

**EVALUACIÓN DE LA REACCIÓN GENOTIPOS DE *Solanum tuberosum* grupos
Phureja y Andigena4 AL ATAQUE DE TIZÓN TARDÍO (*Phytophthora infestans* Mont.
De Bary) EN NARIÑO**

**JENNYFER ALEJANDRA MONCAYO ARAUJO
ROBERTH JHERSSON DELGADO ORTIZ**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
SAN JUAN DE PASTO
2019**

**EVALUACIÓN DE LA REACCIÓN GENOTIPOS *Solanum tuberosum* grupos Phureja y
Andigena AL ATAQUE DE TIZÓN TARDÍO (*Phytophthora infestans* Mont. De Bary) EN
NARIÑO**

JENNYFER ALEJANDRA MONCAYO ARAUJO

ROBERTH JHERSSON DELGADO ORTIZ

Asesores

PhD. CLAUDIA ELIZABETH SALAZAR GONZALES

I.A. CARLOS MARCILLO PAGUAY

Trabajo de grado presentado como requisito para optar a título profesional como
INGENIERO AGRÓNOMO

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA INGENIERÍA AGRONÓMICA
SAN JUAN DE PASTO**

2019

NOTA DE RESPONSABILIDAD

Las ideas y conclusiones aportadas en el siguiente trabajo son responsabilidad exclusiva del autor.

Artículo 1ro del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966 emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación

Carlos Alberto Marcillo Paguay
Firma del Presidente del trabajo de grado

Claudia Salazar Gonzalez
Firma de la Copresidenta del trabajo de grado

Carlos Arturo Betancourth García
Firma del Jurado de trabajo de grado

Tulio Cesar Lagos Burbano
Firma del Jurado de trabajo de grado

AGRADECIMIENTOS

Vicerrectoría de Postgrados y Relaciones Internacionales –VIPRI- de la Universidad de Nariño y al grupo de investigación Sanidad Vegetal -GRISAV- de la facultad de Ciencias Agrícolas.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	8
ABSTRACT	9
INTRODUCCIÓN	10
OBJETIVO GENERAL	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
MATERIAL VEGETAL.	12
ÁREA Y DISEÑO EXPERIMENTAL.....	13
VARIABLES DE RESPUESTA.....	13
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	16
INCIDENCIA.	16
SEVERIDAD.	18
TASA DE DESARROLLO (R).....	22
ÁREA BAJO LA CURVA DE PROGRESO DE LA ENFERMEDAD.....	24
RENDIMIENTO	26
CONCLUSIONES	30
BIBLIOGRAFÍA	30

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de la escala gráfica en grados para de la evaluación de severidad.....	14
Tabla 2. Clasificación de genotipos según la escala grafica de J. Clive.....	16
Tabla 3. Clasificación de la reacción de los genotipos de <i>Solanum tuberosum</i> grupo Phureja y Andigena frente a <i>P. infestans</i> con respecto a Severidad.	19
Tabla 4. Reacción de los genotipos de <i>Solanum tuberosum</i> grupo Phureja y Andigena frente a <i>P. infestans</i>	20
Tabla 5. Comparación de medias según Duncan de la Tasa de desarrollo de la enfermedad para genotipos de <i>S. tuberosum</i> grupos Phureja y Andigena. Primer ciclo.	23
Tabla 6. Comparación de medias según Duncan de la Tasa de desarrollo de la enfermedad para genotipos de <i>S. tuberosum</i> grupos Phureja y Andigena Segundo ciclo.....	23
Tabla 7. Comparación de medias según Duncan de la AUDPC para genotipos de <i>S. tuberosum</i> grupos Phureja y Andigena. Primer ciclo.....	25
Tabla 8.. Comparación de medias según Duncan de la AUDPC para genotipos de <i>S. tuberosum</i> grupos Phureja y Andigena. Segundo ciclo.....	25
Tabla 9. Comparación de medias según Duncan correspondiente a rendimiento de las plantas enfermas y su respectivo rendimiento en tratamiento control.	27

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Escala gráfica para de la evaluación de severidad de gota en papa (<i>Phytophthora infestans</i>) de acuerdo con James Clive (1970).	14
Figura 2. Curva incidencia de los genotipos más representativos durante el primer ciclo, incluye climograma de Precipitación Temperatura.....	17
Figura 3. Curva incidencia de los genotipos más representativos durante el segundo ciclo, incluye climograma de Precipitación Temperatura	17
Figura 4. Curva de Severidad de un genotipo comercial, con los genotipos más representativos del Primer Ciclo.	21
Figura 5. Curva de Severidad de un genotipo comercial, con los genotipos más representativos del Segundo Ciclo.	21
Figura 6. Diagramas de distribución del rendimiento de los genotipos y las variables epidemiológicas del Primer Ciclo. A. Rend y Severidad. B. Rend y Tasa de desarrollo de la enfermedad y C. Rend y Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad. X: Media y X+S.	28
Figura 7. Diagramas de distribución del rendimiento de los genotipos y las variables epidemiológicas del Segundo Ciclo. A. Rend y Severidad. B. Rend y Tasa de desarrollo de la enfermedad y C. Rend y Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad. X: Media y X+S	29

Evaluación de la reacción genotipos de *Solanum tuberosum* grupos Phureja y Andigena al ataque de tizón tardío (*Phytophthora infestans* mont. De Bary) en Nariño

Evaluation of the reaction of genotypes *Solanum tuberosum* groups Phureja & Andigena to the late blight attack (*Phytophthora infestans* mont. De Bary) in Nariño.

Jennyfer Moncayo A.¹, Roberth Delgado O.², Claudia Salazar G.³, Carlos Marcillo P.⁴, Carlos Arturo Betancourth G.⁵

*Artículo de trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Agrónomo en la facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño.

¹ Estudiante de Ingeniería agronómica, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. jennyfer.moncayoo@gmail.com

² Estudiante de Ingeniería agronómica, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. r_jhersson@hotmail.com

³ I. A. M.Sc. PhD. Docente Investigador, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. claudiasalazarg@yahoo.com

⁴ I. A. Investigador, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. cmarcillop@hotmail.com

⁵ I. A. M.Sc. PhD. Docente Investigador, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. Cbet70@yahoo.com

