁵⁷.

1.10.2 Resistencia Horizontal o de Campo.

La resistencia de campo incluye todas las formas de resistencia heredada que posean las plantas con excepción de la debida a hipersensibilidad o vertical y controladas por genes R. la resistencia de campo es, por tanto, un complejo determinado por características morfológicas y/o fisiológicas de la planta y su operación se debe a un sistema poligénico de frecuencia llamado **genes menores**⁵⁸

La resistencia horizontal se presenta cuando las variedades del hospedante reaccionan igual a todas las razas del patógeno. En este caso se dice que ellas varían en agresividad, pero no en virulencia⁵⁹

Las características de la resistencia de campo generalmente se expresan por la reducida posibilidad del establecimiento del patógeno, por una demora e inadecuado reconocimiento de los elicitores del patógeno, por los genes débiles de resistencia (R) lo que se traduce en la reducción del progreso del patógeno en los tejidos del hospedante, y por una reducida o ausencia de la esporulación y

⁵⁵ SAÑUDO, B. *et al.* Fundamentos de micología. UNIVERSIDAD DE NARIÑO. Pasto, 2003. p. 139.

⁵⁶ AGRIOS, G. Op cit. p. 128.

⁵⁷ JARAMILLO, S. Aspectos bioquímicos de la resistencia de la papa al ataque del hongo *Phytophthora infestans* En: REVISTA FEDEPAPA 17: 4., junio 17 de 1997.

⁵⁸ MARTIN, G. Op cit. p. 259

⁵⁹ SAÑUDO, B. *et al.* p. 139

desarrollo de la lesión⁶⁰. Existe cierto grado de resistencia horizontal en las plantas sin importar si esta presentó o no la resistencia vertical⁶¹.

1.10.3 Resistencia de no hospedante

Una especie de planta es no-hospedante a una especie de parásito X si ningún individuo de la especie de planta es susceptible a cualquiera genotipo de la especie X. Mientras ningún genotipo de la especie de planta haya sido concebido como infectado, se considera una especie no-hospedante⁶².

1.10.4 Resistencia Sistémica Adquirida

La resistencia sistémica adquirida (SAR) se presenta cuando se da un ataque localizado de un patógeno, sin lograr éxito. Involucra un incremento del estado de resistencia a una amplia gama de patógenos y está asociada con el incremento de la expresión de los genes que codifican para las proteínas relacionadas (PR) con la patogénesis. En otros casos, el patógeno que ataca es impedido por la resistencia sistémica inducida (RSI), la cual no está asociada con un incremento en la expresión de las proteínas relacionadas con la patogénesis.

La SAR ocurre en muchas especies de plantas incluyendo la papa, en la cual puede ser iniciada por el efecto de compuestos de paredes hifales, ácidos grasos no saturados y ácido jasmonico, que dan un incremento a la resistencia a *Phytophthora infestans*. Puede ser inducida por muchas señales, pero además, los niveles básicos pueden variar entre plantas⁶³.

1.10.5 Tolerancia a la enfermedad

Es la capacidad de las plantas para producir una buena cosecha aun cuando sean infectadas por un patógeno. La tolerancia, es el resultado de las características hereditarias específicas de la planta hospedante que permiten que el patógeno se desarrolle y propague en ella, mientras que la planta, sobrevive para dar una buena cosecha⁶⁴.

Además, Sañudo y Betancourt afirman que: “Se considera tolerancia como una reacción intermedia entre la resistencia moderada y la susceptibilidad moderada,

⁶⁰ ESTRADA, R. la biodiversidad en el mejoramiento genético de la papa CIP-IPGRI-PRACIPAIPTA-PROINPACOSUDE-CID. Edición de Hardí, B y MARTINEZ, E. Impreso en Bolivia, 372p.

⁶¹ AGRIOS, G. Op cit. p. 128

⁶² FEDERACION COLOMBIANA DE PRODUCTORES DE PAPA. La gota de la papa. Bogotá., Boletín informativo N° 17, 1997. 32p.

⁶³ JARAMILLO, S. *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary. Op cit. p. 63

⁶⁴ AGRIOS, G. Op cit. p 131

con manifestaciones tardías de síntomas y no hay pérdidas significativas en los rendimientos”⁶⁵.

1.11 RAZAS FISIOLÓGICAS DE *Phytophthora infestans*

Una raza fisiológica es definida como un grupo de formas que son, semejantes en morfología pero diferentes por alguna característica cultural, fisiológica, bioquímica u otra característica. Una raza fisiológica se considera un biotipo que es patogénico en algunos cultivares de plantas pero no en otros. Algunos autores usan el término raza patológica, en la mayoría de los casos la resistencia en el hospedante para las razas patológicas es heredada por un solo género y es dominante⁶⁶.

Según Gonzáles y García., “En Colombia recientes estudios de tipo fisiológico y molecular dan a conocer que los aislamientos del departamento de Antioquia y Cundinamarca solamente corresponden al tipo de apareamiento A1”⁶⁷. Se encontró también para los aislamientos antioqueños diversidad en las razas fisiológicas y dos linajes clonales: EC-1 para las cepas aisladas de *Solanum tuberosum* y US-1 para las cepas aisladas de otros hospedantes diferentes a la papa⁶⁸.

1.11.1 Razas fisiológicas en Nariño

Según Mejía, “Estudios correspondientes a la identificación de diferentes razas fisiológicas determinaron los siguientes datos en los municipios y veredas productoras de papa en el departamento de Nariño: Se encontraron 13 patotipos diferentes, siendo la raza 7776 la más frecuente (50%) y más virulenta, posteriormente se encuentra la raza 7756 (9.3%) de frecuencia, las razas 7752 y 5756 se encuentran en menor frecuencia (6.25%) respectivamente”⁶⁹.

Los factores de virulencia aumentan conforme a la altura de la zona de procedencia de la raza. Las alturas superiores de 3000 m. s. n. m, debido a prácticas de monocultivo y fuertes presiones de fungicidas, que obligan al

⁶⁵ SAÑUDO, B Y BETANCOURTH, C. Fundamentos de Fitomejoramiento. Pasto, Universidad de Nariño, 2005. 131 p.

⁶⁶ DONALD, C y EDWIN, J. *Phytophthora* diseases worldwide. U:S:A. Sn, 1996. 555p.

⁶⁷ GONZALES, G y GARCIA, C. Caracterización de las poblaciones de *Phytophthora infestans* en el altiplano cundiboyasense con base en el tipo de apareamiento y sensibilidad al fungicida metalaxyl. *En: Fitopatología Colombiana*. Cali, No. 2. Vol (1998); p.74-71.

⁶⁸ GILCHRIST, E. Evaluación de la diversidad genética y patogénica de las poblaciones de *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary en Antioquia. Medellín, 2001. p. 54. Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. 2001

⁶⁹ MEJIA, M. Estudio de la variabilidad patogénica de aislamientos de *Phytophthora infestans* en la regiones de mayor producción de papa en el departamento de Nariño. Pasto, 2001. 80 p. Trabajo de grado (Biologo). Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Naturales y Biología, Programa de Biología.

patógeno a buscar mayor especialización, también se ve favorecido por las condiciones ambientales presentes en las zonas que favorecen su desarrollo.

1.12 VARIEDADES COMERCIALES EN NARIÑO

1.12.1. Descripción de las principales variedades de papa cultivadas en Nariño⁷⁰.

1.12.1.1 Ica nariño:

Origen: CCC (colección central colombiana) – 38 X (jabonilla x curipamba) X (leona x tocana blanca) Híbrido 63-94-4. (Los agricultores la designan también con los nombres de roja y huila). Año de entrega: 1974.

ADAPTACION Y CICLO DE VIDA: es una de las variedades que más se siembra en Nariño. Se adapta bien a altitudes entre 2500 y 3200 metros. Tiene un ciclo de vida de 4,1/2 a 5 meses, dependiendo de la altitud. El llenado de los tubérculos se inicia poco después de la floración, aproximadamente a los 100 días, por lo que es una variedad muy precoz.

REACCION A ENFERMEDADES: susceptible a roya y rhizoctoniasis. Mediana resistencia a gota (*Phytophthora*).

PLANTA: de porte bajo, follaje escaso, flores escasas de color morado. Produce pocos tubérculos por rama.

RENDIMIENTO: el rendimiento promedio bajo condiciones normales de lluvia es de 28 t/Ha.

TUBERCULOS: grandes, de forma alargada y plana, ojos superficiales, color de piel roja y lisa, pulpa de color crema intenso.

1.12.1.2 Parda pastusa:

ORIGEN: Quincha X tocana colorada. Híbrido 44-37-1. Año de entrega: 1955.

ADAPTACION Y CICLO DE VIDA: se adapta bien a climas fríos y de páramo comprendido entre 2700 a 3500 metros de altitud. Requiere una buena precipitación, suelos fértiles no muy laborados y altas dosis de fertilizantes. Tiene un ciclo de vida de 6 a 7 meses, dependiendo de la altitud. Es una de las variedades que más se cultiva en Nariño, el engrosamiento de los tubérculos se realiza tardíamente, en los últimos 40–50 días del ciclo de vida.

⁷⁰ ALVARADO, L.F. Descripción de las principales variedades de papa cultivadas en Nariño. Pasto, Boletín informativo No 58, 1992. 15p.

REACCION A ENFERMEDADES: susceptible a gota (*Phytophthora infestans*) y a la roya (Puccinia) y a los virus del enrollamiento, mediana resistencia al virus X y virus Y.

PLANTA: de porte alto, tallos gruesos y numerosos, follaje abundante que cubre el surco fácilmente. Flores moradas con abundante producción de frutos. Sistemas de raíces y estolones, largos y abundantes.

TUBERCULOS: Forma redonda, ligeramente aplanada, piel gruesa y color rosado claro, pastoso (áspero), con ojos de profundidad media, pulpa de color crema.

1.12.1.3 Ica morasurco

ORIGEN: ICA sotara (15VSW) X renacimiento (peruana). Híbrido 66-511-10. Año de entrega 1976.

ADAPTACION Y CICLO DE VIDA: se adapta bien a altitudes entre 2300 y 3200 metros y tiene un ciclo de vida de 5 a 5.1/2 meses, dependiendo de la altura.

PLANTA: de porte alto, tallos erectos, abundante follaje que cubre bien el surco, numerosas flores color morado. Estolones largos y abundantes, sistema de raíces voluminoso.

REACCION A ENFERMEDADES: mediana resistencia a gota, mediana resistencia a virus X y Y.

RENDIMIENTO: el rendimiento promedio es de 25 t/ ha.

TUBERCULOS: de forma redonda aplanada, de tamaño grande, piel morada con manchas de color crema.

1.12.1.4 Ica san pedro

ORIGEN: (884 *Solanum tuberosum* x 990 **gualcalaira**) X parda pastusa. Híbrido 71-41-6; adoptado por agricultores de Tuquerres (vereda Igua) y Potosí (vereda Igues), desde 1980. En vista de su aceptación y rendimiento fue retomado por el ICA en 1987 para su registro como nueva variedad.

ADAPTACION Y CICLO DE VIDA: presenta un ciclo de vida promedio de 5 meses. Se adapta bien a altitudes entre 2800 y 3200 metros, en regiones con suelos fértiles y buena precipitación.

REACCION A ENFERMEDADES: mediana resistencia a gota.

PLANTA: de porte bajo, tallos numerosos, follaje de color verde oscuro que cubre el surco fácilmente; flores moradas con escasas producción de frutos.

RENDIMIENTO: en suelos fértiles con buena precipitación se han registrado rendimientos muy altos. El promedio en rendimiento es de 25t/ ha.

TUBERCULOS: de tamaño mediano, forma redonda, ligeramente aplanada, ojos de profundidad media, piel de color morado y pulpa crema.

1.12.1.5 Diacol capiro

ORIGEN: escocesa (*S. tuberosum* L.) X Tuquerreña. Híbrido 53-110-3. Año de entrega: 1961.

ADAPTACION Y CICLO DE VIDA: se adapta bien a altitudes entre 2500 y 3200 metros. Tiene un ciclo de vida de 5 a 6 meses, de acuerdo a la altitud. Requiere de altas precipitaciones.

REACCION A ENFERMEDADES: altamente susceptible a la gota, resistente a roya.

PLANTA: de porte bajo y follaje relativamente escaso. Las hojas tienden a enrollarse en cierta época del desarrollo, probablemente por su constitución genética. Sus flores son rosadas y no producen frutos.

RENDIMIENTO: el rendimiento promedio es de 25 t/ha, bajo condiciones de adecuada precipitación. Produce un número alto de tubérculos por planta.

TUBERCULOS: de forma redonda, ligeramente aplanada, de tamaño grande, de color morado claro, ojos superficiales y pulpa de color blanco.

1.12.1.6 Chaucha amarilla (Criolla yema de huevo)

ORIGEN: variedad nativa de Colombia, diploide, perteneciente a la especie *Solanum phureja*.

ADAPTACION Y CICLO DE VIDA: se cultivan en pequeñas parcelas en casi toda el área productora de papa, entre 2500 y 3000 metros de altitud. Es muy precoz, con un ciclo de vida de 120 días.

REACCION A ENFERMEDADES: Medianamente resistente a gota. Es la única variedad conocida con resistencia a la dormidera de la papa (*Pseudomonas solanacearum*).

PLANTA: de porte bajo, tallos delgados y numerosos. Follaje escaso. Floración abundante con pétalos de color morado.

RENDIMIENTO: presenta rendimiento entre 15 – 18 ton/ ha, produce numerosos tubérculos por planta.

TUBERCULOS: De tamaño pequeño, color de piel amarillo intenso, ojos profundos y numerosos, pulpa de color amarillo intenso.

1.13 VARIEDADES MEJORADAS⁷¹

1.13.1 Betina

ORIGEN: *PHU* Col-125 x *tbr* WI (bulk)

RANGO DE ADAPTACIÓN (M.S.N.M.): no definido.

RENDIMIENTO (TON/HA): 40 - 45

CARACTERÍSTICAS DE LA SEMILLA : Tubérculo de forma redonda aplanada con carne amarilla. Piel de color ocre con ojos semiprofundos.

PERIODO VEGETATIVO-MESES: no definido, Maduración semitemprana

USO: Excelente calidad culinaria y buena fritura en hojuela

OTRAS CARACTERÍSTICAS: Buen desarrollo de follaje, erecto y color verde claro. Resistente a la “gota” (*P. Infestans*)

1.13.2 Parda Suprema

ORIGEN: [*sto* 230490 x *phu* (Yema de huevo)] x *and* (Parda Pastusa).

RANGO DE ADAPTACIÓN (M.S.N.M.): no definido.

RENDIMIENTO (TON/HA): 35 – 40.

CARACTERÍSTICAS DE LA SEMILLA: Tubérculo de forma redonda aplanada con carne crema piel de color pardo con ojos semiprofundos.

PERIODO VEGETATIVO-MESES: Maduración semitardía.

USO: Excelente calidad culinaria y buena fritura en hojuela

OTRAS CARACTERÍSTICAS: Buen desarrollo del follaje, erecto y verde claro. Resistente a **PVS** y poco sensible al virus **PLRV**. Altamente resistente a la “gota” (*P. Infestans*), a la roya, presenta un leve rechazo a las plagas del follaje.

1.13.3 Roja nariño

ORIGEN: [87-502-41 ((*tbr* x *adg*) x *ang* (P. Pastusa)] x [(384329.1 x *adg* (Waycha)]

RANGO DE ADAPTACIÓN (M.S.N.M.): no definido.

RENDIMIENTO (TON/HA): 35 – 40

CARACTERÍSTICAS DE LA SEMILLA: Tubérculo de forma redonda con carne crema piel de color rojo con ojos semiprofundos.

PERIODO VEGETATIVO-MESES: Maduración semitardía

USO: Excelente calidad culinaria

OTRAS CARACTERÍSTICAS: Buen desarrollo del follaje, erecto y verde oscuro. Moderadamente resistente a la “gota” (*P. Infestans*).

⁷¹Federación Nacional de productores de papa Boletín informativo: variedades mejoradas. Enero, 2004.

1.14 GENOTIPOS REISTENTES EN EL DEPARTAMENTO DE NARIÑO.

En el departamento se encuentran algunos genotipos con resistencia a gota, los cuales son de carácter nativo, y con el paso del tiempo han perdido importancia, dando prioridad a genotipos mejorados los cuales presentan mejores características en cuanto a rendimiento en incluso resistencia a la enfermedad. Entre los materiales nativos de papa guata se tienen: Uva, Fanta, Curipamba, rocilla, Morita, Pamba antigua, Pamba fanta, Rubi, Bola de sal, Violeta, Leona, Ica única, Monserrate⁷².

1.15 CLONES DE PAPA GUATA

A través del tiempo los agricultores han venido seleccionando clones de papa guata con alguna tolerancia a la gota en pequeños lotes comerciales con variabilidad, lo que ha permitido obtener seis clones, los cuales sin embargo, no han sido sometidos a una evaluación experimental que determine un potencial como producto comercial.

1.15.1 Guata blanca: selección individual de una introducción del Perú, por tolerancia a gota.

1.15.2 Pintada: selección individual por tolerancia en un lote de Tuquerres, afectados severamente por la enfermedad.

1.15.3 Guata roja: selección individual de roja nariño, por tolerancia a gota.

1.15.4 Roja redonda: selección individual roja huila, con morfología de tubérculos diferente y tolerancia a gota.

1.15.5 Rosada tipo capiro: selección individual en Diacol capiro por tolerancia a gota.

1.15.6 Roja loca: introducción peruana, tolerante a la enfermedad.

⁷² PEÑA, L. Información personal. Ingeniero Agrónomo. CORPOICA, Pasto. 2005.

2. DISEÑO METODOLOGICO

2.1 Localización

El presente trabajo se realizó en dos ciclos. El primero tuvo lugar en el corregimiento de Mapachico, municipio de Pasto; situado a una altura aproximada de 2710 m.s.n.m, con temperatura promedio 13 grados centígrados y una precipitación anual de 750 mm/año.

El segundo ciclo se trabajó en los municipios de:

- Pasto Granja experimental Botana, con una altura de 3100msnm y temperatura promedio de 12.5 °C.
- Potosí vereda Purbuntud, con una altura de 2750msnm y temperatura promedio de 12 °C.
- Ipiales vereda Tusandala, con altura de 2900msnm y temperatura promedio de 12 °C.

2.1.2 Material vegetal: los nueve genotipos usados para el primer ciclo fueron:

Seis clones que correspondieron a papa guata:

- BLANCA:
- ROSADO CON BLANCO
- GUATA ROJA
- ROJA REDONDA
- ROSADA TIPO CAPIRO
- ROJA LOCA

Las tres variedades de papa mejorada fueron:

- ROJA NARIÑO
- PARDA SUPREMA
- BETINA

El segundo ciclo se trabajó con los genotipos promisorios obtenidos de acuerdo a los criterios de selección aplicados en el primer ciclo, los cuales fueron:

- Roja loca
- Pintada
- Parda suprema
- Blanca
- Betina

Además se utilizó un testigo comercial susceptible a la enfermedad.

2.1.3 Area experimental.

Inicialmente el cultivo se estableció en un lote con las siguientes dimensiones: 42 metros de largo por 13.2 metros de ancho. Cada repetición tuvo un surco de 10 metros con una distancia entre sí de 1.20 metros. Los bloques entre sí estuvieron separados a una distancia de 0.5 metros. Además se estableció en todo el borde de los bloques un surco con semilla de papa del agricultor susceptible a gota (**figura 2**).

Para el segundo ciclo, en cada región se preparó un lote de 25.2 x 23m, se trazaron cuatro bloques de 24m x 5 m, con 1m de distancia entre ellos. En cada Bloque se trazaron y abrieron 20 surcos con 5 m de longitud y a 1.20m de separación entre ellos, para tener tres surcos por tratamiento, dejando los dos surcos externos para siembra de papa del agricultor y así evitar efectos de borde. (**Figura 3**)

2.1.4 Diseño experimental

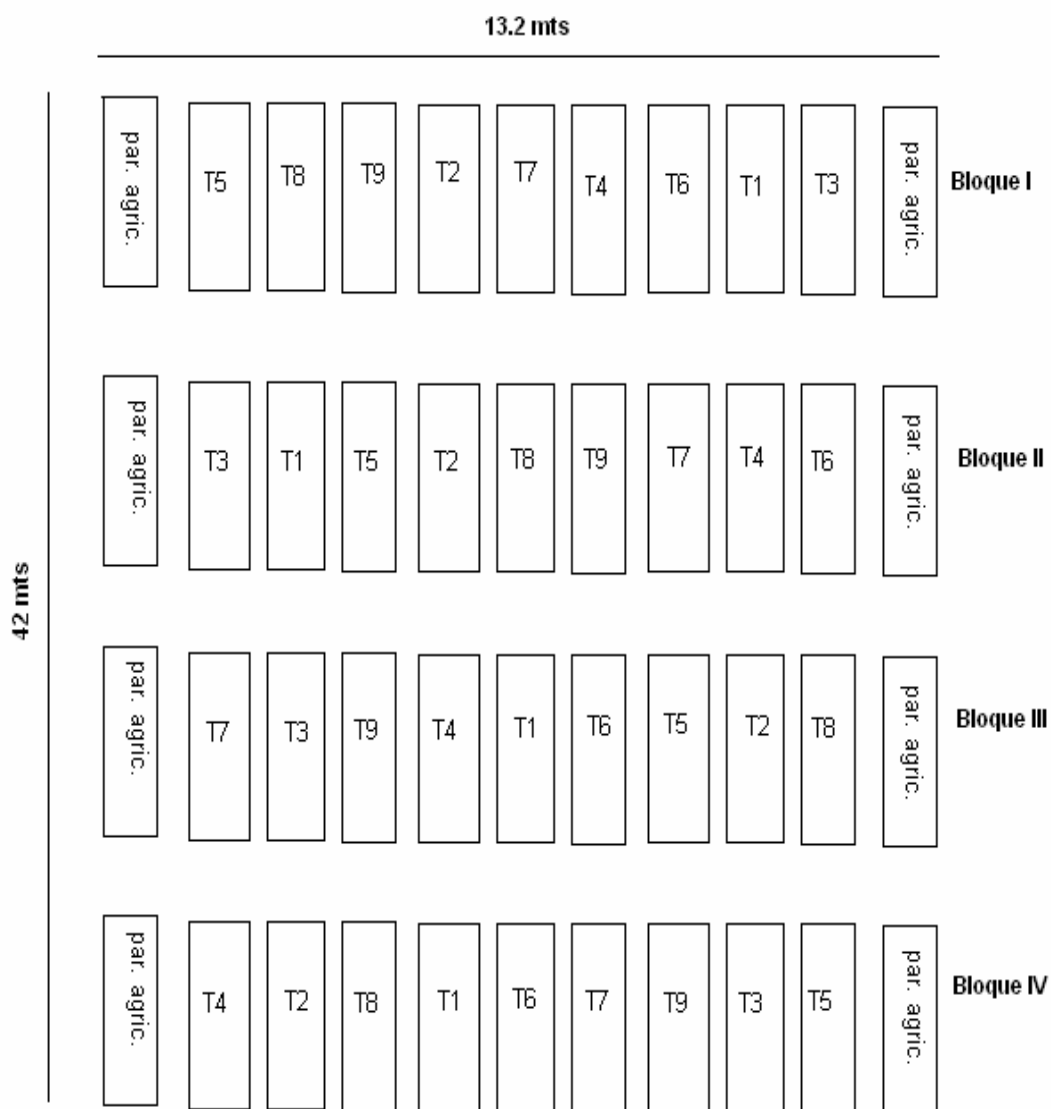
El ensayo se realizó mediante un diseño de bloques al azar con nueve tratamientos de los cuales seis (6) correspondieron a clones de papa regionales seleccionados y los restantes corresponden a tres (3) variedades mejoradas por FEDEPAPA – Universidad Nacional. Los nueve tratamientos se trabajaron con cuatro repeticiones para el primer ciclo.

El área experimental se compuso de 36 unidades experimentales. Cada unidad tuvo 10m de largo por 1.20m de ancho equivalente a un área útil de 12m², con un área experimental de 432m²

Para la segunda fase, en cada región se trabajó con un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones y seis tratamientos de los cuales dos correspondieron a las variedades mejoradas Betina y Parda Suprema, dos colecciones realizadas por la FACIA denominadas Blanca y Pintada (Rosada con blanco) una introducción de Perú, conocida como Roja Loca o Roja Peruana, además de un testigo regional correspondiente a la variedad comercial Capiro.

El área experimental se compuso de 24 unidades experimentales. Cada unidad tuvo 5m de largo por 3.60m de ancho equivalente a un área útil de 18m², con un área experimental de 432m².

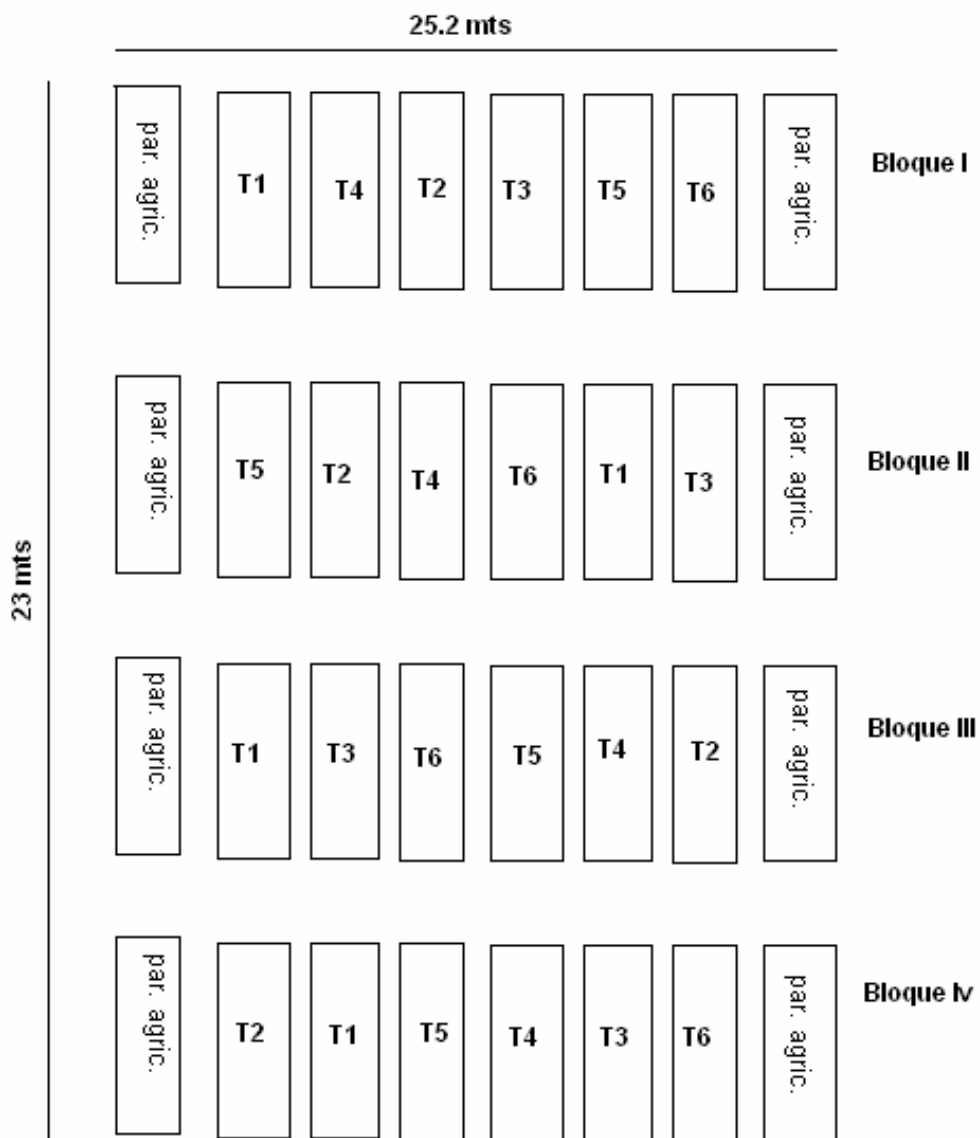
Figura 2. Mapa de campo Fase 1



T1: Guata blanca
 T2: Guata pintada
 T3: Guata roja
 T4: Roja Nariño (var. mejorada)
 T5: Parda Suprema (var. mejorada)

T6: Guata roja redonda
 T7: Betina (var. mejorada)
 T8: Guata rosada tipo capiro
 T9: Guata roja loca

Figura 3. Mapa de Campo Fase 2.



- T1: Roja loca
- T2: Pintada
- T3: Parda suprema
- T4: Blanca
- T5: Betina
- T6: Testigo

2.1.5 Siembra

En la primer fase en cada surco se sembraron 25 tubérculos a una distancia de 0.40m entre ellos y a 1.20m entre surcos.

Para el segundo ciclo se sembraron 12 tubérculos a una distancia de 0.40m entre ellos y a 1.20m entre surcos. Por lo tanto cada tratamiento tuvo 36 tubérculos por repetición.

2.1.6 Manejo del cultivo

El manejo se realizo de igual manera en los dos ciclos.

- **preparación de suelos.** Se realizo la preparación del terreno previo a la siembra utilizando para la labranza una yunta de bueyes con la cual se hace remoción del suelo y el surcado.
- **Siembra y fertilización.** La siembra se realizo depositando un tubérculos de segunda por sitio, a una distancia de 40cm entre planta y a 1.20cm entre surcos. Al momento de la siembra se hizo una aplicación de Furadan (Carbofuran), con una dosis de 5cc/lt de agua, para evitar ataques tempranos de plagas.

Se aplico 120gr en corona de fertilizante 13-26-6. El reabone se realizó a los 45 días.

- **Control de malezas y aporque.** Se realizo una deshierba a los 45 días junto con el aporque.
- **Control de plagas.** Durante el desarrollo del cultivo se presentaron las siguientes plagas: pulgilla (*Epitrix sp*), Trips (*Franklinella occidentalis*) y polilla guatemalteca (*Tecia solanivora*); el control se realizo de manera preventiva con Lorsban (Clorpirifos) y Sistemín (Dimetoato).

2.2 VARIABLES EVALUADAS

2.2.1 Severidad de goma (*Phytophthora infestans*).

Se tomó una muestra correspondiente a cinco plantas al azar las cuales se marcaron, y en cada una de ellas se señalo la hoja a evaluar, tomándolas como referencia para posteriores evaluaciones de severidad. En el segundo ciclo se

realizo el mismo procedimiento en las tres localidades, pero para ello se tomaron diez plantas como muestra.

Para evaluar el grado de severidad se utilizó la escala gráfica propuesta por Clive James⁷³ (**figura 4**). Donde la severidad es evaluada en porcentaje: 1%, 10%, 25%, 50%, 75% y 100%. Se realizaron tres lecturas a partir de los 70 días después de la germinación, con intervalos de 20 días entre lecturas.

En las diferentes localidades para el segundo ciclo se realizaron cuatro lecturas a partir de los 60 días después de la germinación. Con intervalos de 15 días entre lecturas.

2.2.1.1 Epidemiología de la enfermedad. Esta variable se cálculo solamente en la segunda fase.

2.2.1.1.1 Desarrollo de la enfermedad. Se tuvo en cuenta las lecturas realizadas para severidad a través del tiempo; luego se gráfico en forma aritmética.

2.2.1.1.2 Tasa de desarrollo. En esta variable se tuvo como referencia los datos de la lectura inicial y la lectura final de la severidad; posteriormente los datos se procesaron con la fórmula para el cálculo de la tasa de desarrollo (r) en cada genotipo, como lo propone Van der Plank, 1963⁷⁴ así:

$$r: \frac{1}{t} \left(\log_e \frac{X_f}{1-X_f} - \log_e \frac{X_i}{1-X_i} \right)$$

Donde:

r: Tasa de desarrollo

Log e: Logaritmo natural

Xf: Enfermedad final.

Xi: Enfermedad inicial.

t: Tiempo transcurrido durante las lecturas inicial y final

2.2.2 Altura de la planta. Para la primer fase, se tomaron cinco plantas al azar de la parcela útil como muestra. Se evaluó la altura de planta con una cinta métrica, desde la base de la planta hasta su parte final, al iniciar la floración.

2.2.3 Número de tallos por planta. Se contabilizó el número de tallos primarios por planta, al momento de tomar la altura, en las mismas plantas. Esta evaluación se realizo en el primer ciclo.

⁷³ CLIVE, James. A manual of disease assessment keys for plant diseases. Can. Department Agriculture. 50p.

⁷⁴ VAN DER PLANK, J. Op cit., p. 38.

2.2.4 Área foliar. Se tomaron tres plantas al azar por tratamiento en cada bloque. Para el primer ciclo, el área foliar se midió con la ayuda de un saca bocados de un centímetro de diámetro tomando diez hojas de diferentes estratos de las plantas (un disco por hoja), la totalidad de las plantas mas los discos se llevaron al horno con una temperatura de 70°C. Esta evaluación se realizó después de la floración y una sola vez, para evitar efectos negativos por la defoliación parcial de la planta⁷⁵.

$$AF = \frac{\text{Área de diez discos} * (\text{peso total de las hojas} + \text{discos} / \text{cm}^2)}{\text{peso seco de diez discos}}$$

2.2.5 Índice de área foliar (IAF). Se determinó con los datos de área foliar, estableciendo la relación entre el área foliar de la planta y el espacio que ocupa está en el campo⁷⁶.

$$IAF = AF / EC$$

DONDE: AF = área foliar (cm²).
EC = espacio que ocupa la planta en el lote.

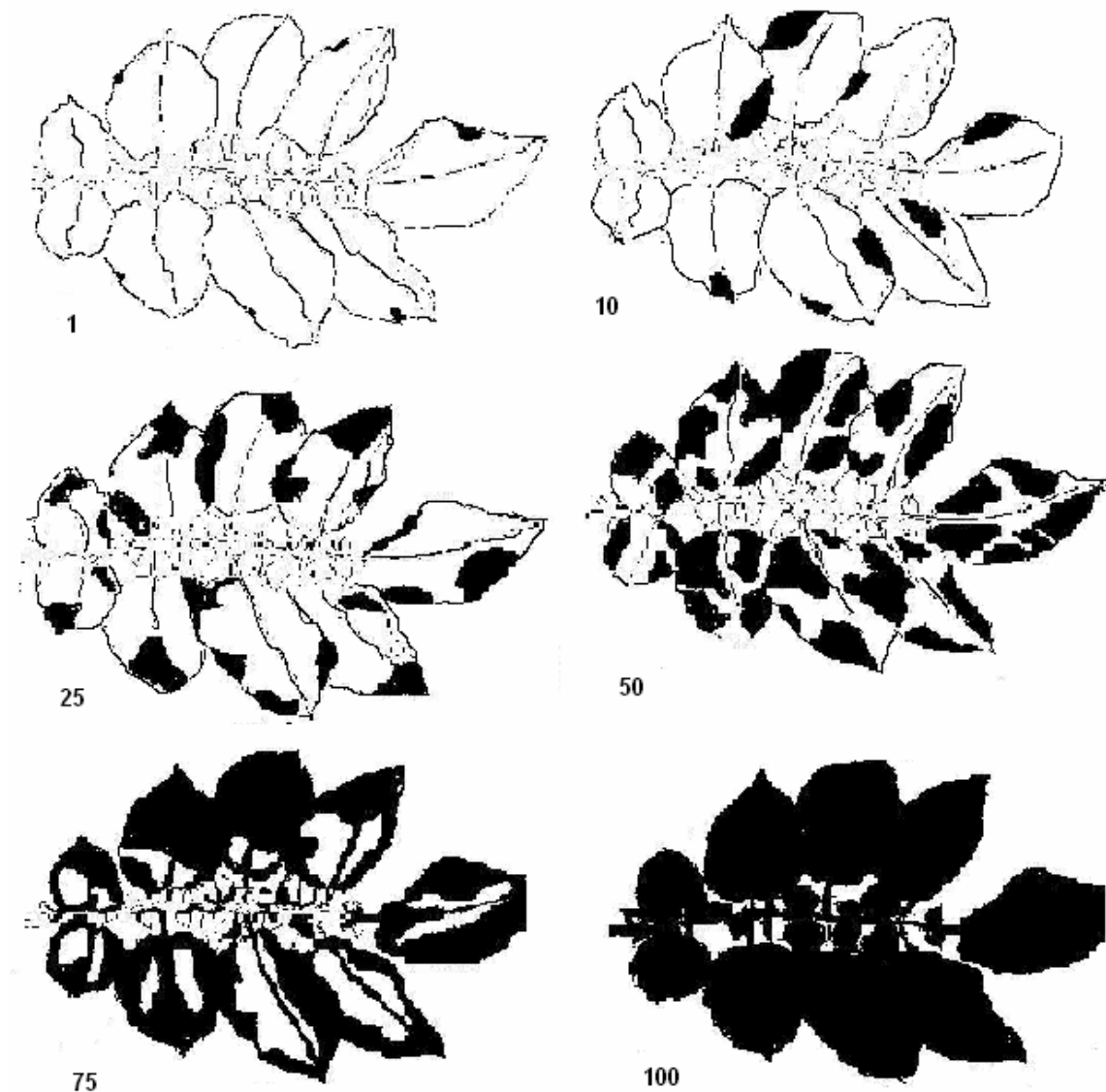
El espacio ocupado por la planta se obtuvo del producto entre la distancia de siembra y la distancia entre surcos, en este caso correspondió a 0.48m².

2.2.6 Inicio de la tuberización. Se tomaron cinco plantas al azar, se tuvo en cuenta el inicio de la floración, para determinar si la planta inició la formación de tubérculos. Se realizaron pequeñas excavaciones alrededor de la planta; y se verificó visualmente si el tubérculo ha empezado a formarse. Se determinó el inicio de la tuberización cuando tres de las cinco plantas tomadas presentaron formación de tubérculos.

⁷⁵ OROZCO, M. Análisis de crecimiento y desarrollo en tres variedades de papa (*Solanum tuberosum*). Bogotá, 1990. p. 57. Tesis Magíster Scientiae, Bogotá, Colombia, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias.

⁷⁶ GOMEZ, C., *et al.* Ecofisiología de la papa (*solanum tuberosum*) utilizada para consumo fresco y para la industria. *En:* Sociedad Colombiana de Control de Malezas y Fisiología Vegetal. Nº 1-3. Vol 26, diciembre de 1999. p. 49.

Figura 4. Escala grafica para severidad de gota en papa (*Phytophthora infestans*) según James Clive, 1970.



2.2.7 Epoca de cosecha.

2.2.7.1 Número de tubérculos por planta. Se tomaron diez plantas al azar por cada tratamiento en cada repetición, donde se contabilizó el número total de tubérculos por planta este proceso se llevo a cabo para los dos ciclos.

2.2.7.2 Clasificación de producción. Se tomaron diez plantas al azar por cada tratamiento en cada repetición, y se clasificó los tubérculos por categoría teniendo en cuenta su peso (**tabla 1**). Posteriormente el número total de tubérculos por categoría se llevó a porcentaje. Proceso realizado para los dos ciclos.

Tabla 1. Clasificación de tubérculos de acuerdo a su peso.

Tipo	Denominación(Tamaño)	Peso (g.)
Cero	Muy grande	> 150
Primera	Grande	120 – 150
Segunda	Mediana	70 – 120
Tercera	Pequeña	40 – 70

2.2.7.3 Rendimiento en Kg/Ha. Se registró el peso en kilogramos de la producción de diez plantas escogidas al azar en cada repetición, con la ayuda de una balanza y posteriormente se las llevó a rendimiento total en Tn/ha, mediante una relación entre la producción de la parcela útil de cada tratamiento con la producción en una hectárea.

Las variables a continuación mencionadas se evaluaron para la primera fase.

2.2.7.4 Características de los tubérculos. Se evaluó el color y la forma de los tubérculos, teniendo en cuenta una escala (**Anexo A**)

2.2.8 Época de almacenamiento. Los tubérculos se seleccionaron para obtener semilla con buenas características (forma, tamaño y sanidad), para utilizarlas en la segunda fase. El producto se almacenó en un cuarto a 13 grados centígrados de temperatura y a 70% de humedad relativa con luz difusa. Para que los tubérculos tengan condiciones adecuadas para la brotación de yemas; durante la época de almacenamiento se determinaron las siguientes variables:

2.2.8.1 Días a brotación. Se tomo una muestra de 20 tubérculos, y se evaluó el tiempo que en presentar yemas activas. Mediante revisiones constantes cada ocho días.

2.2.8.2 Número de yemas activas. Se tomaron 20 tubérculos a los cuales se les contabilizó el número de yemas listas para la germinación.

2.3 COMPONENTES DE RENDIMIENTO.

Se determinaron las variables de mayor importancia para el rendimiento, como son: índice de área foliar (IAF), número de tubérculos por planta y severidad a gota.

2.4 CRITERIOS DE SELECCION.

Se seleccionó los mejores genotipos para el segundo ciclo teniendo en cuenta: rendimiento, porcentaje de severidad de gota, tamaño de los tubérculos y color.

2.5 INDICE DE SELECCION. Se determinó teniendo en cuenta los datos de las diferentes variables, dándoles un porcentaje a cada criterio, como se demuestra a continuación:

$$IS = Rt (45\%) - \%sev (50\%) + Tam (2.5\%) + Col (2.5\%).$$

- **IS:** índice de selección.
- **Rendimiento (Rt):** se estableció en Toneladas/Ha para cada tratamiento.
- **Severidad (%sev):** se tomó el promedio de la última lectura para cada tratamiento.
- **Tamaño (Tam):** Se estableció una escala de 1 a 4, siendo 1 el valor mínimo y 4 el valor máximo de acuerdo a la preferencia comercial. (**Tabla 2**)

Tabla 2. Escala valorativa establecida para el tamaño de tubérculos.

Tamaño	Valor
Muy grande	2
Grande	4
Mediana	3
Pequeña	1

Los valores asignados corresponden a la mayor aceptación comercial, es el caso de los tubérculos grandes y medianos los cuales se utilizan para consumo en fresco, industria y también para semilla. Los tubérculos muy grandes son utilizados principalmente para la industria en mayor porcentaje más no para consumo en fresco a diferencia de los pequeños los cuales no son comerciales.

- **Color (Col):** Se estableció una escala de 1 a 5, siendo 1 el valor mínimo y 5 el valor máximo de acuerdo a la preferencia comercial. (**Tabla 3**)

Tabla 3. Escala valorativa establecida para color de tubérculos.

Color	Valor
Pardo	5
Blanco crema	2
Rosado	4
Rosado-morado	4
Rojo	5
Marrón crema	3
Morado	4

Los valores para el índice de selección se normalizarán de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$Y = \frac{X - \bar{X}}{\sigma}$$

Donde:

Y: Valor normalizado

X: Valor individual a normalizar

\bar{X} : Promedio general de la variable

σ : Desviación general de la variable

2.6. ANALISIS ESTADISTICO

Los datos obtenidos se interpretaron estadísticamente por medio del análisis de varianza y la prueba de significancia de Tukey.

Los **componentes de rendimiento** se interpretaron mediante un análisis de regresión múltiple y un análisis de sendero para determinar cual de los componentes o variables aportan más.

2.6.1 Análisis de sendero

Este tipo de análisis permite medir la magnitud de la relación causa-efecto, representada por el comportamiento de las variables y su importancia relativa; en donde la respuesta de la variable dependiente se debe a los factores directos de cada una de las variables causales más sus efectos indirectos⁷⁷.

Se encuentra representado por el siguiente modelo:

$$Y = f (X_1 + X_2 + X_3 + X_4 \dots + X_n) + E$$

-Análisis estadístico-segundo ciclo.

Los datos obtenidos se interpretaron estadísticamente por medio de un análisis de varianza combinado y la prueba de significancia de Tukey.

Los datos obtenidos en porcentaje se transformaron mediante la fórmula $\arcsen\sqrt{\%}$.