RESUMEN

El cultivo de la papa es el cuarto producto principal alimenticio en el mundo, después del trigo, el arroz y el maíz y en Colombia es la actividad económica que más empleos directos genera, pero es afectado por *Phytophthora infestans*, causante de la enfermedad del Tizón Tardío. La presente investigación se llevó a cabo en el corregimiento de Catambuco, a 9 Km de la Ciudad de Pasto, con el objetivo de evaluar la reacción de diferentes genotipos (*Solanum tuberosum* grupo Phureja y Andigena) con respecto a la enfermedad. Se estableció un diseño de Bloques Completos al Azar con tres repeticiones, donde se distribuyeron treinta genotipos y se evaluaron tres plantas por repetición durante dos ciclos consecutivos de cultivo en exposición natural al patógeno, sin ningún tipo de control. Para valorar el efecto de la enfermedad sobre la producción, los mismos genotipos fueron mantenidos con control químico en un lote contiguo, los genotipos clasificados como tolerantes fueron Chaucha Manzana, Cachuda, Criolla Colombia, Malvaseña, Andina y Criolla, durante el primer ciclo con valores de rendimiento entre 23 a 26 T.ha⁻¹ y durante el segundo a Calabera Negra, Chaucha Paisa, Ratona, Criolla Galeras, Ratona Roja, Tornilla Roja y Aguacata que tuvieron valores de rendimiento entre 23 a 28 T.ha⁻¹. Se realizó una regresión lineal a partir de los datos obtenidos, evidenciando que el

desarrollo de la enfermedad afectó el rendimiento. Además la escala gráfica de severidad permitió categorizar los genotipos en susceptibles y altamente susceptibles. Para la raza prevalente del patógeno en esta zona del Departamento, no contamos con fuentes de resistencia dentro de la colección, sin embargo se destacan genotipos como Criolla Colombia y Andina, presentaron un rendimiento similar al de su testigo a pesar de presentar altos valores de severidad e incidencia.

Palabras clave: Sanidad, resistencia genética, papa, severidad, epidemiología

ABSTRACT

The potato crop is the fourth main food product in the world, after wheat, rice and corn. In Colombia it is the economic activity that generates more direct jobs, but is affected by *Phytophthora infestans*, the cause of late blight disease. This research was carried out in the municipality of Catambuco, at the Guadalupe farm, 9 km from the city of Pasto. In order to evaluate the reaction of different genotypes of creole potato (*Solanum tuberosum* grupo Phureja y Andigena) to *Phytophthora infestans*, causing the late blight disease. The potato collection belongs to the Plant Health group of the University of Nariño. A randomized block design with three replications was established, where thirty genotypes were distributed and evaluated during two consecutive cycles of culture in natural exposure to the pathogen, without any control. To assess the disease effect on production, the same genotypes were maintained with chemical control in an adjacent batch every time. The genotypes classified as tolerant are Chaucha Manzana, Cachuda, Criolla Colombia, Malvaseña, Andina and Criolla, during the first cycle they had yield values between 23 to 26 T. ha⁻¹ and during the second to Calabera Negra, Chaucha Paisa, Ratona, Criolla Galeras, Ratona Roja, Tornilla Roja and Aguacata with yield values between 23 to 28 t.ha⁻¹. A linear regression was made from the data obtained, showing that the development of the disease affected the yield. The graphic severity scale allowed the genotypes to be categorized into susceptible and highly susceptible. For the prevalent pathogen race in this area of the Department, there were no resistance sources within the collection.

Keywords: health, genetic resistance, potato, severity, epidemiology.

INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum* L.) pertenece a la familia de las solanáceas, se originó y fue domesticada por primera vez en las montañas de los Andes de Sudamérica, presentando más de 4 mil variedades de papas nativas, es el cuarto cultivo alimenticio más importante del mundo en términos de consumo humano después del arroz, maíz y el trigo. Aproximadamente 1,4 mil millones de personas consumen papa regularmente y la producción total mundial del cultivo sobrepasa los 300 millones de toneladas métricas (CIP, 2015).

En Colombia, el cultivo de papa genera una gran cantidad de empleos rurales, para el año 2017 según la cadena de la papa, se generaron 264 mil empleos de los cuales 75 mil fueron directos y alrededor de 189 mil indirectos. Nacionalmente alrededor de cien mil familias se dedican a la producción de papa distribuidas en 10 departamentos, aunque el 90% del área sembrada se concentra en cuatro: Cundinamarca (37%), Boyacá (27%), Nariño (20%) y Antioquia (6%) (SIOC, 2018). En el país se destaca una amplia disponibilidad de variedades, siendo las principales Pastusa Suprema, Parda Pastusa, Criolla Colombia, Tuquerreña, Sabanera, Única, Rubí y Diacol Capiro que es la de mayor uso en la industria (Gómez, 2015).

La producción nacional tiene una participación del 0,7% a nivel mundial, sin embargo se destaca sobre los demás países por que presenta una tasa de crecimiento de 13,5%. En Colombia el área de papa en 2017 fue de 132.161 ha, representando una producción 2'751.837 toneladas y un rendimiento promedio de 20,8 t.ha⁻¹, teniendo una participación del 3,3% en el PIB agropecuario, mientras que la participación en Nariño en el mismo periodo reporta un área de 26.394 ha, con una producción de 530.000 t y un rendimiento de 20,1 t.ha⁻¹ (SIOC, 2018), además el cultivo tiene una gran importancia socio económica, debido a que es uno de los pilares fundamentales de la economía departamental y se derivan el ingreso de alrededor de 20.000 familias rurales (ICA, 2018).

En Colombia la enfermedad de mayor importancia en el cultivo de papa es la gota o tizón tardío causada por *Phytophthora infestans* Mont. De Bary perteneciente al Phylum Oomycota (Carreño *et al.*, 2007), el cual es un organismo hemibiotrofo como lo afirman Niks y Lindhout (2004). Cabe mencionar que el tizón tardío es una enfermedad policíclica, es decir, que presenta varios ciclos de infección y de producción de inóculo durante la misma estación del cultivo (Forbes *et*

al., 2014), los síntomas que se presentan en los folíolos son manchas marrones, que inician desde los bordes y se expanden progresivamente, además en el envés se forma micelio blanquecino que contiene además las estructuras del patógeno (esporangios y esporangióforos) (Bustamante y Estrada, 2015). Esta enfermedad puede presentar altos porcentajes de incidencia y severidad en las áreas de cultivo, tornándose epidémica cuando el control no es oportuno (Silva *et al.*, 2009).

El tizón tardío puede llegar a terminar un cultivo entre 10 a 15 días (Bustamante y Estrada, 2015). Con el propósito de mantener el nivel de daño de la enfermedad por debajo del límite económico aceptable, se debe realizar un manejo integrado, en el cual se combinan varias formas de control, como: control cultural, biológico, genético y químico (PRIICA, 2017).

Por esta razón, se debe partir de un control cultural en donde es importante realizar aplicaciones controladas de los nutrientes, en especial del Nitrógeno puesto que puede generar un exceso en el follaje al ser aplicado en grandes cantidades, lo cual favorece al progreso de la enfermedad (PRIICA, 2017), tal como lo ha demostrado Juárez *et al.* (2001) al realizar estudios con diferentes genotipos y dosis de nitrógeno, en donde se utilizó nitrato de amonio al 33% como fuente nitrogenada: 0, 160 y 320 kg.ha⁻¹ y dos genotipos moderadamente resistentes, concluyendo que el incremento de Nitrógeno en folíolos es el factor más importante en el desarrollo de *P. infestans* y afecta directamente los componentes de resistencia de la planta.