⁷⁷ CRIOLLO, H. Curso estadística avanzada: Taller nº 4, análisis de sendero. Pasto. Universidad de Nariño. Facultad de ciencias Agrícolas, 2007.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 PRIMER CICLO.

VARIABLES EVALUADAS

3.1.1 Severidad de gota (*Phytophthora infestans*).

De acuerdo al análisis de varianza se presentaron diferencias altamente significativas para los tratamientos. (**Anexo B**).

La prueba de comparación de promedios de Tukey mostró que los genotipos blanca, pintada, parda suprema y betina no presentaron diferencias significativas entre ellos, con valores comprendidos entre 19.72 y 23.62% siendo estos los menos afectados por la enfermedad (**Tabla 4**). Los genotipos, roja nariño y roja loca se comportaron estadísticamente igual, en comparación con los genotipos guata roja, roja redonda y rosada tipo capiro, los cuales mostraron los promedios más altos en cuanto a severidad, sin diferencias significativas entre ellos (**Tabla 4 y figura 5**).

las condiciones climáticas presentadas en el periodo en el que se estableció el cultivo fueron favorables para los distintos procesos de desarrollo de la enfermedad, presentando temperaturas promedio de 13°C y con una humedad relativa de 85%. (**Anexo C**); De acuerdo con la Academia Nacional de la Ciencia⁷⁸, SMART, C *et al*⁷⁹, CASTAÑO, J⁸⁰, y RIES, A *et al*⁸¹, “Los diferentes procesos del ciclo vital de *Phytophthora infestans*, como por ejemplo la formación, liberación y germinación de esporas, así como la infección, generalmente se realizan a distintos niveles de temperatura y humedad. Un descenso de la temperatura y un incremento en la humedad relativa estimula la formación y liberación de esporas. Esto se corrobora también con lo que afirma Molina., “La aparición de esporangios sobre los tejidos requiere de una humedad relativa de 80% para el caso del altiplano de Pasto, y una temperatura 8 a 14°C. Cuando en diez días el total de lluvias es de 27 mm o más”⁸².

⁷⁸ ACADEMIA NACIONAL DE LA CIENCIA Desarrollo y control de las enfermedades de las plantas. Vol 1. México. Limusa, 1994. P:51-52.

⁷⁹ SMART, C *et al.*, Op cit., p. 25.

⁸⁰ CASTAÑO, J Op cit., p. 95.

⁸¹ RIES, A *et al.* Op cit., p.35.

⁸² MOLINA, L Manejo de las enfermedades del follaje de la papa causadas por hongos. *En:* Manejo sanitario del cultivo de la papa. Pasto. Memorias, 9, 10 y 11 de Abril de 1997. p. 80.

El comportamiento que presentaron los genotipos: blanca, pintada, parda suprema, y betina marcó diferencias notables en cuanto al desarrollo de la enfermedad, comparativamente con los genotipos roja guata, roja redonda y rosada tipo capiro. Esto se debe a la capacidad que presenta una planta de servir como hospedante y su reacción con el patógeno; lo cual depende de su constitución genética, de sus antecedentes de reacción a las combinaciones previas de los factores ambientales y de las interacciones de células y tejidos de la planta en determinado momento⁸³.

En un sistema hospedante-parásito, la reacción de resistencia o susceptibilidad del hospedero depende de su genotipo para ese carácter y del genotipo para virulencia de la raza fisiológica del patógeno⁸⁴.

En los genotipos evaluados, se pudo observar una escala de reacciones, las cuales van desde la tolerancia hasta la susceptibilidad que se dan dentro de una misma área en unas condiciones ecológicas complejas, bajo presión constante de un patógeno⁸⁵, de ahí que se puedan buscar, ubicar y marcar plantas que tengan manifestación de tolerancia; esto con el fin de seleccionar genotipos potencialmente productivos y con cierto grado de tolerancia a la enfermedad, para posteriores investigaciones.

Tabla 4. Prueba de significancia de Tukey para Severidad.

Genotipo	Promedios (%)
Roja redonda	71.520 a
Roja guata	71.278 a
Rosada tipo capiro	71.178 a
Roja Nariño	42.800 b
Roja loca	41.220 b
Betina	23.625 c
Pintada	23.155 c
Parda suprema	21.998 c
Blanca	19.723 c
Comparador	10.20

⁸³ R. E. NIKS y W. H. LINDHOUT. Curso sobre mejoramiento para la resistencia durable a patógenos especializados. 3. ed. Netherlands, Holanda. Wageningen Agricultural University, 2004. p.25.

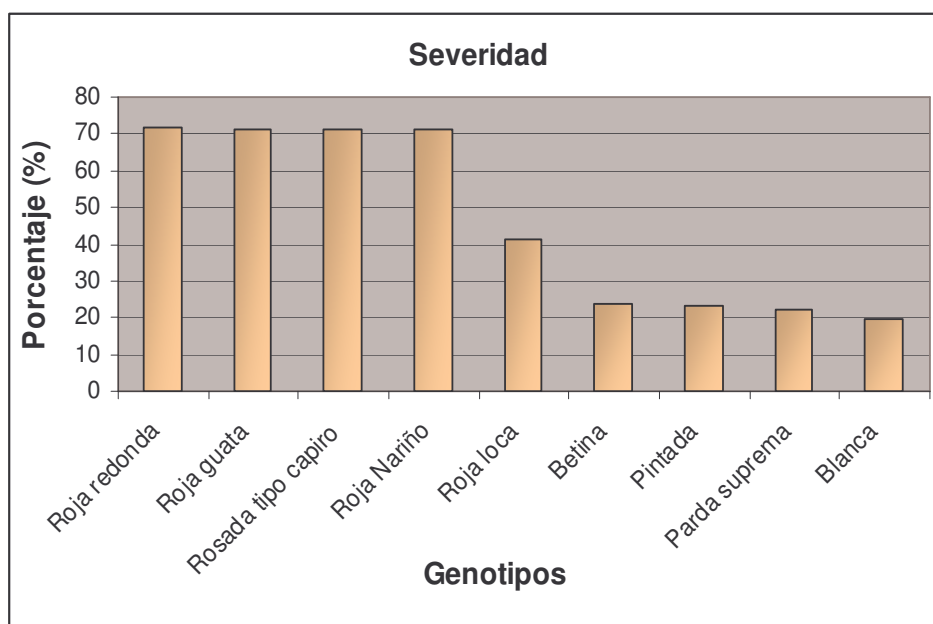
⁸⁴ ESTRADA, E y VALLEJO, F. Mejoramiento genético de plantas. Palmira, UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, 2002. P. 328.

⁸⁵ SAÑUDO, B. *et al.*, Op cit. p. 130

Valores promedios seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa (**Significancia al 0.05%**).

En la actuación del patógeno se dan complementaciones genéticas en cuanto a sistemas inductivos diferentes que permiten respuesta de susceptibilidad, hipersensibilidad, diferencias reproductivas y distintos tiempos de establecimiento del patógeno. Sin embargo también operan sistemas constitutivos independientes como la calidad nutricional, elementos estructurales, cargas enzimáticas, etc; que llevan a diversos grados de manifestación de la resistencia o de la susceptibilidad del hospedante ante una población virulenta del patógeno⁸⁶. De esta manera es importante destacar el comportamiento de los genotipos evaluados, para el caso de blanca, pintada, parda suprema y betina los cuales probablemente manifestaron sus sistemas de defensa preexistentes y características estructurales de los mismos, que interactuaron con el sistema de ataque del patógeno, permitiendo así que el desarrollo de la enfermedad fuera moderadamente bajo.

Figura 5. Comportamiento de la severidad.



De acuerdo a los resultados obtenidos en el ensayo para severidad (**Figura 5**), en el caso de los genotipos que obtuvieron porcentajes más bajos de tejido afectado (pintada, blanca, parda suprema betina y roja loca) posiblemente presentaron tolerancia a la enfermedad donde no hay restricción al contacto del parásito con el hospedante, ni el crecimiento y reproducción del mismo después

⁸⁶ SAÑUDO, B. *et al.* Op cit. p. 130

de su establecimiento. Por lo tanto, no afecta la cantidad de **infección**, si no que reduce la cantidad de **daño** o **síntomas** por unidad de parásito presente⁸⁷⁻⁸⁸⁻⁸⁹.

La tolerancia que posiblemente presentan estos genotipos se puede confirmar si permanece efectiva por un largo período de tiempo durante el cual haya sido utilizada en gran escala en un ambiente propicio para el patógeno.

Los genotipos Parda suprema, Betina y Roja nariño, son materiales catalogados como resistentes a la enfermedad, sin embargo en este ensayo se pudo comprobar la pérdida de esa resistencia principalmente para betina y roja nariño. La ruptura (pérdida) de la resistencia de estos genotipos se puede explicar probablemente por la variabilidad genética de las interacciones hospedante-patógeno. Es decir de la presión de selección a la que está expuesto el patógeno, de donde surgen nuevos genes de virulencia que producen las llamadas razas fisiológicas, capaces de vencer los genes de resistencia del hospedante. Por lo tanto la pérdida de resistencia es principalmente consecuencia de una mutación de pérdida en el locus de avirulencia del patógeno⁹⁰.

3.1.2 Altura de plantas.

El análisis de varianza realizado para esta variable presentó diferencias altamente significativas entre genotipos (**Anexo B**)

En la prueba de comparación de promedios de Tukey el genotipo pintada, presentó un promedio mayor en altura con respecto a los demás, aunque sin diferencias significativas con blanca, roja guata, roja nariño, betina y roja loca (**Tabla 5**). Para roja redonda y rosada tipo capiro no presentaron diferencias estadísticas entre ellos, obteniendo los promedios más bajos en cuanto a la variable altura (**Figura 6**).

⁸⁷ R. E. NIKS y W. H. LINDHOUT. Op cit. p. 19

⁸⁸ AGRIOS, G. Op cit. p. 131.

⁸⁹ SAÑUDO, B Y BETANCOURTH, C. Fundamentos de fitomejoramiento. Pasto. UNIVERSIDAD DE NARIÑO, 2005. p. 131.

⁹⁰ ESTRADA, E Y VALLEJO, F. Op cit. p. 327.

Tabla 5. Prueba de significancia de Tukey para altura.

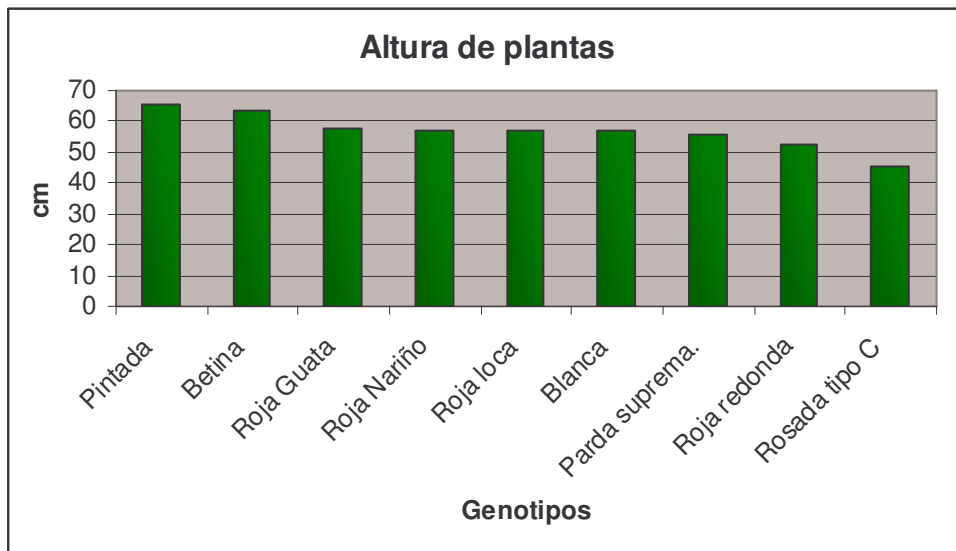
Genotipo	Promedio (cm)
Pintada	65.20 a
Betina	63.70 a b
Blanca	56.85 a b c
Roja Guata	57.85 a b c
Roja nariño	57.27 a b c
Roja loca	56.85 a b c
Parda suprema	55.85 b c
Roja redonda	52.40 d c
Rosada tipo C	45.55 d
Comparador	8.61

Valores promedios seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa
Significancia al 0.05%

De acuerdo a los resultados obtenidos, para los genotipos roja guata, roja nariño, betina y roja loca, además de presentar la mayor altura, presentaron los mayores promedios de área foliar (**Tabla 6**), en comparación con los genotipos pintada y blanca, que presentaron un buen promedio en altura y a la vez obtuvieron menor área foliar. En este caso, la altura no es directamente proporcional con el área foliar. De esta manera la variación presentada, en los genotipos de papa, está influenciada por el estímulo ambiental y el mensaje endógeno que reciben; y de la interacción de estos dos factores va a depender su respuesta en términos de diferenciación, formación y tamaño de órganos⁹¹.

⁹¹ MORENO, J. Manejo integrado del cultivo de papa. Tibaitata, CORPOICA, 2000. p. 80.

Figura 6. Altura de Plantas



3.1.3 Número de tallos.

El análisis de varianza realizado no presentó diferencias significativas para los tratamientos (**Anexo B**).

El número de tallos puede ser un carácter gobernado por secuencias genéticas altamente conservadas por la especie. En este caso se presenta un carácter de alta heredabilidad, gobernado por pocos genes (Genes mayores), los cuales, se manifiestan independientemente de los cambios ambientales y, a su vez se heredan de manera simple.⁹²

3.1.4 Area foliar

El análisis de varianza realizado presentó diferencias altamente significativas para los genotipos (**Anexo B**).

El comparador de promedios de tukey, se presentaron diferencias estadísticas entre genotipos, siendo parda suprema el genotipo con mayor área foliar con un promedio de 112152 cm², seguido por el genotipo roja loca con promedio de 108331 cm²; en comparación con los genotipos blanca y roja redonda los cuales tuvieron el área foliar mas baja, sin diferencias estadísticas entre ellos (54241 y 47358 cm², respectivamente) (**Tabla 6**).

⁹² ROBLES, R. Genética elemental y fitomejoramiento práctico. México, Limusa. 1995. p. 95.

Tabla 6. Prueba de significancia para Area Foliar.

Genotipo	Promedio (cm²)
Parda suprema	112152 a
Roja loca	108331 b
Betina	96563 c
Roja nariño	82426 d
Roja guata	73938 e
Pintada	65168 f
Rosada tipo capiro	58238 g
Blanca	54241 h
Roja redonda	47328 h
Comparador	10.12

Valores promedios seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa **Significancia al 0.05%**

Las plantas de papa responden de manera plástica, aclimatándose a diferentes niveles de radiación fotosintéticamente activa (RFA), respuesta que involucra tanto la morfología de la planta completa, como la fisiología de los cloroplastos⁹³.

Para el caso de los genotipos parda suprema, roja loca y betina, que presentaron mayor área foliar, a su vez obtuvieron buenos rendimientos, esto coincide con los resultados obtenidos por López y Alvarado, en donde se encontró que las mejores producciones estuvieron asociadas con los mayores valores de área foliar considerando así que éste es el componente más importante en el crecimiento y producción del cultivo. Constituye la capacidad del aparato fotosintético el que hace posible la conversión de la energía lumínica en energía potencialmente química⁹⁴

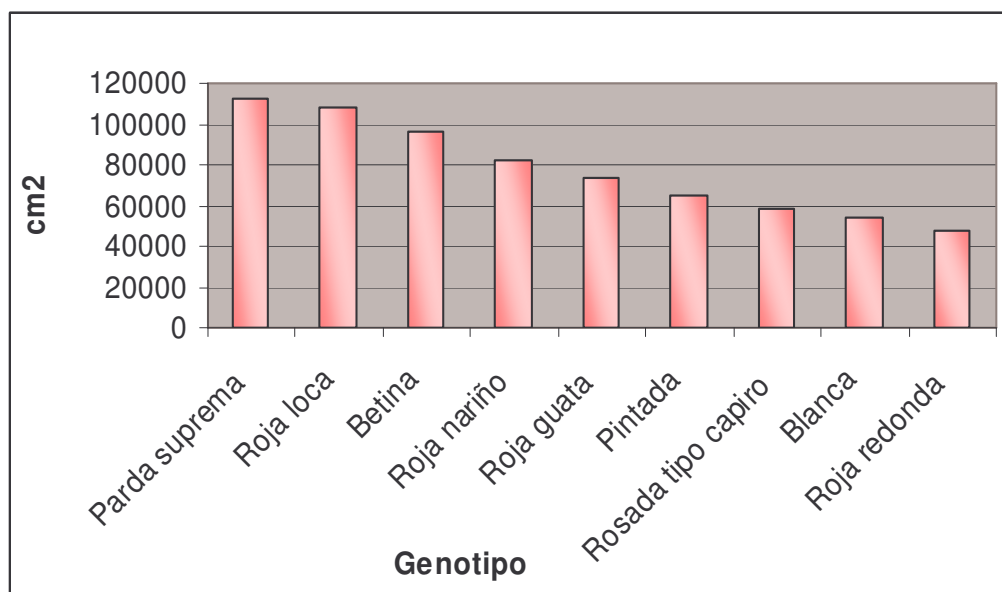
Los genotipos blanca y pintada en este caso, presentaron bajos promedios para área foliar (**Tabla 6**), esto se debe a que plantas con menos cantidad de hojas poseen tamaño de lámina foliar mayor y viceversa. Estos datos coinciden con estudios realizados por Lopez y Alvarado en donde, demuestran que la intensidad

⁹³ RODRIGUEZ, L., CORCHUELO, G Y ÑUSTEZ, C. Influencia del espaciamiento entre plantas sobre la morfología y el crecimiento de Parda pastusa bajo dos ambientes contrastantes. *Agronomía Colombiana*, 2003. Vol. 21 N° 3. 210-214 p.

⁹⁴ LOPEZ, J, Gerardo y ALVARADO, L. F. Comparación del crecimiento foliar de dos variedades de papa (*Solanum tuberosum*) en el altiplano de Pasto *En: Revista de la Facultad de Ciencias Agrícolas*. Universidad de Nariño, Vol VII, N° 1. Pasto, 1977. P: 19-23.

de asimilación neta y el índice de área foliar están inversamente correlacionados; es decir la variación en la producción de materia seca depende más de la variación de área foliar que de la intensidad de asimilación neta en función del rendimiento⁹⁵ (**Tabla 10**).

Figura 7. Area foliar



3.1.5 IAF (Índice de área foliar)

El análisis de varianza realizado mostró diferencias altamente significativas para los tratamientos (**Anexo B**).

Según la prueba de significancia de Tukey, parda suprema, roja loca y betina presentaron los IAF más altos (23.36, 22.56 y 20.11 respectivamente), en comparación con en cambio, blanca y roja redonda presentaron los IAF más bajos (11.30 y 9.86) (**Tabla 7 y figura 8**).

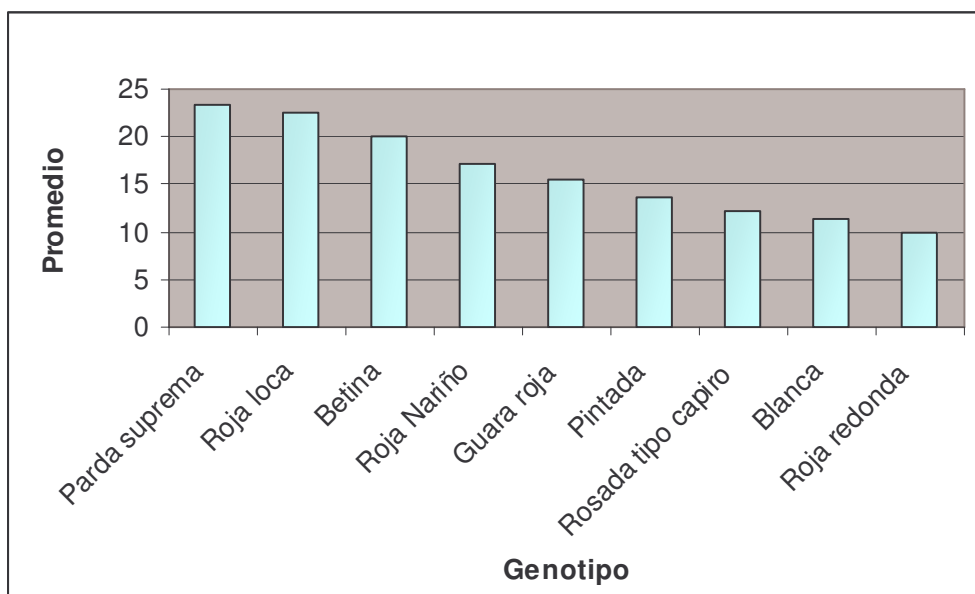
⁹⁵Ibid., p. 22.

Tabla 7. Prueba de significancia para Índice de área foliar.

Genotipo	Promedio
Parda suprema	23.36 a
Roja loca	22.56 b
Betina	20.11 c
Roja Nariño	17.17 d
Guara roja	15.40 e
Pintada	13.57 f
Rosada tipo capiro	12.13 g
Blanca	11.30 h
Roja redonda	9.86 i
Comparador	0.76

Valores promedios seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa
Significancia al 0.05%

Figura 8. Índice de área foliar.



La variación de los resultados obtenidos para los distintos genotipos en el IAF, se debe a que cada uno de ellos presenta una arquitectura y un patrón de desarrollo específico, los cuales a su vez, están determinados por la influencia de las condiciones ambientales⁹⁶.

⁹⁶ MEDINA, Francisber. Efecto de la edad y el genotipo sobre el crecimiento del area foliar en el frijol. *En: Revista de la Facultad de Agronomía. Universidad de Zulia. Vol 13, Nº 1. Maracaibo, Venezuela, 2001. P. 70.*

En los genotipos guata roja, rosada tipo capiro y roja redonda, el bajo IAF, probablemente fue causa de la susceptibilidad a la enfermedad (**Tabla 4**), en donde el desarrollo del patógeno ocupó gran parte del área foliar de los genotipos, disminuyendo considerablemente el IAF; esto a vez afectó directamente el rendimiento (**Tabla 10**). Lo anterior se corrobora con lo que afirma Molina., “El patógeno al llegar a cubrir toda la planta, impide a esta desarrollar el proceso fotosintético, pues al introducir los haustorios en las células destruye un gran número de ellas, afectando el clorofila y por consiguiente a la planta, con la pérdida subsiguiente del color verde normal, tornándose pardo posteriormente café oscuro hasta obtener necrosis total de la hoja, afectando a la vez la producción de sus frutos⁹⁷”.