Sin embargo, entre las otras prácticas de manejo de la enfermedad y la más utilizada es el control químico, que involucra la utilización de productos sistémicos o de contacto capaces de prevenir la infección o realizar algún tipo de control posterior a la aparición de los síntomas, dentro de los grupos químicos usados para el manejo de *P. infestans* se encuentran: las acylalaninas, ditiocarbamatos, acetamidas, ftalamidas, entre otros (Pérez y Forbes, 2008). Pero el exceso de su aplicación puede conducir a resistencia del patógeno e incrementar los costos de producción. De acuerdo con FEDEPAPA (2017), en Nariño los insumos agrícolas corresponden al 19% de los costos de producción, destacándose los insecticidas y fungicidas, después de los fertilizantes, enmiendas y semilla.

Otro mecanismo de manejo es el control genético, consiste en utilizar la habilidad que tienen algunas variedades o especies vegetales para contrarrestar el desarrollo de la enfermedad debido a sus características intrínsecas (Pérez y Forbes, 2008). Por lo cual, la obtención de cultivares resistentes a gota ha sido acogida como una de las principales estrategias para combatir el ataque

de esta enfermedad (Juyó *et al.*, 2011) tal como lo han venido trabajando diferentes autores y resaltando el trabajo de Ñustez (2010), quien ha logrado liberar genotipos mejorados como es el caso de la variedad Pastusa suprema cuyas características son acogidas y además por ser un material Altamente Resistente, entre otras variedades liberadas como Betina y Roja Nariño, resultado que fue producto de un proceso de investigación participativa. En consecuencia, se considera que en las plantas se puede reconocer genotipos resistentes, tolerantes o susceptibles, o categorías intermedias (Niks y Lindhout, 2004).

Por otro lado, la variabilidad genética del patógeno hace que la resistencia vertical no sea duradera, obligando a usar nuevos productos o a buscar nuevas fuentes de resistencia (Carreño *et al.*, 2007).

Con respecto al género *Solanum* las especies de papas poseen gran variabilidad genética que se concentran principalmente en la zona Andina de América del Sur (Porrás, 1999; Rodríguez, 2010), y a diferencia de otros cultivos, la papa presenta un *pool* genético secundario extremadamente grande, compuesto por especies silvestres cercanas que forman pequeños tubérculos comestibles (Van den Berg y Jacobs, 2007; Rodríguez, 2010). En el caso de Colombia, se siembra *S. tuberosum* grupo Phureja conocidas como "criollas" y *S. tuberosum* grupo Andigena conocidas como "guatas", este germoplasma puede ser de gran utilidad para la búsqueda de fuentes en mejoramiento genético y otros contextos de utilidad.

Por lo anteriormente expuesto y como un aporte al conocimiento del manejo de la enfermedad, en el presente estudio se evaluó el comportamiento de diferentes genotipos de papa, con respecto a la reacción de *P. infestans* para explorar la presencia de fuentes de resistencia o tolerancia a la enfermedad bajo condiciones naturales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. La investigación se realizó en la finca Guadalupe, en el corregimiento de Catambuco, Pasto, ubicada a 9 Km de la ciudad, con coordenadas geográficas 1°09'38.6"N y 77°16'57.9"O a una altitud de 2.796msnm., con una temperatura promedio de 13°C y una precipitación anual de 967mm (POT, 2014).

Material vegetal. Los genotipos evaluados corresponden a la colección de trabajo perteneciente al grupo de investigación de Sanidad Vegetal de la Universidad de Nariño, está compuesta por

treinta genotipos colectados en diferentes zonas productoras del departamento de Nariño. Los tratamientos corresponden a los genotipos denominados regionalmente por los productores, como: Aguacata, Andina, Borreguera, Botella roja, Cachona, Cachuda, Calabera negra, Chaucha, Chaucha manzana, Chaucha paisa, Criolla, Criolla Colombia, Criolla galeras, Criolla latina, Curiquinga, Guaneña, Huevo de indio, Malvaseña, Mambera, Ñoña, Punte, Ratona, Ratona amarilla, Ratona negra, Ratona morada, Ratona roja, Tornilla negra, Tornilla roja, Uvilla y Yana shungo.

Área y Diseño experimental. El área experimental correspondió a 1.020m², donde se distribuyeron tres bloques de 5m por 60m con una separación de un metro entre cada bloque.

El diseño experimental correspondió a Bloques Completos al Azar con tres repeticiones, donde se establecieron treinta genotipos en unidades experimentales de cinco metros de largo por dos metros de ancho. La unidad experimental correspondió a cinco surcos separados a un metro y con distancia entre plantas de 0.40 metros. Los genotipos se evaluaron en condiciones de campo durante dos ciclos de producción bajo el efecto del inóculo natural presente en la zona.

En cada prueba se dejó una parcela igual a la anteriormente descrita, correspondiente al testigo con control químico, y que sirvió como referente, únicamente para la evaluación de la variable de rendimiento.

Variables de respuesta

Incidencia. Se calculó como la relación entre el número de plantas enfermas y el número total de plantas expresado en porcentaje de la parcela útil de cada unidad experimental, de acuerdo con la fórmula:

$$\text{Incidencia (I)} = \frac{\text{Número de plantas enfermas}}{\text{Número total de plantas}} \times 100$$

Severidad. Se evaluó mediante la escala gráfica modificada propuesta por James Clive (1970) (Figura 1), en donde la escala comprende valores: 1%, 10%, 25%, 50%, 75% y 100%. Las lecturas se realizaron a partir de la aparición de síntomas en las plantas, con un intervalo de tres a cuatro días. Para ello se seleccionaron tres hojas compuestas en los surcos centrales de cada unidad experimental, una en el tercio inferior, una en el medio y una superior, evaluando de manera visual y teniendo en cuenta la descripción presentada (Tabla 1).