En los genotipos pintada y blanca, el IAF, fue relativamente bajo (**Tabla 7 y figura 8**), en este caso el resultado fue consecuencia de su baja área foliar, lo cual está determinado por la constitución genética y la interacción con el ambiente. A diferencia de los genotipos roja redonda, rosada tipo capiro y roja guata, los materiales blanca y pintada presentaron un menor porcentaje de severidad, en donde su lámina foliar no se vio afectada, aprovechando así, al máximo la irradiación solar, lo que se traduce en una mayor producción de fotoasimilados⁹⁸.

3.1.6 Inicio de tuberización

En los genotipos evaluados, el inicio de la tuberización presentó una variación en el número de días para cada tratamiento (**Anexo D**)

Para Parda suprema, el inicio de la tuberización fue a los 50 días después de la siembra. En los genotipos: blanca, pintada, roja nariño, rosada tipo capiro y roja loca el inicio de la tuberización se dio a los 60 días después de la siembra. Betina inició su tuberización a los 67 días después de la siembra. Para el genotipo roja redonda la tuberización se inició a los 75 días; y para Guata roja el inicio de la tuberización se dio a los 85 días, siendo esta la más tardía. (**Anexo D**).

En este caso para el genotipo parda suprema, en donde el inicio de la tuberización fue el más rápido, iniciando así más tempranamente el desarrollo de su ciclo productivo, lo que implica la formación y engrosamiento del tubérculo, que combinado con las condiciones agroecológicas significa un buen rendimiento. A diferencia del genotipo guata roja el cual presentó la formación de tubérculos más tardía, lo que implicó un mayor tiempo en su desarrollo productivo y a la vez

⁹⁷MOLINA, L. Manejo de las enfermedades del follaje de la papa causadas por hongos. *En*: Manejo sanitario del cultivo de la papa. Pasto. Memorias, 9,10 y 11 de Abril de 1997. p. 25

⁹⁸MORENO, J. Op cit., p. 50.

genero en este ensayo uno de los rendimientos más bajos. Según Valbuena., El tubérculo se forma a partir de la punta (gancho) del estolón; la iniciación del tubérculo es controlada por factores genéticos y medioambientales. En algunas ocasiones este proceso coincide con la floración temprana donde pocas flores se abren y son poco viables. Las variedades precoces o de maduración temprana usualmente inician su tuberización más temprano que las variedades tardías”⁹⁹.

3.1.7 Número de tubérculos promedio

El análisis de varianza realizado presentó diferencias altamente significativas para los tratamientos (**Anexo B**).

En la prueba de comparación de promedios de Tukey el comportamiento de los genotipos blanca, parda suprema y roja loca para número de tubérculos fue estadísticamente igual, presentando los promedios más altos (17.25, 17.42 y 17.11 respectivamente) en comparación con el genotipo guata roja, el cual obtuvo el promedio más bajo (11.39) (**Tabla 8 , Figura 9**).

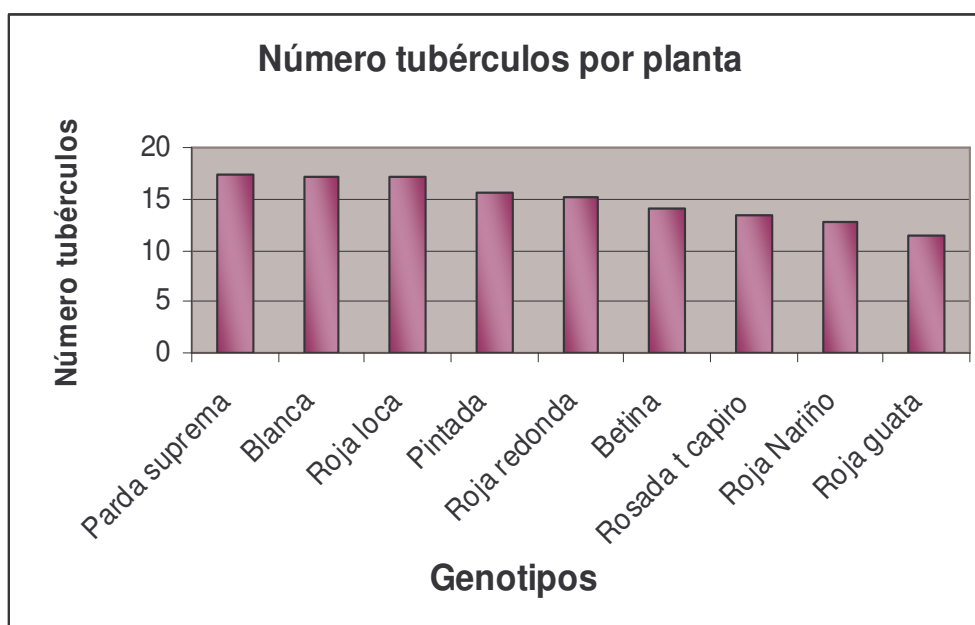
Tabla 8. Prueba de significancia de Tukey para Número de tubérculos promedio.

Genotipo	Promedio (#)
Parda suprema	17.42 a
Blanca	17.25 a
Roja loca	17.11 a
Pintada	15.6 a b
Roja redonda	15.13 a b
Betina	14.13 a b
Rosada t capiro	13.38 a b
Roja nariño	12.85 a b
Roja guata	11.39 b
Comparador	4.99

Valores promedios seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa
Significancia al 0.05%

⁹⁹ VALBUENA, G. Aspectos ecofisiológicos básicos sobre el crecimiento y desarrollo del cultivo de la papa. *En*: Manejo integrado del cultivo de la papa, manual técnico. Bogotá: CORPOICA, 2002. p. 42.

Figura 9. Número de tubérculos promedio



La traslocación de los carbohidratos y azúcares hacia los órganos de reserva como son los tubérculos, esta directamente relacionada con el área fotosintética de la planta, la cual se ve afectada por la presencia de un patógeno¹⁰⁰. En este caso el ataque de *Phytophthora infestans* disminuye e interrumpe los procesos de fotosíntesis, afectando la producción almidones y por ende el número de tubérculos. Para el caso de los genotipos parda suprema, blanca y roja loca la severidad de la enfermedad fue menor, por lo tanto el área fotosintética no se vio afectada en su totalidad, contrario a lo que sucedió con el genotipo guata roja, el cual fue uno de los más susceptible a la enfermedad.

3.1.8 Categoría tubérculos

El análisis de varianza realizado para esta variable mostró diferencias altamente significativas para los tratamientos en cuanto a las categorías cero, primera y tercera. En el caso de las categorías segunda y cuarta no se presentaron diferencias estadísticas (**Anexo E**).

El comparador de medias de Tukey presentó los siguientes resultados: Para la categoría **cero** entre los genotipos blanca, pintada, roja nariño, parda suprema,

¹⁰⁰ Boletín de papa. REDEPAPA-CORPOICA. Mecanismos para incrementar el número de tubérculos. . [en línea] Bogotá. Feb. 2002. [citado 15 de abril 2007]. Disponible en Internet: URL:<http://www.redepapa.org.co/producciónred.html>.

betina y roja loca hubo un comportamiento estadístico similar, con el porcentaje más alto para esta categoría; en cambio los genotipos que tuvieron el porcentaje más bajo fueron roja redonda y rosada tipo capiro, sin presentar diferencias estadísticas entre ellos (**Tabla 9**). En la categoría **primera** los porcentajes más altos lo tuvieron los genotipos blanca, pintada, parda suprema y betina en los cuales no hubo diferencias significativas, en cambio los promedios más bajos los tuvieron los genotipos guata roja, roja nariño, roja redonda y rosada tipo capiro, no existiendo diferencias significativas para dichos genotipos. En la categoría **tercera** los genotipos rosada tipo capiro y roja redonda no se presentaron diferencias estadísticas entre ellos, con porcentajes de 33.46 y 33,41 respectivamente, siendo estos los más altos para la categoría. A diferencia de betina que obtuvo el porcentaje más bajo (20.87) (**Tabla 9 y figura 10**).

En el caso de los genotipos roja redonda y rosada tipo capiro, que presentaron los mayores porcentajes para la categoría tercera (de muy poca aceptación comercial), no alcanzaron un buen desarrollo debido a la baja disponibilidad de hidratos de carbono y fotoasimilados necesarios para el engrosamiento y buen desarrollo el tubérculo; proceso que se ve afectado por el ataque de un patógeno sobre el área foliar de las plantas, lo que afecta directamente el proceso de la fotosíntesis, en este caso inhibe el movimiento de los nutrientes hacia las hojas, éstas no funcionan de manera adecuada, la fotosíntesis disminuye o cesa y se reduce total o parcialmente la cantidad de nutrientes que deben desplazarse hasta los estolones¹⁰¹. Además los tubérculos compiten por la materia seca disponible, que a su vez está influenciada por los cambios ambientales.

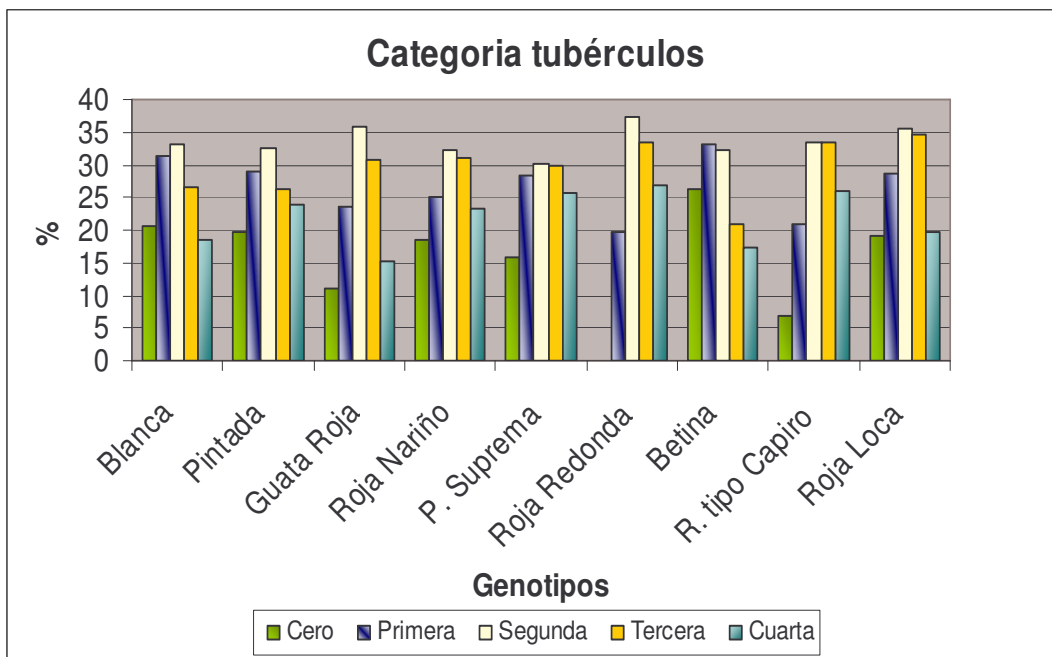
¹⁰¹ DE LA I DE BAUER, I. Fitopatología. México. Limusa, 1998. p. 89.

Tabla 9. Prueba de significancia de Tukey para categoría de tubérculos

PROMEDIO					
GENOTIPO	CERO	GENOTIPO	PRIMERA	GENOTIPO	TERCERA
Betina	26.19 a	Betina	33.16 a	Rosada tipo capiro	33.46 a
Blanca	20.54 a b	Blanca	31.45 a b	Roja redonda	33.31 a
Pintada	19.77 a b	Pintada	28.82 a b c	Roja nariño	31.09 a b
Roja loca	19.27 a b	Roja loca	28.5 a b c d	Roja guata	30.65 a b
Roja nariño	18.51 a b	Parda suprema	28.2 a b c d	Parda suprema	29.98 a b
Parda suprema	15.91 a b c	Roja nariño	25.0 b c d e	Blanca	26.62 a b c
Roja guata	11.12 c	Roja guata	23.60 c d e	Pintada	26.15 a b c
Rosada tipo capiro	7.00 c d	Rosada tipo capiro	20.94 d e	Roja loca	24.73 c
Roja redonda	0.00 d	Roja redonda	19.82 e	Betina	20.87 c
Comparador	10.8	Comparador	7.66	Comparador	7.92

Valores promedios seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa (Significancia al 0.05%)

Figura 10. Clasificación de tubérculos por categoría



3.1.9 Rendimiento Tn/ha

El análisis de varianza realizado para esta variable mostró diferencias altamente significativas para los tratamientos (**Anexo B**)

De acuerdo a la prueba de comparación de Tukey el rendimiento de los genotipos blanca, pintada, parda suprema, betina y roja loca (**Tabla 10, y Figura. 11**) no presentó diferencias estadísticas entre ellos, pero sí con los demás genotipos; con valores promedios que oscilaron entre 24.66 y 29.61, siendo estos los mejores rendimientos.

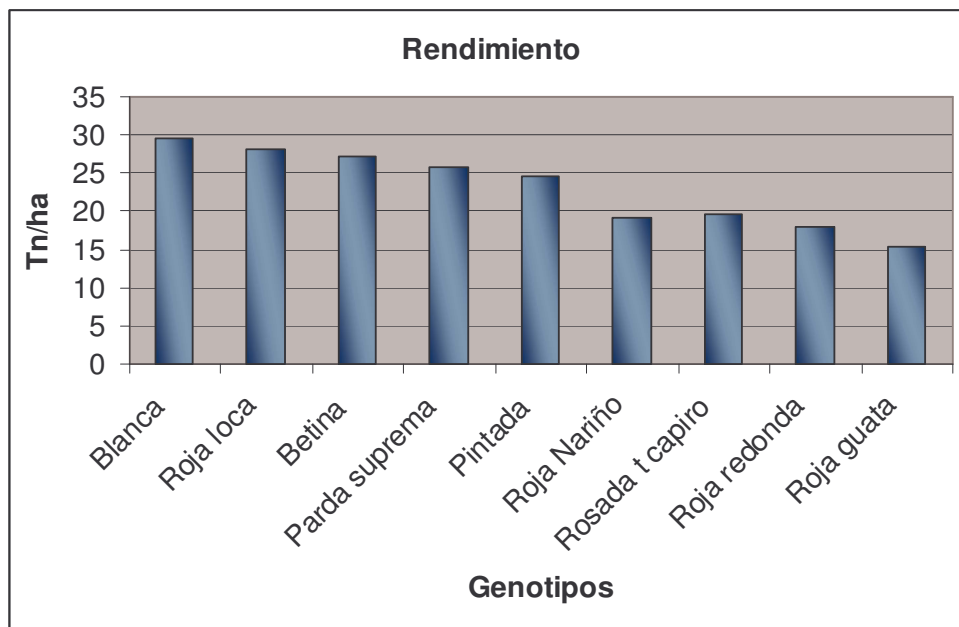
Los rendimientos más bajos se obtuvieron para roja guata, roja nariño, roja redonda y rosada tipo capiro con un promedio comprendido entre 15.47 y 19.55. (**Tabla 10, y Figura. 11**).

Tabla 10. Prueba de significancia de Tukey para rendimiento.

Genotipo	Rendimiento Tn/ha
Blanca	29.61 a
Roja loca	28.05 a
Betina	27.12 a b
Parda suprema	25.71 a b c
Pintada	24.66 a b c
Roja Nariño	19.21 b c d
Rosada t capiro	19.55 b c d
Roja redonda	17.88 c d
Roja guata	15.47 d
Comparador	8.39

Valores promedios seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa (Significancia al 0.05%).

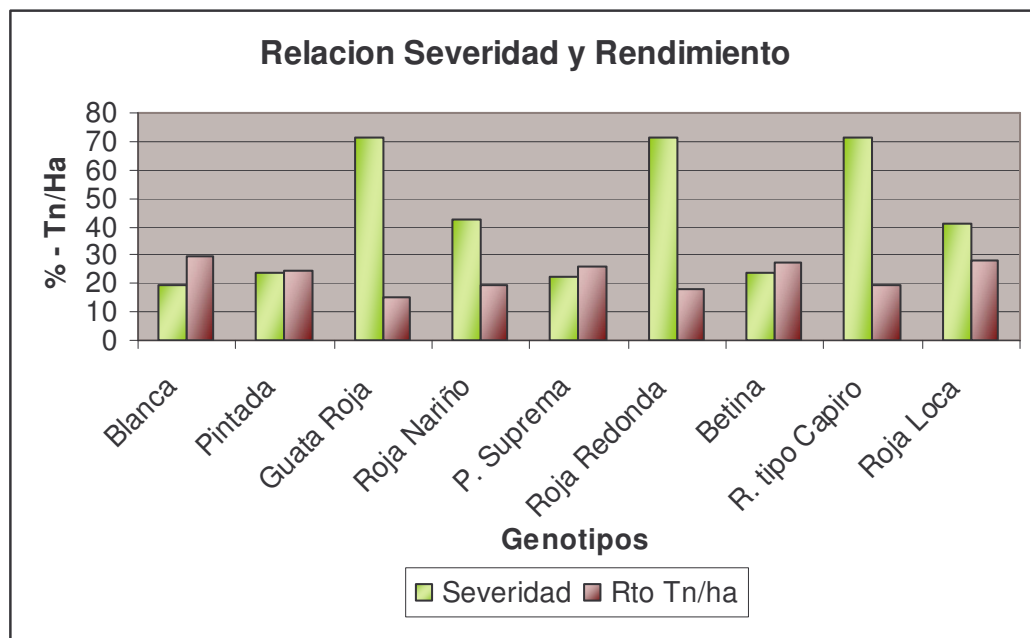
Figura 11. Rendimiento Tn/ha



En esta investigación se pudo demostrar que entre las variables severidad y rendimiento hay un alto grado de asociación (**Anexo F**), de esta manera se puede afirmar que si hubo influencia de la enfermedad sobre el rendimiento de la planta (**Figura 12**), lo cual se puede complementar con el análisis de sendero que se explica más adelante.

Para los genotipos rosada tipo capiro, roja redonda y roja guata, en donde se obtuvieron los rendimientos más bajos (**Tabla 10**), como consecuencia del ataque del patógeno y la susceptibilidad del hospedante. Es por esta razón que en estos genotipos se presentó una desviación peligrosa en el funcionamiento normal de sus procesos fisiológicos y metabólicos, lo cual trae como consecuencia una disminución en el rendimiento de las plantas afectadas¹⁰².

Figura 12. Comportamiento de la severidad y rendimiento



Los genotipos blanca, pintada, parda suprema, betina y roja loca fueron afectados en menor grado por la enfermedad, pero no mostraron pérdidas significativas en su rendimiento, de esta manera se puede afirmar que dichos genotipos presentan cierto grado de tolerancia a la enfermedad. En donde el hospedante que muestra tolerancia restringe las consecuencias dañinas de la infección por el parásito, más no evita que éste se desarrolle en la planta.¹⁰³

¹⁰² MANNERS, J. Introducción a la fitopatología. México. Limusa, 1993. p. 14.

¹⁰³ SAÑUDO, B., y BETANCOURTH, C. Op cit. p. 130.

En esta investigación los genotipos blanca y pintada obtuvieron buenos rendimientos (**Tabla 10**), y a la vez, un índice de área foliar bajo (**Tabla 7**), esto se debe principalmente a factores de tipo genético; en este caso se hace referencia al potencial productivo del genotipo, a la relación fuente – vertedero la cual se basa en el potencial que tiene una planta o un cultivo para ser altamente eficiente los procesos fotosintéticos, la captación de radiación solar, el desarrollo foliar y la distribución y asignación de la materia seca¹⁰⁴.

La distribución de la materia seca (fotoasimilados fundamentalmente) entre los distintos vertederos (órganos consumidores netos de fotoasimilados), se considera de gran importancia en la productividad de un cultivo. Esto se debe a un aumento en la proporción de fotoasimilados acumulados en las partes aprovechables, normalmente los frutos, semillas y tubérculos, más que un aumento en la fotosíntesis total de la planta¹⁰⁵.

El genotipo roja nariño, mostró un menor grado de severidad, comparativamente con rosada tipo capiro donde el ataque de la enfermedad fue mayor (**Tabla 4**), (**Figuras 4**), sin embargo, no se presentaron diferencias estadísticas entre sus rendimientos (**Tabla 10**). En este caso, Robles afirma, “Existen genotipos que a pesar de ser atacados drásticamente por el patógeno no siempre van a tener un rendimiento bajo; aunque en otros casos, el genotipo puede ser levemente atacado por la enfermedad y a su vez no presentar rendimientos altos. La diferencia de estos genotipos está dirigida principalmente a su potencial productivo y no necesariamente a su grado de resistencia”¹⁰⁶.

Según PEÑA, L., “la gota puede destruir las plantas de una zona de cultivo en muy corto tiempo, cuando las condiciones climáticas son favorables y no se aplica ningún método de control, además ocasiona pérdidas económicamente significativas”¹⁰⁷.

¹⁰⁴ AZCON-BIETO, J y TALON, M. Fundamentos de fisiología vegetal. Madrid, España, Mcgraw-Hill, 2001. p. 126.

¹⁰⁵ AZCON-BIETO, J y TALON, M. Opcit., p. 110.

¹⁰⁶ ROBLES, R. Op cit. p. 255

¹⁰⁷ PEÑA, L. A. Manejo técnico y socioempresarial de la papa en el departamento de Nariño. Pasto, CORPOICA, noviembre de 2004. p. 35.