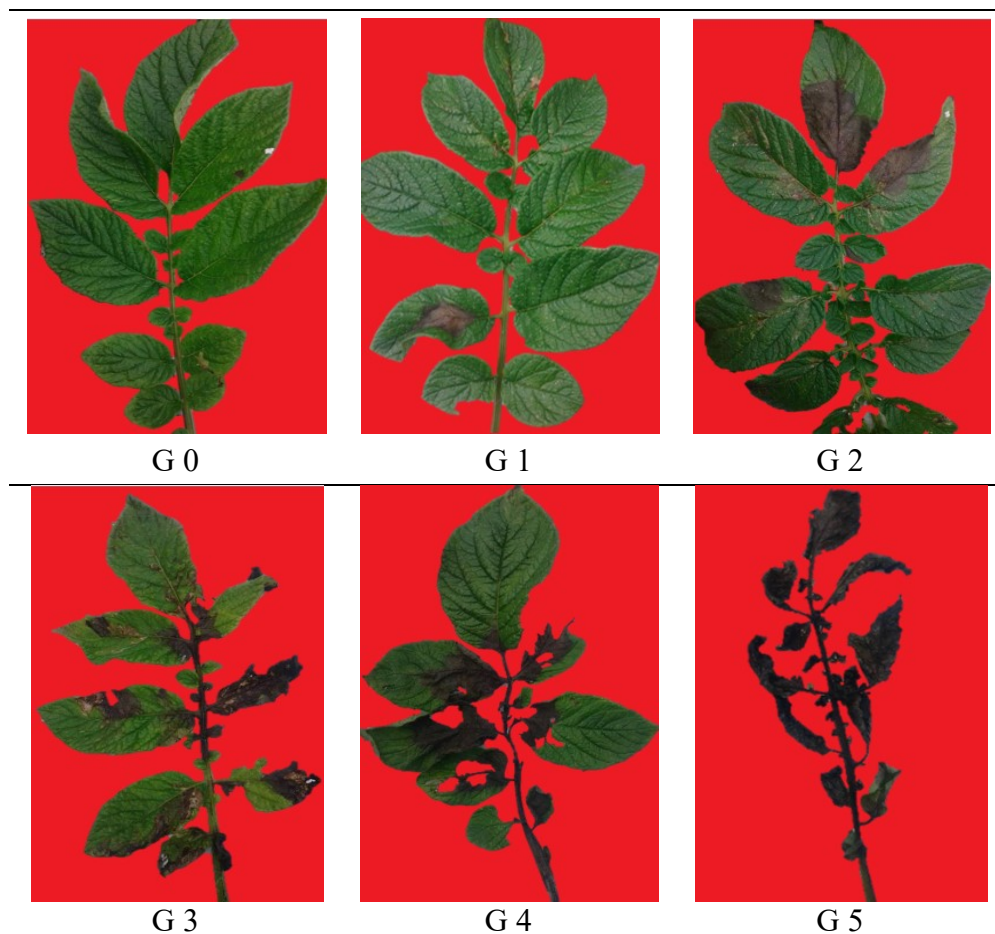


Figura 1. Escala gráfica para de la evaluación de severidad de gota en papa (*Phytophthora infestans*) de acuerdo con James Clive (1970).

Tabla 1. Descripción de la escala gráfica en grados para de la evaluación de severidad

Grado	Porcentaje Tejido Afectado (%)	SÍNTOMAS
0	0	No se observa tizón
1	1 – 9	Pequeñas manchas necróticas en los bordes de las hojas
2	10 – 24	Manchas necróticas acercándose a la nervadura de las hojas
3	25 – 49	Mitad del foliolo con manchas pardas
4	50 – 74	Manchas grandes y pardas con tejido micelial en el envés de la hoja
5	75 – 100	Totalidad de foliolo muerto

Tasa de desarrollo de la enfermedad. Se calculó aplicando la ecuación propuesta por Van der Plank (1963) para cada genotipo.

$$r = \frac{1}{t_f - t_i} \left(\log_e \frac{X_f}{1 - X_f} - \log_e \frac{X_i}{1 - X_i} \right)$$

Dónde: r : Tasa de desarrollo. t_f : Tiempo final. t_i : Tiempo inicial. Log_e : Logaritmo natural. X_f : Proporción de la enfermedad en el tiempo final. X_i : Proporción de la enfermedad en el tiempo inicial.

Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad (AUDPC). Se calculó a partir de los porcentajes del área foliar enferma registrados en diferentes momentos durante la epidemia en ambos ciclos, mediante la fórmula propuesta por Campbell *et al.* (1990) (Forbes *et al.*, 2014):

$$\text{AUDPC} = \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{Y_i + Y_{i+1}}{2} \right) (t_{i+1} - t_i)$$

Dónde: t : Tiempo de cada lectura. Y : Porcentaje de follaje afectado en cada lectura. n : Número de lecturas.

Rendimiento. Se evaluó la producción de la parcela útil correspondiente a los tres surcos centrales de cada unidad experimental y se realizó el cálculo por hectárea. Del mismo modo se obtuvo el valor de rendimiento correspondiente a la parcela con control químico.

Se realizó un cuadro de dispersión de cada variable de evaluación epidemiológica y el rendimiento, a los cuales se calculó la media y la desviación estándar.

Análisis estadístico. Para la variable severidad se categorizaron los genotipos tomando como base la escala de Clive (1977) clasificándolos desde resistente hasta altamente susceptible (Tabla 2).

Tabla 2. Clasificación de genotipos según la escala grafica de J. Clive.

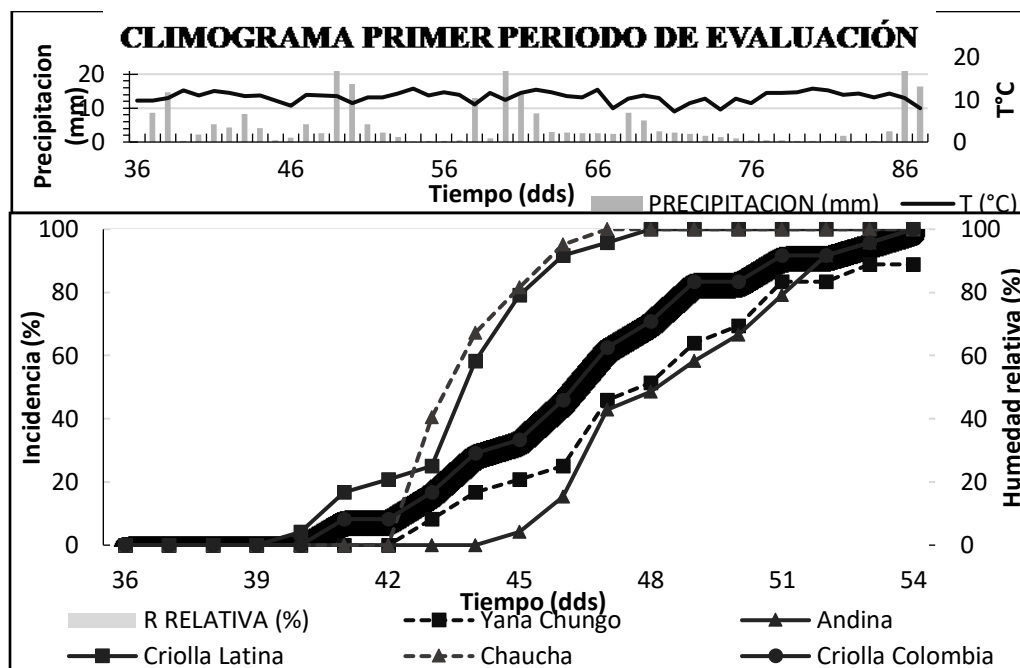
Severidad	Clasificación
100%	Altamente susceptible
75%	Susceptible
50%	Moderadamente susceptible
25%	Moderadamente resistente
10%	Moderadamente resistente
1%	Resistente

Para las variables tasa de desarrollo, AUDCP y rendimiento se sometieron a un Análisis de Varianza bajo el modelo de diseño de Bloques Completos al Azar (BCA). Para las diferencias de comparación de media entre los genotipos se utilizó la prueba de comparación de Duncan. Los valores de la variables expresadas en porcentaje se transformaron con la fórmula ($\arcsen\sqrt{\%}$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

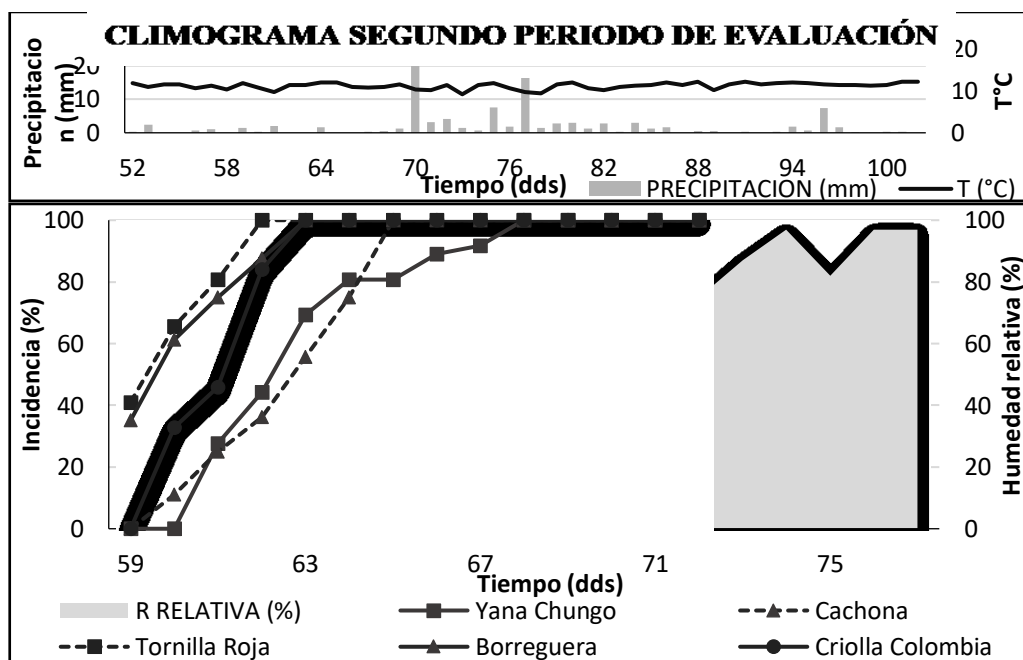
Incidencia. La mayoría de los genotipos evaluados pertenecientes a *S. tuberosum* grupos Phureja y Andigena durante el primer ciclo presentaron una incidencia del 100%, a excepción de Yana Chungo que mostro una incidencia del 89%, mientras que en el segundo ciclo se presentó la enfermedad en la totalidad de los genotipos evaluados alcanzando el 100% de incidencia, razón por la cual se demuestra que los genotipos no presentan resistencia de tipo vertical a *P. infestans*. De acuerdo con lo propuesto por Pérez y Forbes (2008), la mayoría de los genes mayores conocidos que brindan la característica de resistencia al tizón tardío, provienen principalmente de *S. demissum*, al igual que algunos genotipos que comparten herencia de las especies silvestres *S. berthaultii* y *S. commersonii*, reportadas por Schilde-Rentschler (2003), donde estos presentan niveles bajos de daño por el tizón tardío, sugiriendo que la presencia de resistencia está influenciada por el efecto de genes mayores, y cuya expresión depende de la variación en los genes de virulencia en la población de *P. infestans*, presente en la localidad correspondiente (Barquero *et al.*, 2005).

La aparición de los síntomas de la enfermedad fue similar en los dos ciclos de evaluación, inicio después de que se presentaron precipitaciones continuas y humedades relativas mayores al 70%, donde el progreso de la enfermedad es más rápido y en todos los genotipos se sincroniza este fenómeno epidemiológico (Figuras 2 y 3). Vaillant y Gómez (2008) expresan que después que se presentan las condiciones ambientales que favorecen la incidencia del tizón tardío, la enfermedad aparece en cultivos con más de treinta días de edad de tal forma que si no hay un control oportuno alcanza el 100% del cultivo.



*dds: Dias despues de la siembra.

Figura 2. Curva incidencia de los genotipos más representativos durante el primer ciclo, incluye climograma de Precipitación Temperatura.



*dds: Dias despues de la siembra.

Figura 3. Curva incidencia de los genotipos más representativos durante el segundo ciclo, incluye climograma de Precipitación Temperatura

La incidencia en los genotipos más representativos como Yana Shungo y Andina, muestran menor desarrollo de síntomas a diferencia de los genotipos Criolla latina, Chaucha y Criolla

Colombia durante el primer ciclo (Figura 2). En el segundo ciclo se destacan otra vez Yana Shungo y Cachona por presentar una incidencia baja, mientras que Borreguera y Tornilla roja tienen un rápido desarrollo de síntomas de la enfermedad (Figura 3). En ambos ciclos se tiene en cuenta como referente el genotipo Criolla Colombia, siendo éste susceptible, indicando que su incidencia igualmente alcanza el 100% y la curva de incidencia se encuentra en un rango intermedio con respecto al total de genotipos.

La curva de incidencia que expresa la presencia de la enfermedad para los dos ciclos de evaluación (Figura 2 y 3), muestra que todos los genotipos son susceptibles, debido posiblemente a las diferentes razas existentes del patógeno que puedan encontrarse, como lo han expresado en otros estudios Pérez y Forbes (2017).

La susceptibilidad en *S. phureja* se debe a que su reacción frente al patógeno se basa en genes menores (Landeo, 1997; Rubio *et al.*, 2016), es decir, hay un efecto residual de la resistencia después de que los genes R han sido vencidos por razas compatibles de *P. infestans* (Stewart *et al.*, 2003). Además, se ha propuesto que la resistencia horizontal puede ser una expresión de varios genes, incluyendo alelos de genes R, que manifiestan un efecto adicional en la activación de los mecanismos de defensa (Ghislain *et al.*, 2018; Gerbhardt y Valkonene 2001; Rubio *et al.*, 2016).

Severidad. A partir de la caracterización visual de la enfermedad basados en la escala grafica de James Clive, se pudo clasificar los diferentes genotipos con respecto a su reacción biológica frente al patógeno, indicando que la mayoría de genotipos mostraron un porcentaje de afección superior al 56%, siendo clasificados como: moderadamente susceptibles hasta altamente susceptibles (Tabla 3). Sin embargo, durante el primer ciclo se destacan genotipos como Andina, que presenta una reacción moderadamente susceptible, y genotipos como Cachuda, Aguacata, Borreguera y Ratona Roja categorizados como susceptibles, los cuales alcanzaron niveles de afección entre el 76 y 83%.