3.1.10 Características de los tubérculos.

Los genotipos evaluados presentaron las siguientes características morfológicas:

Genotipo:	Pintada
Color primario:	morado
Color secundario:	Blanco crema
Distribución color Secundario:	Como anteojos
Forma tubérculo:	Redondo



Genotipo:	Blanca
Color primario:	Blanco crema
Color secundario:	Ausente
Distribución color Secundario:	Ausente
Forma tubérculo:	Redondo



Genotipo: Guata Roja
Color primario: Rojo
Color secundario: Ausente
Distribución color Secundario: Ausente
Forma tubérculo: Redondo



Genotipo: Rosada tipo capiro
Color primario: Rosado-intenso
Color secundario: Blanco crema
Distribución color Secundario: Salpicado
Forma tubérculo: Redondo



Genotipo:
Color primario:
Color secundario:
Distribución color
Secundario:
Forma tubérculo:

Roja redonda
Rosado-intermedio
Amarillo
Como anteojos
Redondo



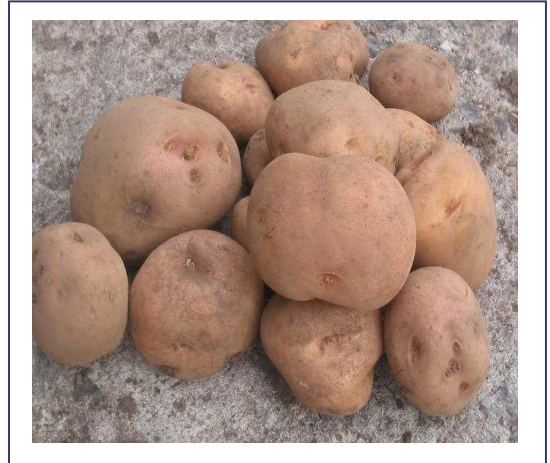
Genotipo:
Color primario:
Color secundario:
Distribución color
Secundario:
Forma tubérculo:

Roja loca
Rojo-intenso
Ausente
Ausente
Redondo

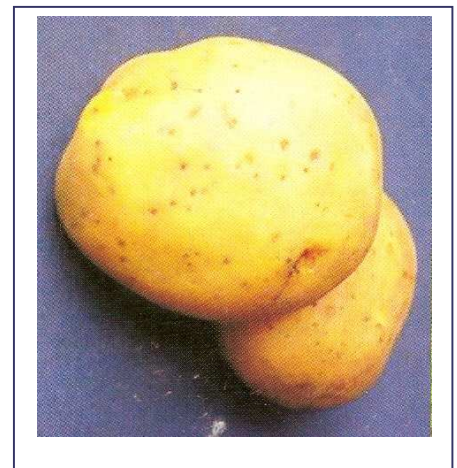


Variedades Mejoradas

Genotipo:	Parda suprema
Color primario:	Pardo
Color secundario:	Ausente
Distribución color Secundario:	Ausente
Forma tubérculo:	Redonda



Genotipo:	Betina
Color primario:	Ocre
Color secundario:	Ausente
Distribución color Secundario:	Ausente
Forma tubérculo:	Redondo aplanado



Genotipo: Roja nariño
Color primario: Rojo
Color secundario: Ausente
Distribución color Secundario: Ausente
Forma tubérculo: Redondo



3.1.11 Días a brotación

Después de almacenar los genotipos, se realizaron evaluaciones a los tubérculos cada ocho días, y se obtuvieron los siguientes datos (**Tabla 11**).

Tabla 11. Días a brotación para los genotipos evaluados

Genotipo	Tiempo (DDA)
Roja loca	60
Roja nariño	60
Roja guata	70
Roja redonda	70
Parda suprema	77
Betina	77
Blanca	77
Rosada tipo C.	78
Pintada	85

DDA: Días después de almacenamiento

3.1.12 Número de yemas activas

Al revisar las yemas activas en los tubérculos se obtuvieron los siguientes datos: (Tabla 12).

Tabla 12. Número de yemas activas

Genotipo	Nº yemas activas
Roja loca	4
Blanca	3
Pintada	3
Roja nariño	3
Parda suprema	3
Betina	3
Rosada tipo C.	3
Roja redonda	2
Roja guata	2

3.2 INDICE DE SELECCION

El índice de selección (I.S.) se aplicó a cada uno de los 9 genotipos, siendo esta una medida que permite elegir y separar materiales, prefiriéndolos según sus condiciones superiores (Tabla 13); con base en valores por encima de 0.50, se seleccionaron tres clones regionales que fueron: blanca, pintada y roja loca, los dos genotipos restantes corresponden a las variedades mejoradas parda suprema y betina (Tabla 14 y Figura 13).

Tabla 13. Datos utilizados para índice de selección

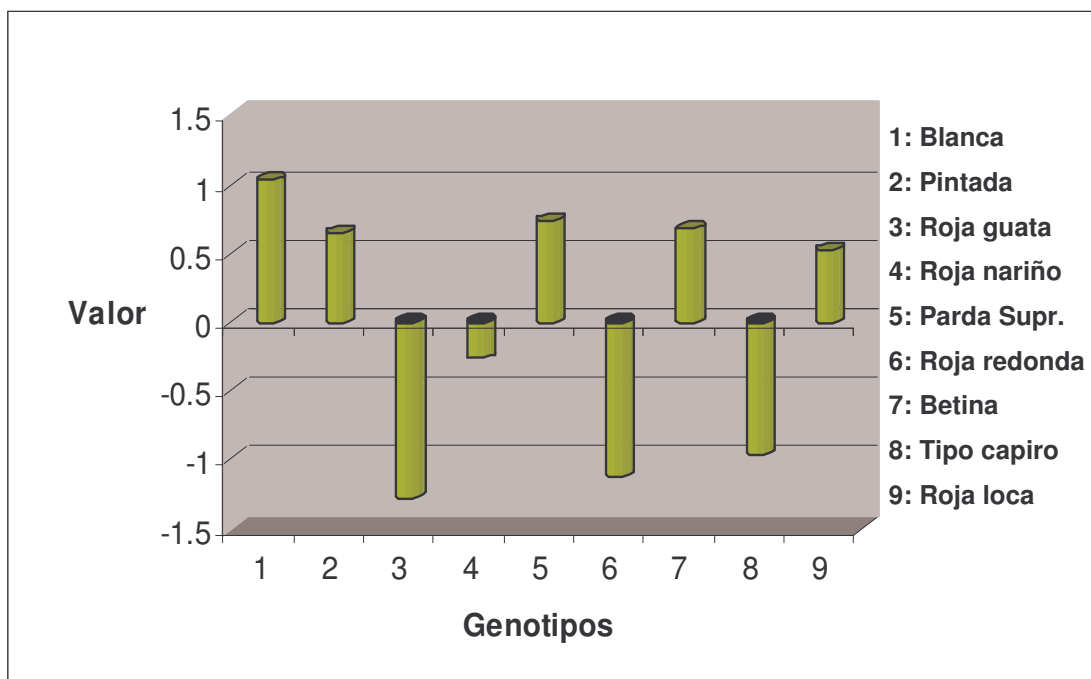
Genotipo	Rto tn/ha	Severidad %	Color	Tamaño
Blanca	29.62	11.58	2	4
Pintada	24.67	15.53	3	4
Roja guata	15.47	89.18	5	3
Roja nariño	19.22	46.20	5	3
Parda suprema	25.72	14.10	5	4
Roja redonda	17.88	89.73	4	3
Betina	27.13	16.13	3	2
Rosada tipo C.	19.56	88.73	4	3
Roja loca	28.06	36.28	5	4

Tabla 14. Índice de selección para los genotipos evaluados

Genotipo	Ind. Selecc.
Blanca	1.03 **
Pintada	0.65 **
Roja guata	-1.28
Roja nariño	-0.26
Parda suprema	0.74 **
Roja redonda	-1.12
Betina	0.68 **
Rosada – capiro	-0.96
Roja loca	0.53 **

** Tratamientos seleccionados para el segundo ciclo.

Figura 13. Índice de selección.



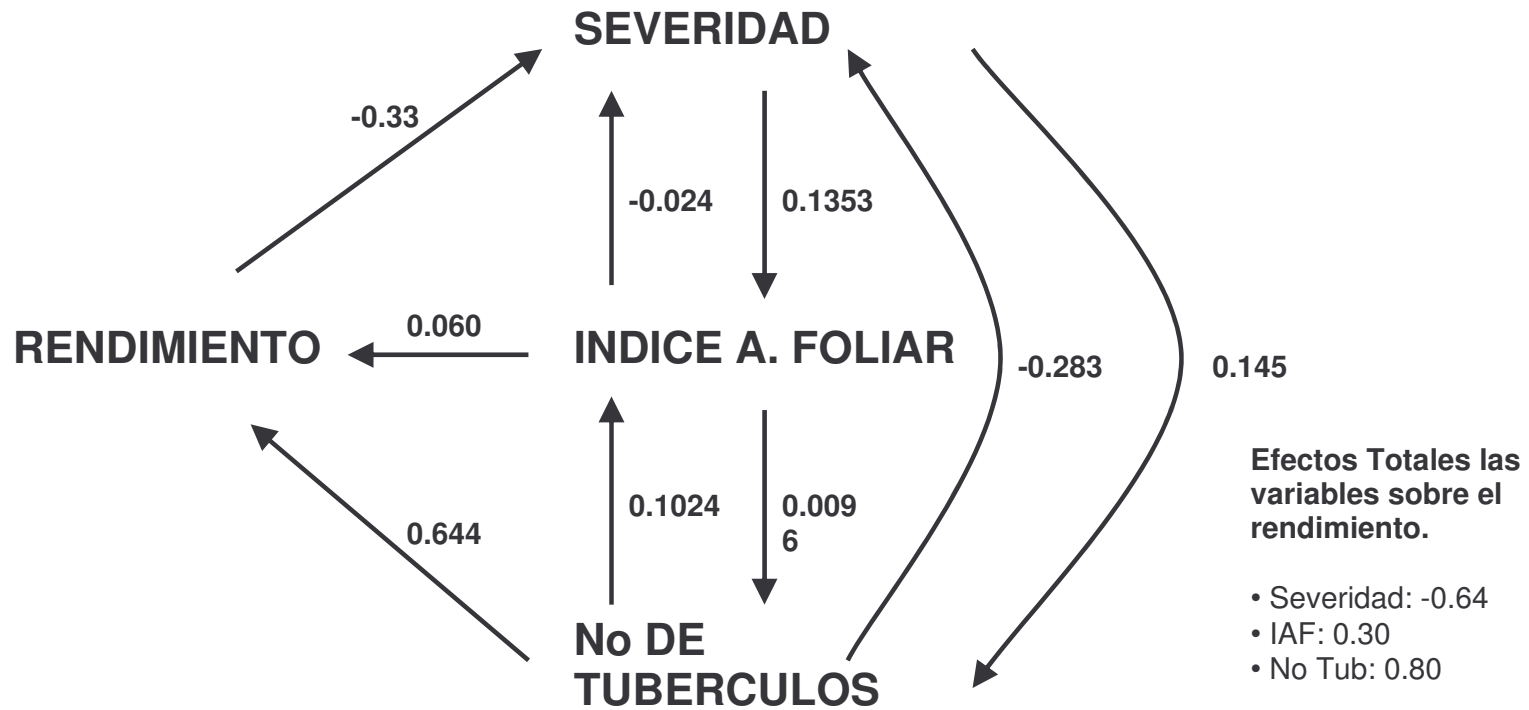
3.3 ANALISIS DE REGRESION MULTIPLE PARA LOS COMPONENTES DE RENDIMIENTO.

El análisis de los resultados muestra un coeficiente de determinación que permite establecer un excelente ajuste del modelo propuesto: **Rto:** $0.038*(IAF)+1.62*(N^{\circ} \text{ tubérculos})-0.088*(\text{severidad})$. Ya que demuestra que el 97.6% ($r^2= 0.976$) de la varianza total del rendimiento se puede explicar por el efecto del índice de área foliar, número de tubérculos y severidad.

El análisis de varianza indica que al variar el grado de severidad, el índice de área foliar y el número de tubérculos el cambio en el rendimiento es altamente significativo. (**Anexo G**)

3.4 ANALISIS DE SENDERO PARA LOS COMPONENTES DE RENDIMIENTO.

Figura 14. Diagrama Análisis de Sendero



El efecto total de la **severidad** de *Phytophthora infestans*, sobre el rendimiento fue de -0.64, de donde el -0.33, correspondió al efecto directo de la severidad, los efectos indirectos totales fueron de -0.3 (la relación entre índice de área foliar y # de tubérculos) (**Tabla 15**).

El efecto total del Índice de área foliar sobre el rendimiento fue de 0.3, de donde el -0.060 correspondió al efecto directo del índice de área foliar, los efectos indirectos totales (relación entre severidad y # de tubérculos) fueron de 0.237(**Tabla 16**)

El efecto total del # de tubérculos promedio sobre el rendimiento fue de 0.80, de donde el 0.64 correspondió al efecto directo de # tubérculos, los efectos indirectos totales (relación severidad e índice de área foliar) fueron de 0.15 (**Tabla 17**).

Tabla 15. Efectos directos-indirectos de la severidad sobre el Rendimiento

Severidad y Rendimiento	Valor
Efecto directo de la severidad	-0.33
Efecto indirecto vía índice a. foliar	-0.024
Efecto indirecto vía no. Tubérculos.	-0.283
Efectos indirectos totales:	-0.307
Efecto total	-0.64

Tabla 16. Efectos directos-indirectos del IAF sobre el rendimiento

Índice de área f. y Rendimiento	Valor
Efecto directo del índice a. foliar	0.060
Efecto indirecto vía severidad	0.1353
Efecto indirecto vía no. Tubérculos	0.1024
Efectos indirectos totales:	0.2377
Efecto total	0.30

Tabla 17. Efectos directos-indirectos de N° tubérculos promedio Sobre Rendimiento.

N° tubérculos. Promedio y Rendimiento	Valor
Efecto directo de #. Tubérculos	0.644
Efecto indirecto vía severidad	0.145
Efecto indirecto vía índice a. foliar.	0.0096
Efectos indirectos totales:	0.1546
Efecto total	0.80

El efecto que tuvo la severidad de la enfermedad sobre el rendimiento del cultivo fue determinante; esto se pudo observar en el caso de los genotipos roja redonda, rosada tipo capiro y roja guata los cuales presentaron un alto porcentaje de severidad (**Tabla 4**), al mismo tiempo presentaron los rendimientos más bajos (**Tabla 10**). El ataque de *Phytophthora infestans* está dirigido principalmente al follaje, destruyendo los tejidos de las hojas, disminuyendo la fotosíntesis debido a la reducción, e incluso la muerte, de la superficie fotosintética de la planta, afectando la producción de sus frutos¹⁰⁸.

Teniendo en cuenta los resultados para IAF (**Tabla 7**), los genotipos parda suprema, roja loca y betina presentaron los promedios más altos, a diferencia de pintada y blanca que presentaron un índice de área foliar relativamente bajo. Pero al comparar los rendimientos se puede apreciar que no hubo diferencias significativas entre estos genotipos, siendo a la vez los más altos. En este caso, se estableció que no siempre un cultivo con un bajo índice de área foliar va a tener una baja producción. Esto se atribuye al potencial que tiene cada genotipo para crecer y desarrollarse, lo cual dependerá de la cantidad de energía solar que capten, la eficiencia fotosintética de sus hojas, y la forma y rapidez del transporte de los asimilados¹⁰⁹.

El número de tubérculos promedio, es una variable que mostró un efecto muy importante sobre el rendimiento, como se pudo apreciar casi en la totalidad de los genotipos (**Tabla 10**), en los cuales esta variable presentó el mayor número, se obtuvieron los rendimientos más altos. El rendimiento de los tubérculos en cultivo de papa está determinado por la cantidad de radiación fotosintéticamente activa interceptada por el follaje, por la eficiencia con la cual la radiación interceptada es convertida en materia seca y por la proporción de acumulación de materia seca trasladada a los tubérculos, incrementando así la producción¹¹⁰.

¹⁰⁸ MANNERS, J. Op cit. p. 80.

¹⁰⁹ CABEZAS, Marco. Y NOVOA, D. Efectos de la remoción de hojas y frutos en la relación fuente – demanda en lulo (*Solanum quitoense*). Memorias: 3er Seminario de frutales de clima frío moderado. Manizales, Noviembre 15-17 del 2000. p. 70.

¹¹⁰ RODRIGUEZ, L y CORCHUELO, G. Densidad de población y su efecto sobre rendimiento de papa. *En: Agronomía Colombiana*. No 1. Vol 22, junio de 2004. p. 29.

3.5 SEGUNDO CICLO.

3.5.1 Severidad de gota (*Phytophthora infestans*).

De acuerdo al análisis combinado de varianza (**Anexo H**) se presentaron diferencias altamente significativas en cuanto a localidades, tratamientos y su interacción.

Al hacer la comparación de los datos obtenidos en general, según la prueba de significancia de Tukey, no se observaron diferencias significativas entre blanca, pintada y parda suprema, siendo estos los mejores tratamientos con promedios de severidad que están entre 24.78% y 27.41% (**Tabla 18**), no obstante, Betina tuvo diferencias estadísticas con los genotipos roja loca y el testigo los cuales se comportaron estadísticamente igual, presentando el promedio más alto en severidad (**Figura 15**).

Figura 15. Comportamiento de la Severidad en los diferentes genotipos evaluados.

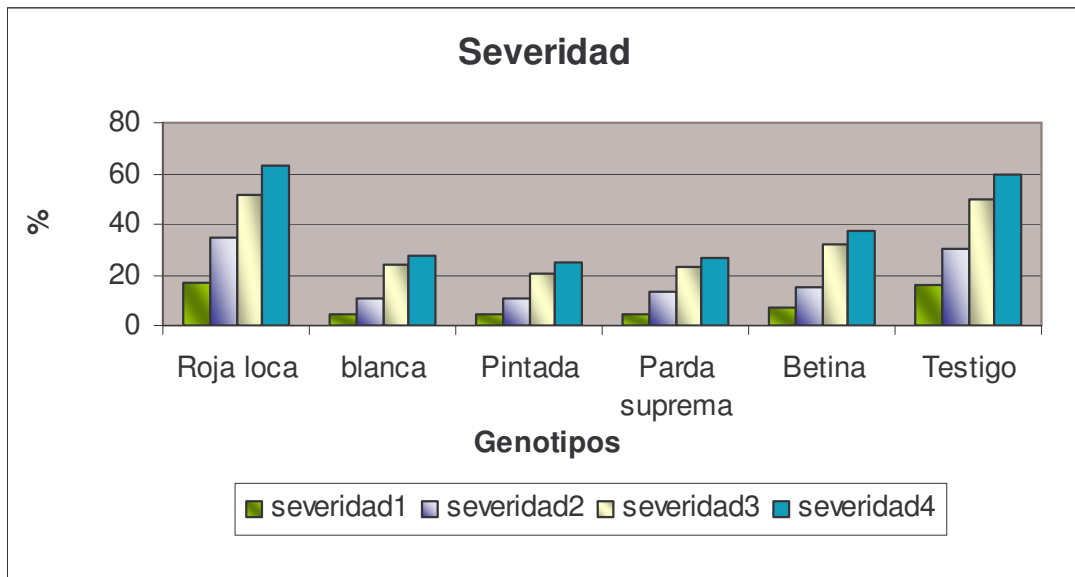


Tabla 18. Prueba de significancia de tukey para severidad.

PROMEDIO (%)							
GENOTIPO	SEVERIDAD1	GENOTIPO	SEVERIDAD2	GENOTIPO	SEVERIDAD3	GENOTIPO	SEVERIDAD4
Roja loca	16.68 a	Roja loca	34.66 a	Roja loca	51.57 a	Roja loca	63.28 a
Testigo	16.18 a	Testigo	30.42 b	Testigo	49.62 a	Testigo	59.50 a
Betina	6.76 b	Betina	15.05 c	Betina	31.76 b	Betina	37.27 b
Parda suprema	4.8 b c	Parda suprema	13.65 c d	Blanca	24.31 c	Blanca	27.41 c
Pintada	4.60 b c	Blanca	10.4 d	Parda suprema	23.47 c	Parda suprema	26.35 c
Blanca	4.03 c	Pintada	10.35 d	Pintada	20.79 c	Pintada	24.78 c
Compar.	2.3	Compar.	3.3	Compar.	4.62	Compar.	5.92

Valores promedios seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa (Significancia al 0.05%)

Tabla 19. Prueba de significancia de Tukey para severidad entre localidades.

LOCALIDAD	Severidad1	Compara.	Severidad2	Compara	Severidad3	compara	Severidad4	compara
Botana	12.66 a	1.35	25.30 a	1.92	41.46 a	2.66	47.88 a	3.41
Tusandala	8.93 b		17.63 b		31.15 b		38.33 b	
Potosí	4.95 c		14.34 c		28.15 c		33.09 c	

El grado de tolerancia presentado por los genotipos pintada, blanca y parda suprema en este ciclo, se mantuvo relativamente igual que en el primero; lo que demuestra que hubo una durabilidad en la reacción de los genotipos frente al desarrollo de la enfermedad, presentándose un punto de equilibrio entre el hospedante y el patógeno. Estos resultados coinciden con lo que afirma Sañudo y Betancourth., “La cualidad de resistir más al ataque de un patógeno o lo que es lo mismo, de ser menos susceptible a este, debe ser duradera y generalmente se consigue, buscando un punto de equilibrio en la interacción hospedante-patógeno, en el que la producción y calidad del cultivo no se vea afectada significativamente”¹¹¹. El genotipo betina disminuyó su grado de tolerancia con respecto a los genotipos ya mencionados, pero sigue presentando grandes diferencias con respecto al testigo.

En los mejores genotipos (pintada, blanca, parda suprema y betina), hubo un desarrollo del patógeno y propagación de la enfermedad, pero a la vez estos, mostraron un mejor rendimiento que los genotipos más susceptibles, por lo cual se puede concluir que los genotipos son tolerantes a la gota; lo que significa de acuerdo con Elliott., “Que la tolerancia a la enfermedad es la capacidad de las plantas para producir una buena cosecha aún cuando sean infectadas por un patógeno. Además la tolerancia, es el resultado de las características hereditarias específicas de la planta hospedante que permite que el patógeno se desarrolle y propague en ella, mientras que la planta, sobrevive para dar una buena cosecha”¹¹².