Tabla 3. Clasificación de la reacción de los genotipos de *Solanum tuberosum* grupo Phureja y Andigena frente a *P. infestans* con respecto a Severidad.

GENOTIPO	Primer Ciclo		Segundo Ciclo	
	Severidad	Categoría	Severidad	Categoría
Yana Chungo	84,72%	A. S.	79,72%	S.
Guaneña	97,22%	A. S.	94,44%	A. S.
Malvaseña	98,61%	A. S.	88,89%	A. S.
Huevo de Indio	98,61%	A. S.	94,44%	A. S.
Curiquinga	97,22%	A. S.	97,22%	A. S.
Criolla	100,00%	A. S.	98,61%	A. S.
Ratona Amarilla	84,72%	A. S.	87,50%	A. S.
Tornilla Negra	86,11%	A. S.	81,11%	S.
Cachona	91,67%	A. S.	86,11%	A. S.
Andina	59,44%	M. S.	76,78%	S.
Criolla Latina	95,83%	A. S.	97,22%	A. S.
Chaucha	100,00%	A. S.	100,00%	A. S.
Ratona	100,00%	A. S.	56,11%	M. S.
Ñoña	100,00%	A. S.	93,06%	A. S.
Criolla Galeras	98,61%	A. S.	91,67%	A. S.
Mambera	100,00%	A. S.	100,00%	A. S.
Chaucha Paisa	100,00%	A. S.	97,22%	A. S.
Chaucha Manzana	94,44%	A. S.	84,72%	A. S.
Ratona Negra	87,50%	A. S.	65,28%	M. S.
Uvilla	98,61%	A. S.	95,83%	A. S.
Tornilla Roja	95,00%	A. S.	94,44%	A. S.
Cachuda	83,33%	S.	65,28%	M. S.
Aguacata	75,00%	S.	90,28%	A. S.
Borreguera	76,39%	S.	77,50%	S.
Ratona Morada	98,61%	A. S.	90,28%	A. S.
Calabera Negra	94,44%	A. S.	93,06%	A. S.
Botella Roja	94,44%	A. S.	91,67%	A. S.
Ratona Roja	81,94%	S.	88,89%	A. S.
Punte	90,28%	A. S.	93,06%	A. S.
Criolla Colombia	90,28%	A. S.	81,94%	S.

A.S: Altamente susceptibles; S: susceptibles; M.S: Moderadamente susceptibles.

Durante el segundo ciclo, dentro de los genotipos que presentan una reacción de susceptibilidad menor y clasificados como moderadamente susceptibles predominan: Ratona, Ratona Negra y Cachuda, con porcentajes entre 56 y 65%; y genotipos susceptibles como: Yana Shungo, Tornilla

Negra, Andina, Borreguera y Criolla Colombia, cuyos niveles no superan el 81%, información que se puede ver evidenciada en la Tabla 3.

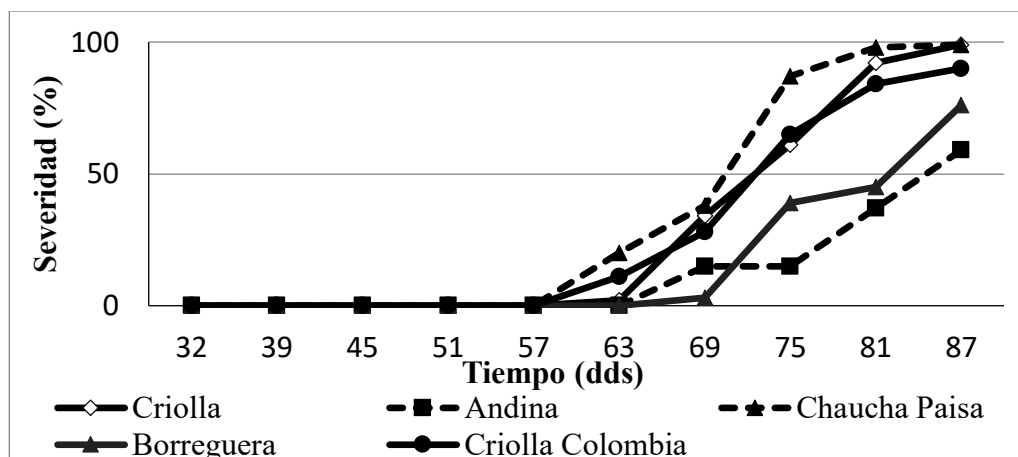
La escala gráfica de severidad permitió categorizar los genotipos según su reacción biológica frente al patógeno, presentando materiales altamente susceptibles, moderadamente susceptibles y susceptibles, especificados en la Tabla 4.

Tabla 4. Reacción de los genotipos de *Solanum tuberosum* grupo Phureja y Andigena frente a *P. infestans*

CATEGORÍA SEVERIDAD	CICLO 1	CICLO 2
Moderadamente susceptible	Andina	Yana Chungo, Ratona, Ratona Negra, Cachuda
Susceptible	Cachuda, Aguacata, Borreguera, Ratona Roja	Tornilla Negra, Andina, Borreguera, Criolla Colombia
Altamente susceptible	Yana Chungo, Guaneña, Malvaseña, Huevo de Indio, Curiqinga, Criolla, Ratona Amarilla, Tornilla Negra, Cachona, Criolla Latina, Chaucha, Ratona, Ñoña, Criolla Galeras, Mambera, Chaucha Paisa, Chaucha Manzana, Ratona Negra, Uvilla, Tornilla Roja, Ratona Morada, Calabera Negra, Botella Roja, Punte, Criolla Colombia.	Guaneña, Malvaseña, Huevo de Indio, Curiqinga, Criolla, Ratona Amarilla, Cachona, Criolla Latina, Chaucha, Ñoña, Criolla Galeras, Mambera, Chaucha Paisa, Chaucha Manzana, Uvilla, Tornilla Roja, Aguacata, Ratona Morada, Calabera Negra, Botella Roja, Ratona Roja, Punte

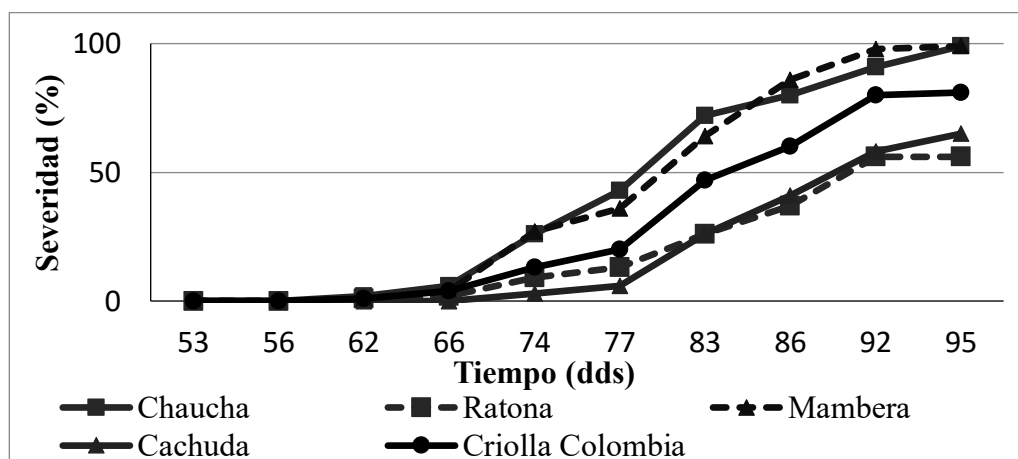
Teniendo en cuenta que los genotipos evaluados mostraron un comportamiento similar en los dos ciclos de cultivo, se graficaron las curvas de severidad para genotipos con susceptibilidad alta y baja, destacándose durante el primer ciclo a: Chaucha Paisa y Criolla, cuyo grado de severidad son superiores al resto, y Andina y Borreguera con valores de 60% y 80% respectivamente, como se muestra en la Figura 4.

Del mismo modo los dos genotipos más afectados durante el segundo ciclo son: Mambera y Chaucha con una severidad de 100%, mientras que los genotipos menos afectados son Ratona y Cachuda con 56 y 65% de severidad respectivamente (Figura 5).



*dds: Días después de la siembra.

Figura 4. Curva de Severidad de un genotipo comercial, con los genotipos más representativos del Primer Ciclo.



*dds: Días después de la siembra.

Figura 5. Curva de Severidad de un genotipo comercial, con los genotipos más representativos del Segundo Ciclo.

Las condiciones óptimas para el desarrollo de la enfermedad van desde temperaturas entre 15 y 22°C y humedades relativas mayores al 80% (Cardona *et al.*, 2016) (Agris, 2006), lo cual coincide en gran medida con las condiciones presentadas en los dos ciclos de cultivo evaluados, teniendo en cuenta que la enfermedad empezó a manifestarse a los 56 dds, en donde hubo una temperatura mínima de 11°C que fue ideal para la germinación de los esporangios, y una temperatura máxima de 20°C, además una humedad relativa del 74 al 89%; y de igual manera en el segundo ciclo con una humedad en un rango de 96 al 98%, temperaturas mínimas y máximas de 8 y 18°C respectivamente, las cuales fueron las más altas durante este ciclo de cultivo y se

manifestaron 70 días posteriores a la siembra, en este ciclo las condiciones favorecieron el desarrollo de la enfermedad en campo.

Por otra parte, el genotipo Ratona durante el primer ciclo se presentó como un genotipo altamente susceptible, alcanzando valores de severidad del 100%, mientras que durante el segundo ciclo manifestó el menor valor de severidad, clasificándose como un genotipo moderadamente susceptible (Tabla 4), por lo cual se puede afirmar que durante el segundo ciclo de evaluación, las condiciones para el desarrollo de la enfermedad no fueron óptimas en este patosistema, que de acuerdo con Rivera (2007), si por alguna razón uno de los tres elementos del triángulo de la enfermedad no coincide en forma precisa con los demás, ésta no se desarrolla.

La Universidad Nacional durante 2005 a 2007, libero a los genotipos Gueaneña, Galeras y Criolla Latina, los cuales presentaban una resistencia moderada a gota (UNAD, 2014), pero en la presente investigación mostraron una reacción altamente susceptible, lo cual indica una ruptura de la resistencia observando diferentes grados de severidad (Agrios, 2002), de igual manera el genotipo Huevo de Indio es clasificado por el CIP (2015) como resistente a gota, pero aquí se mostró como un genotipo altamente susceptible en ambos ciclos de cultivo.

Estudios realizados por Mosquera *et al.* (2008), señalan que en papa se han se han identificado once genes para la resistencia cualitativa a *P. infestans* que provienen de la especie silvestre *S. demissum* (Malcolmson y Black, 1966; Mosquera *et al.*, 2008) y además se han identificado locus de un carácter cuantitativo en los doce cromosomas de la papa, con respecto a la resistencia de *P. infestans*. Sin embargo a pesar de la existencia de estos genes, en el presente trabajo no existe una resistencia significativa, teniendo en cuenta que la totalidad de los genotipos evaluados alcanzaron porcentajes altos de severidad, asegurando la ausencia de genes que confieran resistencia a los diferentes genotipos evaluados.

Tasa de desarrollo (r). El Análisis de Varianza demostró que la tasa de desarrollo fue estadísticamente significativas ($p \leq 0,005$) entre los materiales evaluados, teniendo un valor de $Pr > F$ de $< 0,0001$ y $0,0044$ para el primer y segundo ciclo respectivamente.

En la comparación de medias según Duncan Tablas 5 y 6, para primer y segundo ciclo respectivamente, existe un amplio rango de niveles de susceptibilidad. En gran parte de los genotipos se muestran altos niveles de susceptibilidad, sin embargo el genotipo Andina durante

el primer ciclo presentó una tasa de desarrollo (r) de 0,11 unidades de crecimiento por día, siendo el más bajo de todos. El genotipo Chaucha paisa como el más susceptible alcanzó una tasa $r=0,29$ (Tabla 5).

En el segundo ciclo los genotipos con mejor comportamiento fueron Ratona negra y Ratona con una tasa de desarrollo $r=0,12$ y el más susceptible Criolla latina con $r=0,24$ unidades de crecimiento por día (Tabla 6). Esto demuestra que las condiciones ambientales y la genética del material evaluado le permiten al patógeno expresar mejor su potencial de infección e incrementar todos los valores epidemiológicos de la enfermedad del tizón tardío sobre el hospedante.

Tabla 3. Comparación de medias según Duncan de la Tasa de desarrollo de la enfermedad para genotipos de *S. tuberosum* grupos Phureja y Andigena. Primer ciclo.

CICLO 1		
GENOTIPO	Tasa de desarrollo	Agrupamiento Duncan
Chaucha Paisa	0,29	a
Guaneña	0,27	ab
Ñaña	0,26	ab
Uvilla	0,26	abc
Criolla Galeras	0,26	abcd
Criolla Latina	0,25	abcde
Chaucha	0,24	abcdef
Criolla	0,24	abcdef
Mambera	0,23	abcdef
Ratona	0,23	abcdef
Ratona Morada	0,23	abcdef
Calabera Negra	0,22	bcdefg
Criolla colombia	0,21	bcdefg
Aguacata	0,21	bcdefg
Tornilla Roja	0,21	bcdefg
Chaucha	0,21	bcdefg
Manzana	0,21	bcdefg
Malvaseña	0,20	bcdefg
Huevo de Indio	0,20	bcdefg
Curiquinga	0,19	bcdefg
Botella Roja	0,19	bcdefg
Yana Chungo	0,19	bcdefg
Ratona Amarilla	0,19	cdefgh

Tabla 4. Comparación de medias según Duncan de la Tasa de desarrollo de la enfermedad para genotipos de *S. tuberosum* grupos Phureja y Andigena Segundo ciclo.