El genotipo roja loca, en este ciclo presentó una alta susceptibilidad a la enfermedad, igualmente su rendimiento fue muy bajo, contradictoriamente al primer ciclo en donde su reacción ante el patógeno fue aceptable y su rendimiento fue uno de los mejores lo que le permitió mediante un índice de selección clasificar al siguiente ciclo. Analizando este comportamiento, probablemente se pudo presentar un **escape** a la enfermedad lo que ocurre siempre que las plantas genéticamente susceptibles no sean infectadas, ya que los factores necesarios (hospedante susceptible, patógeno virulento y ambiente favorable) no coincidan e interactúen en el momento oportuno o que tengan una duración suficiente. En muchos casos, las plantas escapan de las enfermedades debido a que están entremezcladas con otro tipo de plantas que no son susceptibles al patógeno, por lo que la cantidad de inóculo que llega a ellas es mucho menor que si estuvieran plantadas como único genotipo”¹¹³.

Para la interacción entre localidades; Potosí fue la zona menos afectada, con promedio de 33.09%, seguido por Tusandala donde la severidad promedio fue de

¹¹¹ SAÑUDO, B y BETANCOURT, C. Op cit. p. 127

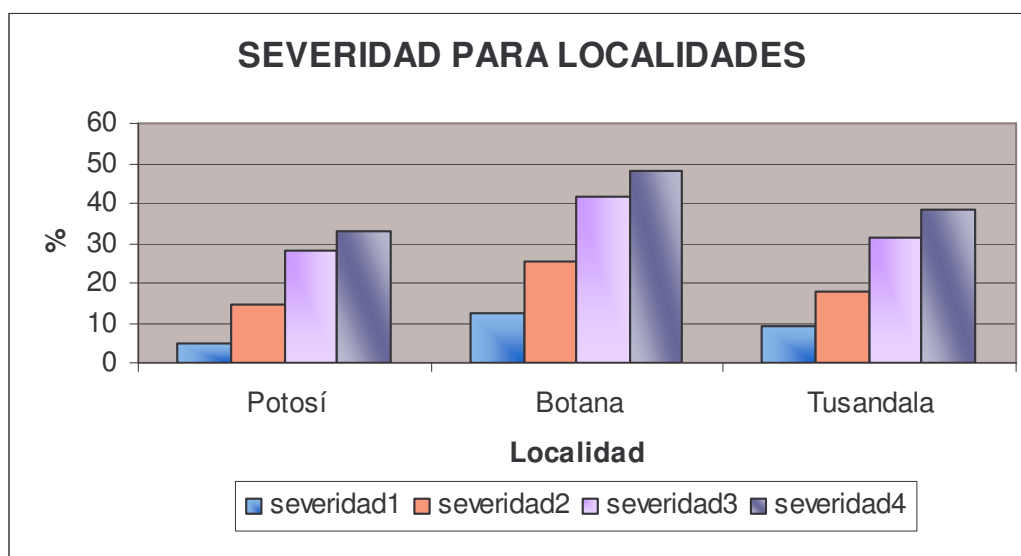
¹¹² ELLIOTT, F. Op cit. p. 385

¹¹³ R. E. NIKS y W. H. LINDHOUT. Op cit. p.170

38.33% y la localidad con mayor grado de severidad fue Botana, con un promedio de 47.88% (**Tabla 19 y Figura 16**).

El hecho de existir interacción genotipo por ambiente, significa que cada región influyo de manera diferente en los genotipos, por esta razón se presentó una variación en la reacción del hospedante al patógeno. Probablemente este resultado se dio por la influencia de las condiciones ambientales, que favorecieron el desarrollo de la enfermedad. Según., Elliott, F. y Agrios G., “En ambientes en donde el patógeno está bien adaptado, pueden coexistir con facilidad un gran número de biotipos o razas fisiológicas, particularmente cuando hay presentes un número de variedades hospedantes, tanto bastantes resistentes como susceptibles. La dinámica poblacional de algunos microorganismos es muy compleja y los cambios en la composición de las razas se presentan por la interacción de hospedante, patógeno y condiciones ambientales”¹¹⁴⁻¹¹⁵.

Figura 16. Comportamiento de la Severidad para la interacción entre localidades



3.5.1.1 Severidad para cada localidad.

Teniendo en cuenta el análisis de varianza para cada localidad, se encontraron diferencias altamente significativas para los tratamientos (**Anexos I, J, y K**)

¹¹⁴ ELLIOTT, Fred. Mejoramiento de plantas citogenéticas. México, ed. Continental. 1996. p. 376.

¹¹⁵ AGRIOS, G. Op cit. p. 12

De acuerdo a la prueba de significancia de Tukey, en la localidad de Tusandala se presentaron diferencias significativas entre tratamientos, en donde la menor severidad la registraron los genotipos: pintada, parda suprema y blanca con promedios de 23.56, 24.45 y 29.55 respectivamente, en comparación con el testigo y roja loca los cuales presentaron un promedio de 53.96 y 60.29 sin diferencias estadísticas entre ellos, siendo así los genotipos más susceptibles a la enfermedad (**Tabla 20**)

En la localidad de Potosí los mejores genotipos en cuanto a severidad fueron: pintada, blanca, parda suprema y betina con promedios comprendidos entre 18.75 y 28.77 sin presentar diferencias significativas entre ellos, comparativamente con el testigo y roja loca los cuales obtuvieron los promedios más altos de severidad sin diferencias estadísticas entre ellos (**Tabla 20**)

En la localidad de Botana los genotipos parda suprema, blanca y pintada con promedios de 29.46, 29.83 y 32.02 respectivamente no presentaron diferencias significativas entre ellos, siendo estos los mejores genotipos en comparación con roja loca y el testigo los cuales obtuvieron los promedios mas altos en cuanto a severidad, sin diferencias entre ellos (**Tabla 20**).

Tabla 20. Prueba de significancia de Tukey para severidad (%) dentro de cada localidad.

TUSANDALA		POTOSI		BOTANA	
GENOTIPO	PROMEDIO	GENOTIPO	PROMEDIO	GENOTIPO	PROMEDIO
Roja loca	60.29 a	Roja loca	52.56 a	Roja loca	77.01 a
Testigo	53.96 a	Testigo	50.46 a	Testigo	74.09 a
Betina	38.17 b	Betina	28.77 b	Betina	44.88 b
Blanca	29.55 b c	P.suprema	25.13 b	Pintada	32.02 c
P.suprema	24.45 b c	Blanca	22.86 b	Blanca	29.83 c
Pintada	23.56 c	Pintada	18.75 b	P.suprema	29.46 c
Comparad.	14.23	Comparad.	10.07	Comparad.	8.51

Valores promedios seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa (**Significancia al 0.05%**)

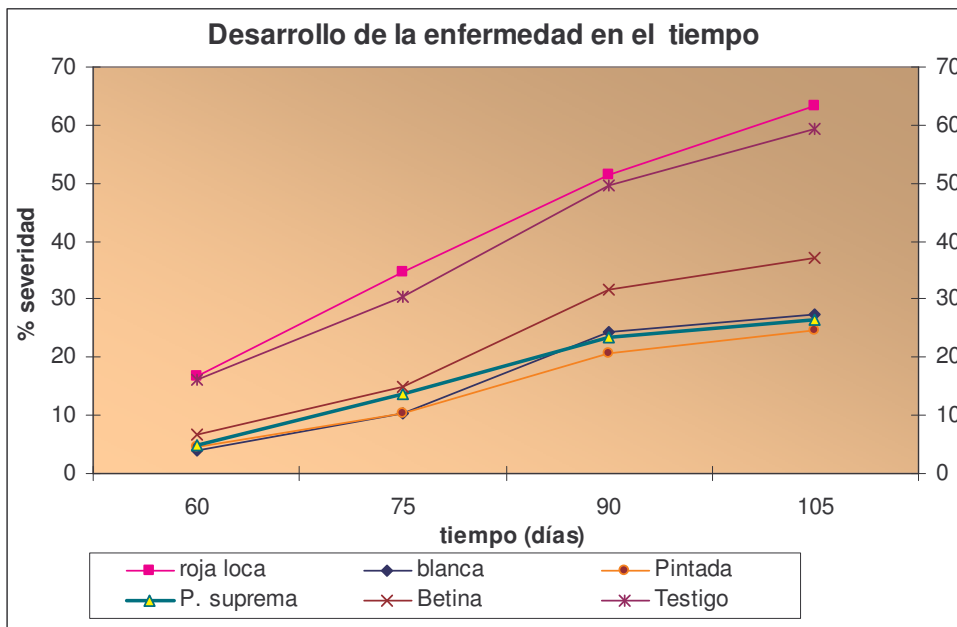
3.5.2 Epidemiología de la enfermedad

3.5.2.1 Desarrollo de la enfermedad.

El desarrollo de la enfermedad en general presento un avance aritmético a través del tiempo, en donde la enfermedad en los genotipos roja loca y testigo tuvo un desarrollo inicial mayor que en los genotipos tolerantes (pintada, blanca y parda suprema), este comportamiento se mantuvo durante el tiempo de tal manera que

al final de las lecturas de severidad el progreso de la enfermedad siempre fue mayor en los genotipos susceptibles que en los tolerantes (**Figura 17**).

Figura 17. Avance aritmético de la gota de la papa (*Phytophthora infestans*) a través del tiempo.



La característica esencial de una disseminación patogénica es el aumento constante del porcentaje de individuos enfermos en una población vegetal dada. (**Figura 17**). Este incremento será más o menos rápido de acuerdo con la velocidad de disseminación epifítica dependiente a su vez, tanto de la naturaleza del patógeno y del hospedante, como de las condiciones ambientales. En consecuencia, la cantidad de inóculo aumenta en forma exponencial con el tiempo cuando las circunstancias son favorables para el desarrollo de la enfermedad¹¹⁶.

3.5.2.2 Tasa de desarrollo de la enfermedad

Con relación a la tasa de desarrollo de la enfermedad (r), el genotipo con menor valor fue pintada con 0.041 unidades/ día, seguido por parda suprema con r : 0.043 unidades/día, en comparación con el testigo que presentó un r : 0.047 unidades/día (**figura 18**).

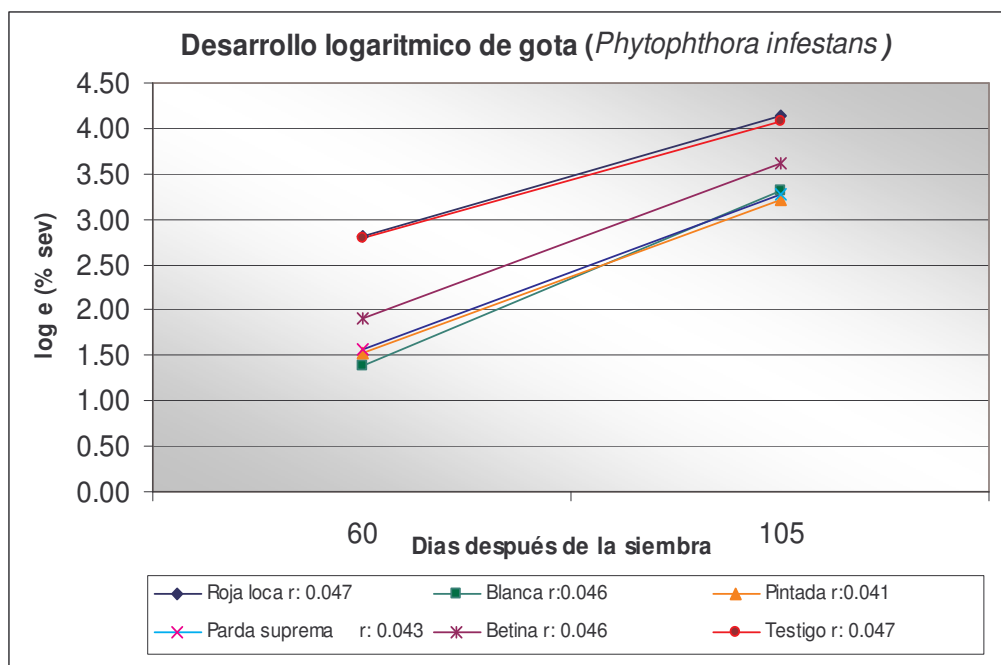
Castaño, J. afirma que “La tasa de desarrollo de la enfermedad es considerada como un parámetro cuantitativo que permite diferenciar genotipos resistentes y susceptibles”¹¹⁷; en esta investigación, se pudo diferenciar la reacción de cada uno

¹¹⁶ DE BAUER, L. Fitopatología. México. Limusa, 1991. p. 203.

¹¹⁷ CASTAÑO, J. Principios básicos de fitopatología. Honduras; Zamorano, 1994. p. 216.

de los genotipos, con relación a la evolución de la enfermedad en el tiempo. De esta manera se encontró que los genotipos pintada y parda suprema presentaron resistencia al ataque de goma, en cambio el genotipo blanca presentó tolerancia al ataque de la enfermedad, por lo que su rendimiento no difiere significativamente con los genotipos con menor tasa de desarrollo; por su parte los genotipos roja loca y testigo presentaron sensibilidad a la enfermedad. Lo anterior se puede corroborar con lo dicho por R. Niks y W. Lindhout., “Tolerancia y sensibilidad son caracteres relativos, que se miden mediante la determinación del daño por unidad de tejido afectado; mientras más baja es la proporción, la planta es más resistente (menos sensible)”¹¹⁸.

Figura 18. Tasa de desarrollo de la enfermedad a través del tiempo.



3.5.3 Número tubérculos promedio

Según el análisis combinado de varianza se presentaron diferencias altamente significativas tanto para localidad, tratamiento como para su interacción (**Anexo L**).

Según la prueba de significancia de Tukey (**Tabla 21**) no se presentaron diferencias significativas entre , los genotipos blanca, pintada y parda suprema los cuales tuvieron el promedio más alto de tubérculos con valores de 14.85, 14.21 y 14.94 respectivamente, no obstante, betina presentó diferencias estadísticas con el testigo, el cual tuvo el número de tubérculos más bajo con un valor de 6.54, y

¹¹⁸ R. E. NIKS y W. H. LINDHOUT Op cit., p.19.

éste a su vez no presenta diferencias estadísticas con el genotipo roja loca que presentó un promedio de 7.32 (**Figura 19**).

Tabla 21. Prueba de significancia de Tukey para Número de tubérculos por planta.

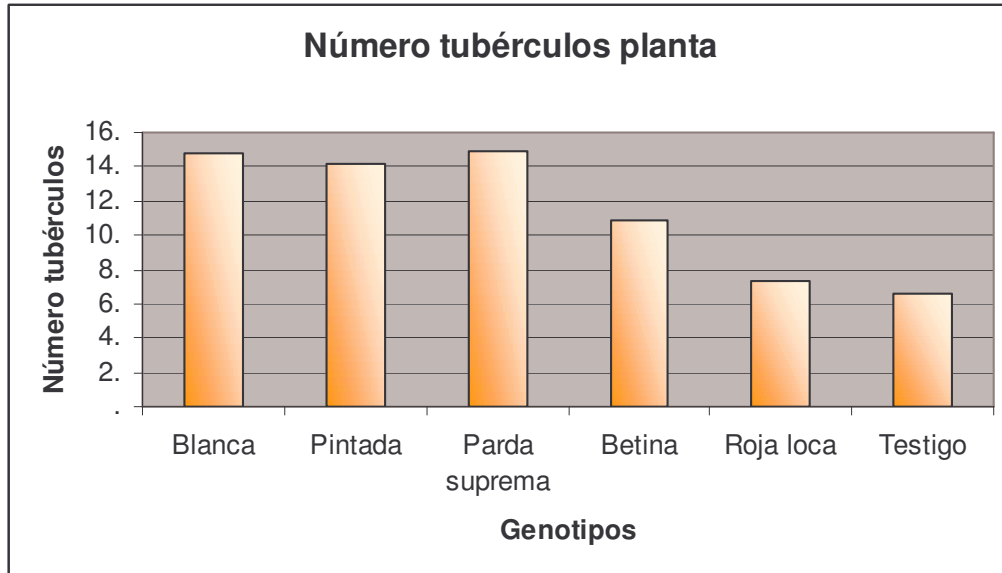
Genotipos	Significancia
Blanca	14.8533 a
Pintada	14.2167 a
Parda suprema	14.9425 a
Betina	10.8433 b
Roja loca	7.3200 c
Testigo	6.5474 c
Comparador	2.92
Localidades	Significancia
Potosí	13.1454 a
Botana	10.6917 b
Tusandala	10.5246 b
Comparador	1.68

Valores promedios seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa (**Significancia al 0.05%**)

El número de tubérculos afecta directamente a la producción de un cultivo, para este caso los genotipos blanca, pintada y parda suprema, mostraron el mayor número de tubérculos y a su vez el mejor rendimiento (**Figura 20 y 24**). La tuberización está influenciada principalmente por la variedad utilizada, edad fisiológica de la semilla, temperatura del suelo, propiedades físicas y químicas del mismo, humedad, nutrición, intensidad y duración de la luz del día, reguladores del crecimiento y por las enfermedades¹¹⁹.

¹¹⁹ Boletín de papa. REDEPAPA-CORPOICA. Op cit. p. 2

Figura 19. Número de tubérculos por planta para los distintos genotipos.

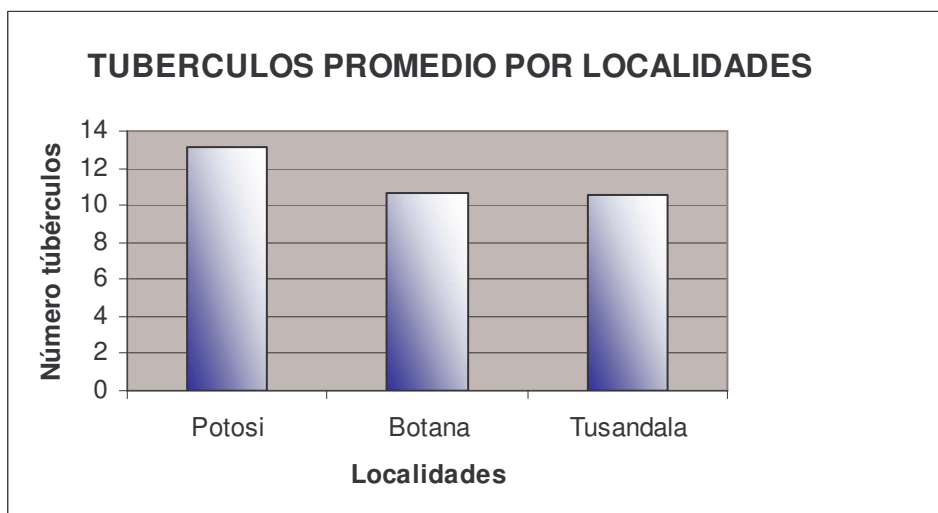


En el caso del testigo y roja loca en donde se obtuvo un bajo número de tubérculos, como consecuencia del alto porcentaje de tejido foliar afectado tempranamente. Al comienzo de la tuberización todos los carbohidratos y azúcares migran hacia los sitios de almacenamiento que son los tubérculos y frutos “Chimbalos”, por lo tanto es la época de mayor predisposición de la planta al ataque del patógeno; además en esta etapa la planta desarrolla al máximo su follaje, por cuanto éste cubre el surco y conserva más la humedad y el calor del suelo, elevando la temperatura propicia para el desarrollo y multiplicación del patógeno y de esta manera el área fotosintética disminuye y por lo tanto, la síntesis de almidones¹²⁰.

En cuanto a la interacción entre localidades, Potosí fue la mejor con un promedio de tubérculos de 13.14, comparativamente con Botana y Tusandala en donde no se presentaron diferencias significativas entre ellas, con promedios de 10.69 y 10.52 respectivamente (**Tabla 21 y figura 20**).

¹²⁰ Molina, L. Op cit. p. 82

Figura 20. Número de tubérculos para la interacción entre localidades



La tuberización se ve favorecida por diferentes aspectos entre ellos las condiciones ambientales, la nutrición de las plantas, entre otras; al hablar de diferentes localidades las condiciones climáticas presentan una gran variación entre ellas, beneficiando así el desarrollo de enfermedades (gota), cuando dichas condiciones son adecuadas. De esta manera las localidades de Botana y Tusandala, las cuales presentaron una mayor severidad a la enfermedad (**Tabla 19**), se vieron más afectadas en cuanto a la producción de tubérculos. (**Tabla 21**).

Una de las razones principales por las que se presento diferencias estadísticas entre localidades para esta variable, se debe a los contenidos nutricionales del suelo; Potosí presento altos contenidos de fósforo (**Anexo N**), a diferencia de las localidades de Tusandala y Botana. EL fósforo es el nutriente esencial para el proceso de la fotosíntesis, porque ayuda al desarrollo de la raíz, acelera la maduración y hace que la planta produzca más tubérculos¹²¹.

3.5.3.1 Número de tubérculos por cada localidad

De acuerdo con el análisis de varianza para cada localidad, se presentaron diferencias altamente significativas entre los tratamientos (**Anexos I, J y K**).

En la localidad de Tusandala los genotipos con mayor número de tubérculos fueron pintada y parda suprema sin presentar diferencias significativas entre ellos, seguido por los genotipos: blanca y betina los cuales se comportaron estadísticamente igual con promedios de 10.67 y 8.39 respectivamente. Los

¹²¹ PEÑA, L. A. Op cit. p.29

promedios más bajos se obtuvieron para roja loca y el testigo sin diferencias estadísticas entre ellos (**Tabla 22**).

Para la localidad de Potosí el promedio más alto para número de tubérculos lo obtuvo blanca con un valor de 19.75, en comparación con el testigo y roja loca los cuales presentaron los promedios más bajos con valores de 8.56 y 6.78, sin diferencias significativas entre ellos (**Tabla 22**).

En la localidad de Botana los genotipos blanca, parda suprema, betina y pintada no presentaron diferencias significativas entre ellos, con promedios que oscilan entre 10.54 y 14.13, siendo estos los mejores en comparación con el testigo el cual mostró el promedio más bajo con valor de 6.23 (**Tabla 22**)

Tabla 22. Prueba de significancia de tukey por localidades para número de tubérculos por planta.

TUSANDALA		POTOSI		BOTANA	
GENOTIPO	PROMEDIO	GENOTIPO	PROMEDIO	GENOTIPO	PROMEDIO
Pintada	17.18 a	Blanca	19.75 a	Blanca	14.13 a
P. suprema	16.94 a	P. suprema	15.74 a b	P. suprema	12.13 a b
Blanca	10.67 b	Pintada	14.93 a b	Betina	11.03 a b
Betina	8.39 b c	Betina	13.10 a b c	Pintada	10.54 a b
Roja loca	6.1 c d	Testigo	8.56 b c	Roja Loca	9.07 b c
Testigo	4.84 d	Roja loca	6.78 c	Testigo	6.23 c
Comparad.	3.39	Comparad.	8.04	Comparad.	3.92

Valores promedios seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa (**Significancia al 0.05%**)

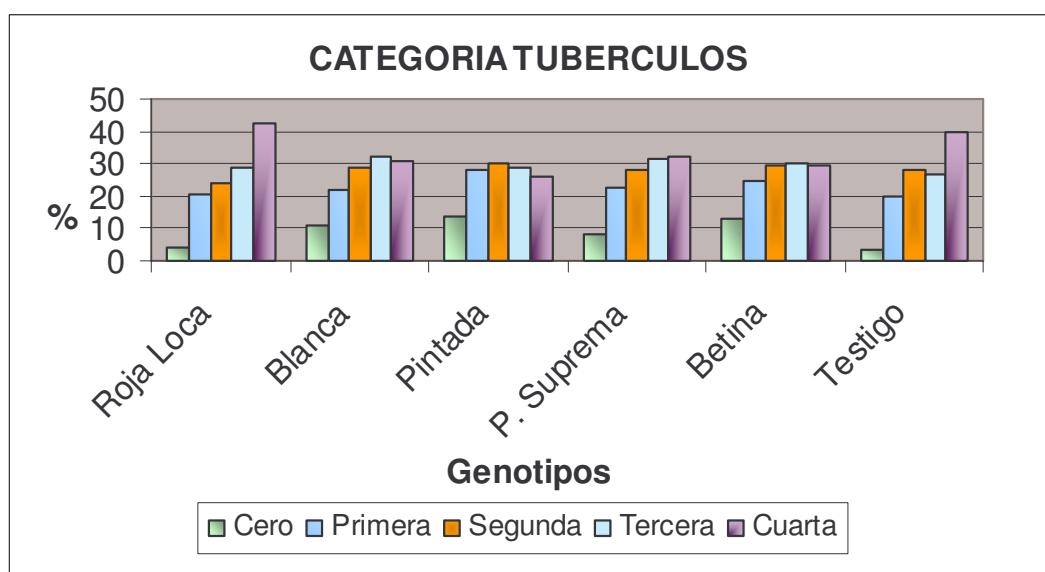
3.5.4 Clasificación tubérculos

Teniendo en cuenta el análisis combinado de varianza, se encontraron diferencias significativas entre localidad y tratamiento; para su interacción se encontraron diferencias significativas para las categorías cero, primera, segunda y cuarta. (**Anexo M**)

Los resultados obtenidos a partir de la prueba de significancia de Tukey mostraron que para la categoría **Cero** no se presentaron diferencias significativas en los genotipos; blanca, pintada y betina con los valores más altos en cuanto al porcentaje de tubérculos, en comparación con el testigo el cual obtuvo un valor de 3.56% (**Tabla 23**). Para la categoría **Cuarta** los valores más bajos se presentaron en los genotipos blanca, pintada, parda suprema y betina sin presentar diferencias significativas entre ellos, comparativamente con el testigo que junto a roja loca presentaron los valores más altos para esta categoría(**Tabla 23**).

En la categoría **Primera**, el genotipo que presento el promedio más alto fue pintada con valor de 27,82%, en comparación con el testigo que obtuvo el promedio mas bajo con valor de 19,73%(**Tabla 23**). En la categoría **Segunda** no se presentaron diferencias estadísticas para los genotipos blanca, pintada, parda suprema, betina y el testigo, con promedios comprendidos entre 27.74% y 28.88%, en comparación con roja loca que tuvo un promedio de 23,75, siendo este el más bajo(**Tabla 23**). Para la categoría **Tercera** no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos (**Tabla 23 y figura 21**).

Figura 21. Categoría de tubérculos entre genotipos



Los genotipos que presentaron mayor severidad a gota, caso de testigo y roja loca, obtuvieron el mayor porcentaje de tubérculos para las categorías tercera y cuarta que corresponden a los tubérculos de menor peso. En este caso la severidad de la enfermedad fue mayor, destruyendo en su totalidad el área foliar de los genotipos. El crecimiento y desarrollo del tubérculo, está íntimamente ligado a la síntesis y traslocación de carbohidratos; la presencia de un patógeno a nivel foliar interrumpe el crecimiento del tubérculo al inhibir los procesos de fotosíntesis y por ende la producción de carbohidratos¹²².

En los genotipos tolerantes a la enfermedad caso de pintada, blanca, parda suprema, en donde hubo una mayor producción de tubérculos para la categoría primera; estos tubérculos de buen tamaño y de aceptación en el mercado son el

¹²² AREVALO, A. Principales aspectos ecofisiológicos del cultivo de la papa *En:* Manejo sanitario del cultivo de la papa. Memorias 9-10 y 11 de abril de 1997. p. 23-24.

resultado de la acumulación de carbohidratos producidos en la fotosíntesis, que se da en las hojas menos afectadas por la enfermedad.

Tabla 23. Prueba de significancia de Tukey para categoría de tubérculos entre genotipos.

PROMEDIO (%)									
GENOTIPO	CERO	GENOTIPO	PRIMERA	GENOTIPO	SEGUNDA	GENOTIPO	TERCERA	GENOTIPO	CUARTA
Pintada	13.7 a	Pintada	27.82 a	Pintada	29.85 a	Blanca	32.06 a	Roja loca	42.34 a
Betina	12.8 ^a b	Betina	24.85 a b	Betina	29.39 a	Parda suprema	31.31 a	Testigo	39.88 a
Blanca	11.2 b	Parda suprema	22.73 a b	Blanca	28.88 a	Betina	30.36 a	Parda suprema	32.03 b
Parda suprema	8.4 b c	Blanca	21.59 a b	Parda suprema	28.32 a	Pintada	28.83 a	Blanca	31.1 b
Roja loca	4.44c d	Roja loca	20.49 b	Testigo	27.74 a	Roja loca	28.68 a	Betina	29.31 b
Testigo	3.56 d	Testigo	19.73 b	Roja loca	23.75 b	Testigo	26.95 a	Pintada	26.12 b

Valores promedios seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa
(Significancia al 0.05%)

Tabla 24. Prueba de significancia de Tukey para categoría de tubérculos entre localidades.

PROMEDIO (%)									
LOCALIDAD	CERO	LOCALIDAD	PRIMERA	LOCALIDAD	SEGUNDA	LOCALIDAD	TERCERA	LOCALIDAD	CUARTA
Potosí	19.5 a	Potosí	26.004 a	Botana	29.29 a	Botana	30.90 a	Tusandala	38.25 a
Botana	7.5 b	Botana	24.65 a	Tusandala	28.16 a b	Tusandala	30.67 a	Botana	31.99 b
Tusandala	0 c	Tusandala	17.96 b	Potosí	26.51 b	Potosí	27.53 b	Potosí	30.15 b

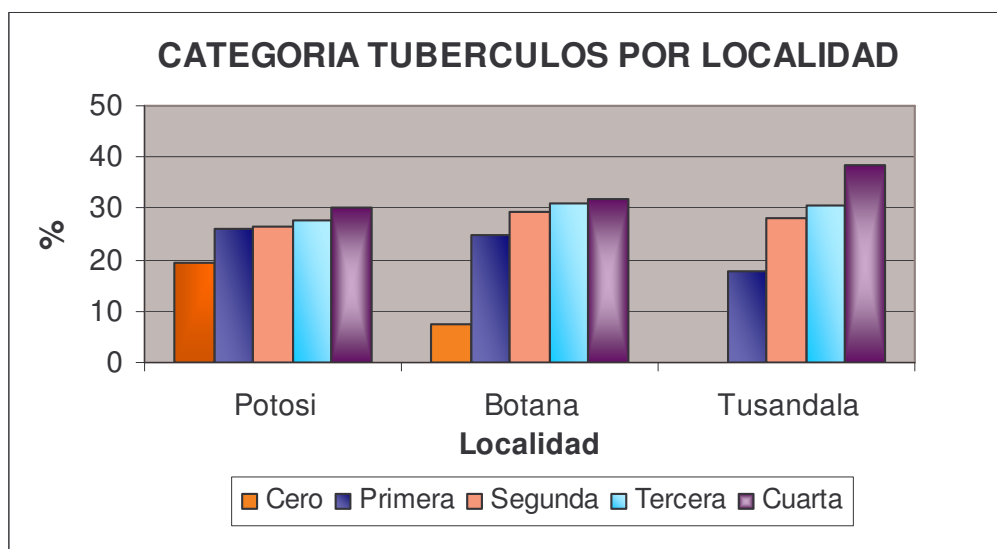
Para la interacción entre localidades no se presentaron diferencias estadísticas en cuanto a la categoría **Primera** y cuarta entre la localidad de Potosí y Botana en comparación con Tusandala.

Para la categoría **cero**, se presentaron diferencias estadísticas entre localidades, siendo Potosí, la localidad con el promedio mas alto 19.54% a diferencia de Tusandala que no presento tubérculos de esta categoría.

En la categoría **segunda**, Potosí y Tusandala no presentaron diferencias significativas entre ellas, pero si se presentaron diferencias con Botana la cual tuvo un porcentaje de 29.29%, siendo el mas alto para la categoría.

Para la categoría **tercera** no hubo diferencias entre Botana y Tusandala con porcentajes de 30.9% y 30.6% respectivamente siendo estos los promedios mas altos, en comparación con Potosí que obtuvo el valor más bajo para la categoría (Tabla 24 y figura 22).

Figura 22. Categoría tubérculos para la interacción entre localidades.



Los análisis de suelos (**Anexo N**) indican diferencias en cuanto a fósforo (P), siendo Potosí, la localidad con los mayores contenidos de este elemento (137.88 ppm); a diferencia de Tusandala y Botana que presentaron niveles de P más bajos (20 y 19 ppm respectivamente).

Según BARRERA Y TAMAYO., “El fósforo es esencial para el crecimiento de la papa y no puede ser sustituido por ningún otro nutriente. El fósforo promueve la rápida formación y crecimiento de las raíces interviene directamente en el número

y tamaño de los tubérculos”¹²³. Cuando la papa es sembrada en suelos con bajos contenidos de fósforo disponible y/o bajas aplicaciones de fosfatos, las raíces y los estolones son de número y longitud reducidos.¹²⁴

3.5.5 Rendimiento (Tn/ha)

Según el análisis combinado de varianza se presentaron diferencias altamente significativas tanto para localidad, tratamiento como para su interacción (**Anexo L**)

Con respecto al rendimiento, según la prueba de significancia de Tukey (**Tabla 25**), entre los genotipos blanca, pintada y parda suprema no hubo diferencias significativas entre ellos, con promedios que oscilaron entre 20.62Tn y 23.26Tn, siendo estos los genotipos con los mejores rendimientos, en comparación con el testigo y roja loca los cuales presentaron los promedios más bajos con valores de 7.98Tn y 8.26Tn respectivamente, sin encontrar diferencias estadísticas entre ellos (**Figura 23**).

Tabla 25. Prueba de significancia de Tukey para rendimiento.

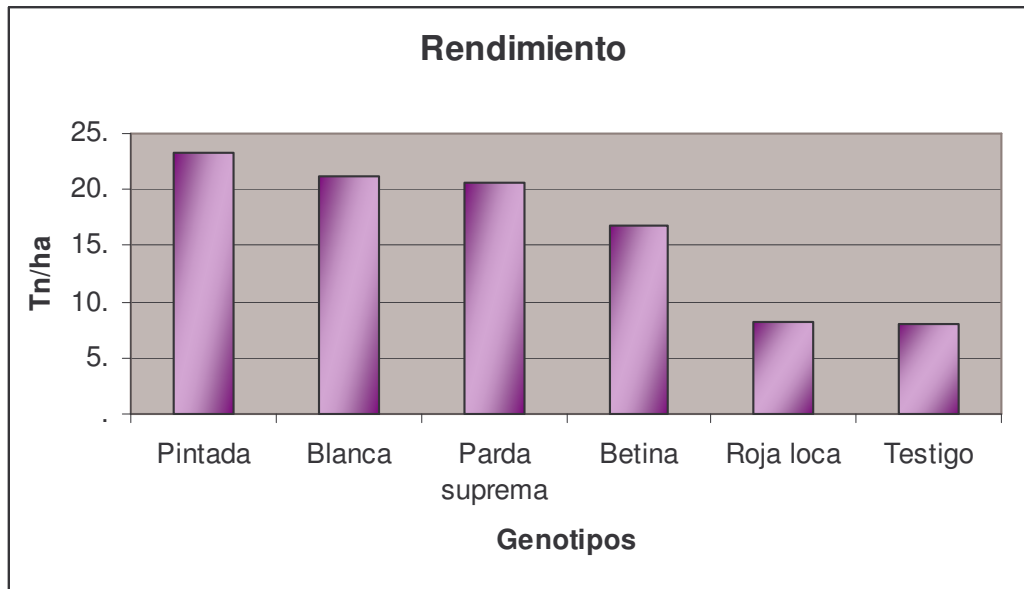
Genotipos	Promedio (Tn/Ha)
Pintada	23.268 a
Blanca	21.108 a
Parda suprema	20.628 a b
Betina	16.728 b
Roja loca	8.267 c
Testigo	7.987 c
Comparador	4.35

Valores promedios seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa (**Significancia al 0.05%**)

¹²³ BARRERA, L y TAMAYO, A. Establecimiento del cultivo. *En:* Manejo integrado del cultivo de la papa, manual técnico. Bogotá: CORPOICA, 2002. p. 97.

¹²⁴ BARRERA, L. La fertilidad de los suelos de clima frío y la fertilización de los cultivos *En:* Fertilidad de suelos; diagnóstico y control. SCCS; Bogotá, 2001. p. 429.

Figura 23. Rendimiento entre genotipos.

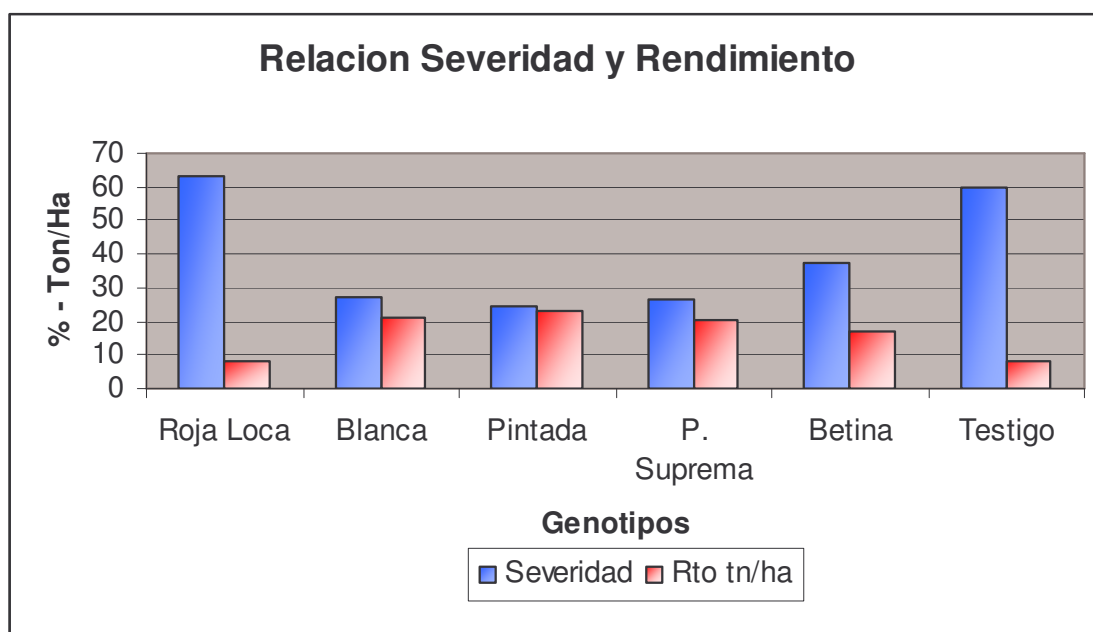


Los genotipos que obtuvieron los mejores rendimientos, fueron aquellos que presentaron tolerancia a la enfermedad permitiendo que el patógeno se establezca y desarrolle en el hospedante, pero disminuyendo los efectos negativos de la infección sin afectar drásticamente su rendimiento¹²⁵.

Estableciendo una comparación entre el rendimiento y el comportamiento de la enfermedad se pueden destacar los siguientes aspectos: Los genotipos que tuvieron menor severidad fueron los que obtuvieron mayor rendimiento, en este caso pintada fue uno de los mejores genotipos (**Figura 24**), en comparación con aquellos que tuvieron mayor severidad, y a la vez un bajo rendimiento (testigo y roja loca).

¹²⁵ R. E. Niké LINDHOUT, W. L. Op cit., p. 19.

Figura 24. Comportamiento Severidad y Rendimiento



Para la interacción entre localidades, la mejor localidad fue Potosí, en cuanto a rendimiento, con un promedio de 21.85Tn/ha, en comparación con Tusandala y Botana en donde los promedios fueron de de 12.76Tn/ha y 14.37Tn/ha respectivamente, siendo estos los promedios más bajos sin diferencias estadísticas entre ellos (**Tabla 26, Figura 25**)

Tabla 26. Prueba de significancia de Tukey para rendimiento entre localidades.

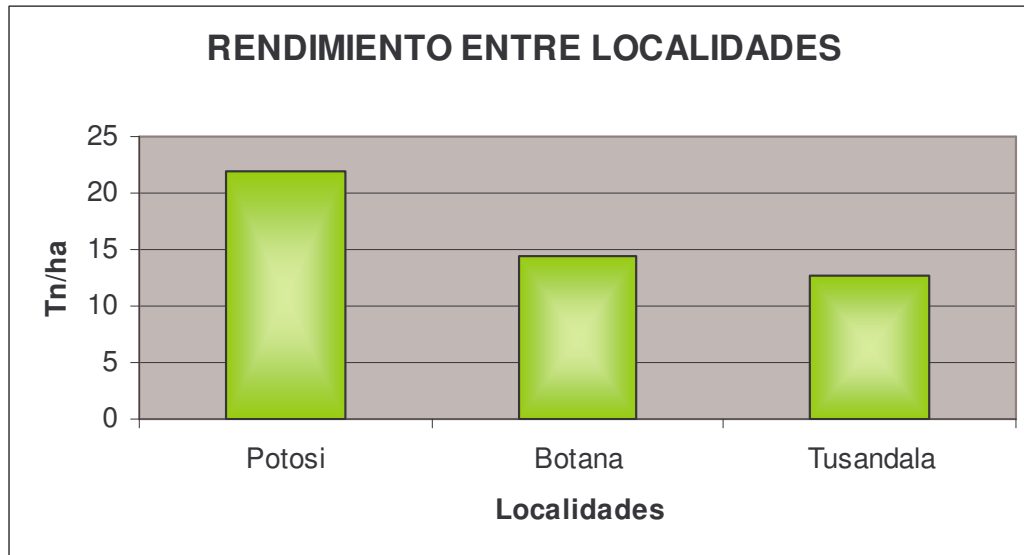
Localidad	PROMEDIO (%)
Potosí	21.851 a
Botana	14.377 b
Tusandala	12.764 b
Comparador	2.50

Valores promedios seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa (**Significancia al 0.05%**)

La diferencia en el comportamiento de los rendimientos para las localidades estuvo influenciada por los diferentes ambientes, en donde interactúan factores como: condiciones nutricionales del suelo, manejo agronómico del cultivo, adaptabilidad del genotipo y la variabilidad del patógeno en la localidad. De esta

manera se puede explicar el porque los genotipos reaccionaron de manera diferente en cada localidad (**Tabla 27**).

Figura 25. Rendimiento para la interacción entre localidades.



3.5.5.1 Rendimiento para cada localidad

Teniendo en cuenta el análisis de varianza para cada localidad, se encontraron diferencias altamente significativas para los tratamientos (**Anexos I, J, y K**)

Para la localidad de Tusandala, el rendimiento más alto lo registro el genotipo pintada, con un promedio de 24.41Tn/ha, en comparación con el testigo, el cual obtuvo el rendimiento más bajo con un promedio de 4.33Tn/ha, sin diferencias con el genotipo roja loca (**Tabla 27**).

Los genotipos blanca, pintada y parda suprema con promedios de 30.97Tn/ha, 29.47Tn/ha y 27.09Tn/ha respectivamente presentaron los mayores rendimientos para la localidad de Potosí, superando significativamente a los genotipos roja loca con promedio de 7.73Tn/ha y al testigo con promedio de 12.43Tn/ha, los cuales no presentaron diferencias estadísticas entre ellos (**Tabla 27**).

Para la localidad de Botana el genotipo blanca obtuvo el mayor promedio para rendimiento con un valor de 21.04Tn/ha, presentando diferencias significativas con el testigo, siendo este el genotipo con el rendimiento más bajo (**Tabla 27**).

Tabla 27. Prueba de significancia de Tukey por cada localidad para rendimiento (Tn/Ha)

TUSANDALA		POTOSI		BOTANA	
GENOTIPO	PROMEDIO	GENOTIPO	PROMEDIO	GENOTIPO	PROMEDIO
Pintada	24.41 a	Blanca	30.97 a	Blanca	21.04 a
P. suprema	20.56 b	Pintada	29.47 a	Betina	16.53 a b
Blanca	11.30 c	P. suprema	27.09 a	Pintada	15.91 a b
Betina	10.26 c	Betina	23.4 a b	P. suprema	14.22 a b c
Roja loca	5.7 d	Testigo	12.43 b c	Roja loca	11.36 b c
Testigo	4.33 d	Roja loca	7.73 c	Testigo	7.19 c
Comparad.	3.46	Comparad.	11.83	Comparad.	7.15

Valores promedios seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa (Significancia al 0.05%)

CONCLUSIONES

- Según los valores de la tasa de desarrollo de la enfermedad, los genotipos que presentaron mayor resistencia al desarrollo de la enfermedad fueron pintada y parda suprema, en cambio el genotipo blanca presentó tolerancia al ataque del patógeno, debido posiblemente a los mecanismos de defensa expresados en la interacción patógeno-hospedante.
- Teniendo en cuenta las variables propuestas en el índice de selección (severidad, Índice área Foliar, rendimiento, tamaño y color) los genotipos que presentaron los mejores resultados por sus características superiores, fueron: pintada, blanca, parda suprema, betina y roja loca, los cuales pueden considerarse tolerantes en diferentes ambientes.
- El método de selección clonal es una buena opción para obtener genotipos con tolerancia a *Phytophthora infestans*, los cuales a su vez representan una alternativa para el manejo de la enfermedad.
- La severidad tuvo un alto efecto sobre el rendimiento.
- El rendimiento y la reacción a gota (*Phytophthora infestans*) de cada genotipo, en la segunda fase estuvieron afectados por las condiciones de cada localidad.
- La tolerancia que presentaron los genotipos blanca, pintada y parda suprema ante la enfermedad se mantuvo durante los dos ciclos, de esta manera se mantuvo un punto de equilibrio entre el hospedante y el patógeno.

RECOMENDACIONES

- Continuar con el estudio de adaptabilidad y reacción a gota en diferentes zonas productoras de papa de los genotipos blanca, pintada y parda suprema, como alternativas de manejo a la enfermedad.
- Realizar un análisis y determinar que grado de aceptación comercial presentan los genotipos con tolerancia a la enfermedad por parte del agricultor.

BIBLIOGRAFIA

ACADEMIA NACIONAL DE LA CIENCIA. Desarrollo y control de las enfermedades de las plantas. Vol 1. México. Limusa, 1994. 85p.

AGRIOS, G. Plant pathology. 5 ed. México: Ed. Limusa, 2004. 826p.

ALARCON, J. La gota de la papa: importancia de la enfermedad causada por *Phytophthora infestans* En: Plagas y enfermedades de la papa. CORPOICA, Bogotá, 2003. P. 74.

ALVARADO, L.F. Descripción de las principales variedades de papa cultivadas en Nariño. Pasto, Boletín informativo No 58, 1992. 15p.

AZCON-BIETO, J y TALON, M. Fundamentos de fisiología vegetal. Madrid, España, Mcgraw-Hill. 2001. p. 522.

BARRERA, L y TAMAYO, A. Establecimiento del cultivo. En: Manejo integrado del cultivo de la papa, manual técnico. Bogotá: CORPOICA, 2002. p. 97.

BARRERA, L. La fertilidad de los suelos de clima frío y la fertilización de los cultivos En: Fertilidad de suelos; diagnóstico y control. SCCS; Bogotá, 2001. 524.

Boletín de papa. REDEPAPA-CORPOICA. Mecanismos para incrementar el número de tubérculos. [en línea] Bogotá. Feb. 2002. [citado 15 de abril 2007]. Disponible en Internet: [URL:http://www.redepapa.org.co/producciónred.html](http://www.redepapa.org.co/producciónred.html)

BOURKE, P. Emergent of potato blight. 1843-1846. Nature. 203:805-808. 1964.

CABEZAS, Marco. Y NOVOA, D. Efectos de la remoción de hojas y frutos en la relación fuente – demanda en lulo (*Solanum quitoense*). Memorias: 3er Seminario de frutales de clima frío moderado. Manizales, Noviembre 15-17 del 2000. 75p.

CASTAÑO, J. Principios básicos de fitopatología. Honduras; Zamorano, 1994. 300p.

CASTAÑO, Jairo. Manejo del tizón de la papa: estado actual. En: Papas colombianas mejor entorno ambiental. Resúmenes. Santa fe de Bogotá: s.n., 1996. p. 95.

CEVIPAPA. Centro virtual de investigación de la cadena agroalimentaria de la papa. El cultivo de papa en Colombia. [en línea] Bogotá. Dic. 2004. [citado 14, Mar., 2007]. Disponible en internet: <URL: <http://www.Cevipapa.org.co/cultivo/colombia.php>>.

CLIVE, James. A manual of diseases assessment keys plant diseases. Can. Department Agriculture. 50p.

COLLINGE, D; MADRIS, K and NEWMAN, N. The responses of plants to pathogens. Holanda, Academic Publics, 2001.

CRIOLLO, H. Curso estadística avanzada: Taller nº 4, análisis de sendero. Pasto. Universidad de Nariño. Facultad de ciencias Agrícolas, 2007.

DE LA I DE BAUER, L. Fitopatología. México. Limusa, 1991. 105p.

DEACON, J. Introducción a la micología moderna. México: Limusa, 1990. 225p.

DICKINSON, C., LUCAS, A. Patología vegetal y patógenos de las plantas. México: Limusa, 1991. 2ª edición. 303 pág.

DONALD, C y ERWIN, J. Phytophthora diseases worldwide. U:S:A. Sn, 1996. 555p.

DRENT, A., JANSSEN, E. and GOVERS, F. Formation and survival of sspores of Phytophthora infestans under natural conditions. USA: Plant Pathology, 1995. 135p.

ELLIOTT, Fred. Mejoramiento de plantas citogenéticas. México, ed. Continental. 1996. 450p.

ERWIN, D AND RIBEIRO, O. *Phytophthora* Diseases Worldwide. Minesota. The American Phytopathological Society, 1996. 562 p.

ESTRADA, R. La biodiversidad en el mejoramiento genético de la papa CIP-IPGRI-PRACIPAFTA-PROINPACOSUDE-CID. Edición de Hardí, B y Martínez, E. Impreso en Bolivia, 372p.

ESTRADA, E y VALLEJO, F. Mejoramiento genético de plantas. Palmira, UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, 2002. 385 p.

FEDERACIÓN NACIONAL DE PRODUCTORES DE PAPA. Boletín informativo: variedades mejoradas. Enero, 2004.

FEDERACION COLOMBIANA DE PRODUCTORES DE PAPA. La gota de la papa. Bogotá., Boletín informativo Nº 17, 1997. 32p.

FEDERACION COLOMBIANA DE PRODUCTORES DE PAPA. Vademécum del cultivo de la papa. Bogotá, Colombia. Grafemas Ltda. 2002. 132p.

FRY E., MITZUBITI, E., MAYTON H., AILOR D. y ANDADE J. Late blight forecasting: quantifying the risk from a know source. En: GILB`02 Conference late blight managing the Global Threat. Abstracts, 11-13 July, Hamburg, Germany. 2002.

GILCHRIST, E. Evaluación de la diversidad genética y patogénica de las poblaciones de *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary en Antioquia. Medellín, 2001. p. 54. Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

GOMEZ, C. BUTRAGO, C, CANTE M y HUERTAS B. Ecofisiología de la papa (*Solanum tuberosum*) utilizada para consumo fresco y la industria. En: Revista Sociedad Colombiana de control de malezas y fisiología vegetal. Vol 26 N'01-3, diciembre de 1999. p. 46.

GONZALES, G y GARCIA, C. Caracterización de las poblaciones de *Phytophthora infestans* en el altiplano cundiboyasense con base en el tipo de apareamiento y sensibilidad al fungicida metalaxyl. En: Fitopatología colombiana. Cali, No. 2. Vol (1998); p.74-71.

GOODGWIN, S.B. The Population Genetics of *Phytophthora*. En: Phytopathology. USA. Vol 87, N° 4 (Abril, 1997); p. 462.

HARRISON, J. Effects of the aerial enviroment on late blight of potato folige a review. Revieww plant pathology. 41 (4): 384-416. 1992. hongos. En: Manejo sanitario del cultivo de la papa. Pasto. Memorias, 9, 10 y 11 de Abril de 1997.

JARAMILLO, S. Aspectos bioquímicos de la resistencia de la papa al ataque del hongo *Phytophthora infestans* En: REVISTA FEDEPAPA 17: 4., junio 17 de 1997.

JARAMILLO, S. *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary. Medellín, 2003. 141p. Monografía de grado (Biólogo) Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

JONSON, D., HENFLING, J Y GUZMAN, J. El tizón tardío de la papa (*Phytophthora infestans*). Boletín de información Técnica 4. Centro Internacional de la Papa (CIP). Lima Perú: 1990. 25p.

KAMOUN, S. Basic Biology: Information of mechanisms that make *Phytophthora infestans* a pathogen. En: GILB`02 Conference late blight: Managing the Global treath. Abstract. Hamburg, Germany. (july-2002); p. 11-13.

KEEN, N. The molecular biologyc of disease resistance. Plant molecular biology 19: 109 – 122.

- LEGAR, D. E., LEE, T. and FRY, W. *Phytopathology*. USA: *s.n.*, 1995. 1586p.
- LOPEZ, J, Gerardo y ALVARADO, L. F. Comparación del crecimiento foliar de dos variedades de papa (*Solanum tuberosum*) en el altiplano de Pasto En: Revista de la Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño, vol VII, N° 1. Pasto, 1977. P: 19-23.
- MALDONADO, I; DELGADO, M, GARCIA, C. Estudio la estructura genética de las poblaciones de *Phytophthora infestans* en las regiones productoras de papa en Colombia. Medellín, 2003. 12p.
- MANNERS, J. Introducción a la fitopatología. México. Limusa, 1993. 120p.
- MARTIN, G. Function analysis of plant disease resistance genes and their downstream effectors. *Current opinion in plant biology* 2: 273- 279. 1999.
- MEDINA, Francisber. Efecto de la edad y el genotipo sobre el crecimiento del area foliar en el frijol. En: Revista de la Facultad de Agronomía. Universidad de Zulia. Vol 13, N° 1. Maracaibo, Venezuela, 2001. P: 62-71.
- MEJIA, M. Estudio de la variabilidad patogénica de aislamientos de *Phytophthora infestans* en la regiones de mayor producción de papa en el departamento de Nariño. Pasto, 2001. 80 p. Trabajo de grado (Biólogo). Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Naturales y Biología, Programa de Biología
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Consolidado agropecuario acuícola y pesquero. Pasto: Editar, 2006. p. 114-116.
- MOLINA, L Manejo de las enfermedades del follaje de la papa causadas por hongos. En: Manejo sanitario del cultivo de la papa. Memorias, 9-10 y 11 abril 1997. p. 79-87.
- MORENO, J. Manejo integrado del cultivo de la papa. Tibaitatá, CORPOICA, 2000. 185 p.
- NIKS, R. E., y LINDHOUT W. H. Curso sobre mejoramiento para la resistencia durable a patógenos especializados. 3. ed. Netherlands, Holanda. Wageningen Agricultural University, 2004. 150P.
- ORDOÑEZ, Nelson. Antagonismo invitro de aislamiento de trichoderma sobre el patógeno *phytophthora infestans*, causante del tizón tardío en papa (*Solanum tuberosum*). Pasto, p. 21. Trabajo de Grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas.

OROZCO, M. Análisis de crecimiento y desarrollo en tres variedades de papa (*Solanum tuberosum*). Bogotá, 1990. p. 57. Tesis Magíster Scientiae, Bogotá, Colombia, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias.

PEÑA, L. A. Ingeniero Agrónomo. Información personal. CORPOICA, Pasto. 2005.

PEÑA, L. A. Manejo técnico y socioempresarial de la papa en el departamento de Nariño. Pasto, CORPOICA, noviembre de 2004. 60p

RAVEN, P., EVERT, R, and EICHHORN, S. Biology of plant, 6 ed. New York: WH Freeman and Company. 1999. P. 370.

REPUBLICA DE COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Anuario estadístico del sector agropecuario. Bogotá: Bochita Ltda., 2005. p. 59-61.

RIES, A., DIAS S., MAZIERO, J., MAFFIA, L., y MITZUBITI, E. *Phytophthora infestans* populations in Brazil: Current status and epidemiological features. E.S.G. 2002.

ROBLES, R. Genética elemental y fitomejoramiento práctico. México, Limusa. 1995. 390p.

RODRIGUEZ, L y CORCHUELO, G. Densidad de población y su efecto sobre rendimiento de papa. En: Agronomía Colombiana. No 1. Vol 22, junio de 2004. P. 23-31.

RODRIGUEZ, L., CORCHUELO, G Y ÑUSTEZ, C. Influencia del espaciamiento entre plantas sobre la morfología y el crecimiento de Parda pastusa bajo dos ambientes contrastantes. En: Agronomía Colombiana, 2003. Vol. 21 N° 3. 210-214 p.

SAÑUDO, B; ARTEAGA, M. y VALLEJO, W. Fundamentos de micología. UNIVERSIDAD DE NARIÑO. Pasto, 2003. 201p.

SAÑUDO, B y BETANCOURTH, C. Fundamentos de fitomejoramiento. Pasto. UNIVERSIDAD DE NARIÑO, 2005. 125p.

SHAW, D. Y WATTIER, R. Evolution de *Phytophthora infestans*: A Global Overview. En: GILB`02 CONFERENCE Late blight: managing the Global Threat. Abstracts. 11-13, july, Hamburg, Germany.

SMART, C., SANDROCK, R. y FRY, R. Molecular techniques and mystery of the potato late blight pathogen. Plant microbe interactions. vol 5. edited by Gary Stacey and Noel Keen. Paul Minnesota (U.S.A). 2000. 345p.

VALBUENA, G. Aspectos ecofisiológicos básicos sobre el crecimiento y desarrollo del cultivo de la papa. En: Manejo integrado del cultivo de la papa, manual técnico. Bogotá: CORPOICA, 2002. p. 42.

VAN DER PLANK, J. E. Plant diseases: epidemic and control. New York: Academic Press, 1963. 349p.

ANEXOS

Anexo A. Características de Tubérculos

Color predominante de la piel

- 1 – Blanco crema
- 2 – Amarillo
- 3 – Naranja
- 4 – Marrón
- 5 – Rosado
- 6 – Rojo
- 7 – Rojo morado
- 8 – Morado
- 9 – Negro

Color secundario de la piel

- 0 – Ausente
- 1 – Blanco crema
- 2 – Amarillo
- 3 – Naranja
- 4 – Marrón
- 5 – Rosado
- 6 – Rojo
- 7 – Rojo morado
- 8 – Morado
- 9 – Negro

Distribución del color secundario:

- 0 – Ausente
- 1 – Ojos pigmentados
- 2 – Cejas pigmentada
- 3 – Manchas alrededor de los ojos
- 4 – Manchas dispersas
- 5 – Como anteojos
- 6 – Salpicado
- 7 – Pocas manchas

Forma de los tubérculos

- 1 – comprimido
- 2 – Redondo
- 3 – Ovalado
- 4 – Obovado
- 5 – Elíptico
- 6 – Oblongo
- 7 – Oblongo alargado
- 8 – Alargado

Anexo B. Análisis de varianza para severidad, altura, # tallos, área foliar, índice de área foliar, N° tubérculos promedio, rendimiento. Para el primer ciclo.

F DE V	G.L	CM						
		Severidad (%)	Altura (cm)	# tallos	A. foliar (cm ²)	IAf	N° tuberc.	Rto tn/ha
Tratamiento	8	2080.1**	133.15**	0.076Ns	6412345.5**	521.72**	18.39**	102.78**
Error	24	18.02	12.86	0.38	1193.9	0.097	4.31	12.21

** Altamente significativo

Ns No significativo.

Anexo C. Datos IDEAM-para el primer semestre del 2005: Mapachico

Estación experimental: OBONUCO

Altura: 2871 msnm.

Mapachico	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio
Temperatura T°	13	14	13.5	13.5	13	12.8	13
Humedad R. %	84	84	85	86	84	75	75
Precipitación mm	72.2	75.4	114	48.3	79.3	43.1	40.1

Anexo D. Inicio de tuberización

Genotipo	Tiempo (días)
Blanca	60
Pintada	60
Roja guata	85
Roja nariño	60
Parda suprema	50
Roja redonda	75
Betina	67
Rosada capiro	60
Roja loca	60

Anexo E. Análisis de varianza para categoría de tubérculos-primer ciclo

F de V	G. I	CM				
		CERO	PRIMERA	SEGUNDA	TERCERA	CUARTA
Tratamiento	8	256.49**	83.57**	19.98 Ns	71.32 **	50.45Ns
Error	24	20.27	10.16	14.76	10.86	16.82

** Altamente significativo

Ns No significativo

Anexo F. Correlación para las variables severidad y rendimiento.

Variables	Severidad
Rendimiento	-0.64 **

** Altamente significativo

Anexo G. Análisis de varianza para la regresión múltiple.

F de V	G.L	C.m	P-Valor
Modelo	3	1495.38	0.0001**
Error	6	17.78	
Total	9		

R²: 0.979

** Altamente significativo

Parámetro	E. Estimación	P-Valor
Índice área foliar	0.0389	0.29 ns
Número tubérculos.	1.62	0.0050 *
Severidad	-0.0884	0.17 ns

* Significativo

Ns: No significativo

Anexo H. Análisis de varianza por localidad- Tusandala

F DE V	G.L	CM		
		Severidad(%)	Nº tub promedio	Rto tn/ha
Tratamiento	5	971.2**	113.38**	114.89**
Error	15	38.38	2.18	2.26

Anexo I. Análisis de varianza por localidad- Potosí

F DE V	G.L	CM		
		Severidad (%)	Nº tub. promedio	Rto Tn/ha
Tratamiento	5	858.4**	92.07*	367.35**
Error	15	19.23	12.25	26.51

Anexo J. Análisis de varianza por localidad-Botana

F DE V	G.L	CM		
		Severidad (%)	Nº tub promedio	Rton Tn/ha
Tratamiento	5	1968.9**	29.075**	89.72**
Error	15	13.74	2.92	9.69

Anexo k. Análisis de varianza combinado para severidad

F De V	G.L	CM			
		Severidad1	Severidad2	Severidad3	severidad4
Localidad	2	356.56 **	758.45**	1171.46**	1350.09**
Tratamiento	5	425.11 **	1364.73**	2246.3**	3614.78**
Loc*trat	10	77.19**	63.05**	58.54**	91.9**
Error	45	3.74	7.58	14.48	23.78

Anexo L. Análisis de varianza combinado para número tubérculos y rendimiento

F DE V	G.L	CM	
		Número prom tuberc.	Rendimiento tn/ha
Localidad	2	51.66**	564.17**
Tratamiento	5	174.94**	538.11**
Loc*trat	10	29.79**	89.83**
Error	45	5.78	12.82

Anexo M. Análisis de varianza combinado para categoría de tubérculos

F DE V	G.L	CM				
		Cero	Primera	Segunda	Tercera	Cuarta
Localidad	2	2331.23**	444.8**	46.8*	85.24ns	432.13**
Tratamiento	5	222.6**	109.5*	58.4**	43.05Ns	477.4**
Loc*trat	10	113.3**	50.6 Ns	34.7**	67.11*	74.16Ns
Error	45	14.04	27.53	9.13	18.29	39.52

* Significativo

** Altamente significativo

NS No significativo

Anexo N. Análisis de suelos para localidades fase II.

ANALISIS DE SUELOS BOTANA - PASTO

LABORATORIO DE SUELOS UNIVERSIDAD DE NARIÑO

Análisis N° 4407 Completo

Procedencia: Granja experimental Botana, Municipio de Pasto, Departamento de Nariño.

RESULTADOS DE ANALISIS DE MUESTRAS DE SUELOS

Muestras	Unidad	4407
PH.		5.4
Materia orgánica	%	7.2
Densidad aparente	g/cc	0.86
Fósforo (P)	ppm	19
Capacidad de intercambio cationico		34.8
Calcio de cambio	meq/100g	13
Magnesio de cambio		4.2
Potasio de cambio		0.82
Aluminio de cambio		*
Hierro	ppm	208.0
Manganeso		10.4
Cobre		1.76
Zinc		2.40
Boro		0.33
Grado textural F=franco-Ar=Arcilloso-A=Arenoso		F-A
Nitrógeno total	%	0.31
Carbono orgánico	%	4.18

ANALISIS DE SUELOS TUSANDALA – IPIALES

LABORATORIO DE SUELOS UNIVERSIDAD DE NARIÑO

Análisis N° 6127 Completo

Procedencia: Vereda Tusandala, Municipio de Ipiales, Departamento de Nariño.

RESULTADOS DE ANALISIS DE MUESTRAS DE SUELOS

Muestras	Unidad	6127
PH.		5.8
Materia orgánica	%	6.1
Densidad aparente	g/cc	1
Fósforo (P)	ppm	20
Capacidad de intercambio cationico		16.6
Calcio de cambio	meq/100g	7.6
Magnesio de cambio		1.70
Potasio de cambio		0.98
Aluminio de cambio		*
Hierro	ppm	142.00
Manganeso		3.24
Cobre		2.04
Zinc		1.44
Boro		0.11
Grado textural F=franco-Ar=Arcilloso-A=Arenoso		A-F
Nitrógeno total	%	0.27
Carbono orgánico	%	3.55

ANALISIS DE SUELOS PURBUNTUD – POTOSI

LABORATORIO DE SUELOS UNIVERSIDAD DE NARIÑO

Análisis N° 4726 Completo

Procedencia: Vereda Purbuntud, Municipio de Potosí, Departamento de Nariño.

RESULTADOS DE ANALISIS DE MUESTRAS DE SUELOS

Muestras	Unidad	4726
PH.		4.8
Materia orgánica	%	3.9
Densidad aparente	g/cc	0.9
Fósforo (P)	ppm	187.39
Capacidad de intercambio cationico		14.8
Calcio de cambio	meq/100g	4.3
Magnesio de cambio		1
Potasio de cambio		0.97
Aluminio de cambio		0.20
Hierro	ppm	254.00
Manganeso		24.00
Cobre		3.14
Zinc		34
Boro		0.23
Grado textural F=franco-Ar=Arcilloso-A=Arenoso		A
Nitrógeno total	%	0.18
Carbono orgánico	%	2.24