CICLO 2		
GENOTIPO	Tasa de desarrollo	Agrupamiento Duncan
Criolla latina	0,24	a
Criolla	0,21	ab
Chaucha paisa	0,20	abc
Mambera	0,20	abcd
Ñaña	0,20	abcd
Chaucha	0,19	abcde
Calabera negra	0,18	bcdef
Tornilla roja	0,17	bcdef
Criolla galeras	0,17	bcdef
Ratona roja	0,17	bcdef
Curiquinga	0,17	bcdef
Ratona morada	0,16	bcdef
Punte	0,16	bcdef
Uvilla	0,16	bcdef
Botella roja	0,16	bcdef
Criolla colombia	0,15	bcdef
Aguacata	0,15	bcdef
Chaucha manzana	0,15	bcdef
Huevo de indio	0,15	bcdef
Yana shungo	0,15	bcdef
Malvaseña	0,14	cdef
Tornilla negra	0,14	cdef

Tornilla Negra	0,18	defgh	Andina	0,14	cdef
Cachona	0,18	efgh	Borreguera	0,14	cdef
Punte	0,17	fgh	Cachona	0,14	def
Ratona Roja	0,17	fgh	Ratona amarilla	0,13	def
Cachuda	0,17	fgh	Guaneña	0,13	ef
Ratona Negra	0,17	fgh	Cachuda	0,13	ef
Borreguera	0,14	gh	Ratona negra	0,12	f
Andina	0,11	h	Ratona	0,12	f

Ghislain *et al.* (2018) afirman que la durabilidad de la resistencia de algunos genotipos depende de la esencialidad que tenga el efector de la patogenicidad para el patógeno, al igual que la capacidad que tiene el patógeno para suprimir la inmunidad en el huésped, la diversidad de la población del patógeno y cuántos genes de resistencia a la enfermedad del tizón tardío están en juego.

En los genotipos de *S. phureja* existen genes menores de resistencia al tizón tardío, los cuales confieren diferentes grados de reacción a la enfermedad. Esta condición es importante, puesto que, como lo manifiestan Estrada y Guzmán en 1969, es posible mejorar un carácter controlado por genes menores mediante una combinación planificada de sus componentes, mediante herencia de resistencia horizontal al tizón tardío.

Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad. El Análisis de Varianza demostró que el AUDPC fue estadísticamente significativas ($Pr>F \leq 0,005$) entre los materiales evaluados, teniendo un valor de $Pr>F$ de 0,0029 y 0,0002 para el primer y segundo ciclo respectivamente.

En la comparación de medias según Duncan durante ambos ciclos, nos muestra un amplio rango de niveles de susceptibilidad que se pueden evidenciar en las Tablas 7 y 8.

Durante el primer ciclo la prueba de comparación de medias nos muestran al genotipo Andina presentó el valor más bajo (647,5) de la cantidad de enfermedad acumulada encontrada a lo largo de las evaluaciones. Mientras que el genotipo con valor más alto de AUDCP fue Ñoña con un valor de 2133,3 siendo este el más susceptible (Tabla 7).

Para el segundo ciclo de evaluaciones los genotipos que obtuvieron menor acumulación de la enfermedad a lo largo de las evaluaciones fueron Ratona Negra y Cachuda con 649 y 666,1

respectivamente presentaron una reacción similar según la prueba de comparación de medias realizada. Y por lo contrario el genotipo más susceptible fue Criolla Latina con 1868,9 (Tabla 8).

Tabla 7. Comparación de medias según Duncan de la AUDPC para genotipos de *S. tuberosum* grupos Phureja y Andigena. Primer ciclo.

CICLO 1		
GENOTIPO	MEDIA	DUNCAN AGRUPAMIENTO
Ñoña	2133,3	A
Uvilla	2094,7	Ab
Chacuha Paisa	2056,7	abc
Criolla Latina	2046	abcd
Chaucha	1997,8	abcd
Mambera	1984,5	abcd
Criolla Galeras	1869,8	abcde
Criolla	1755,8	abcde
Chaucha Manzana	1739,1	abcde
Tornilla Roja	1719,9	abcde
Ratona	1707,3	abcdef
Ratona Morada	1703,3	abcdef
Criolla Colombia	1633,2	abcdef
Guaneña	1575,2	abcdef
Aguacata	1558,7	abcdef
Huevo de indio	1516,7	abcdef
Calabera	1499,2	abcdef
Malvaseña	1498,8	abcdef
Tornilla Negra	1437,6	abcdefg
Botella Roja	1425,2	abcdefg
Curiquin	1407,2	abcdefg
Punte	1324,1	abcdefg
Ratona Amarilla	1313	abcdefg
Yana Shungo	1305,4	bcdefg
Cachuda	1237,8	cdefg
Cachona	1230,1	defg
Ratona Negra	1152	efg
Ratona Roja	1151,1	efg
Borregue	893,5	fg
Andina	647,5	g

Tabla 8. Comparación de medias según Duncan de la AUDPC para genotipos de *S. tuberosum* grupos Phureja y Andigena. Segundo ciclo.

CICLO 2		
GENOTIPO	MEDIA	DUNCAN AGRUPAMIENTO
Criolla Latina	1868,9	a
Criolla	1713,2	ab
Chaucha Paisa	1633,4	abc
Chaucha	1617,9	abc
Ñoña	1613,8	abc
Mambera	1596,1	abcd
Calabera negra	1595	abcd
Ratona Roja	1394,7	abcde
Criolla Galeras	1361,6	abcde
Uvilla	1354	abcde
Punte	1311,2	abcdef
Botella Roja	1249,7	abcdefg
Aguacata	1228,3	bcdefg
Ratona Morada	1219,7	bcdefg
Tornilla Roja	1219,3	bcdefg
Curiquina	1208,5	bcdefg
Criolla Colombia	1127,2	bcdefg
Tornilla Negra	1126,2	bcdefg
Huevo de indio	1086,8	bcdefg
Yana Shungo	1057,8	cdefg
Borreguera	1057,3	cdefg
Chaucha Manzana	964,8	defg
Ratona Amarilla	960,6	defg
Andina	957,6	defg
Guaneña	935,6	efg
Malvaseña	903,4	efg
Cachona	876,5	efg
Ratona	698	fg
Cachuda	666,1	g
Ratona Negra	649	g

El comportamiento de expresión de la enfermedad se debe a la capacidad que tiene la planta de servir como hospedante y de su reacción frente al patógeno lo cual depende de su constitución genética y la interacción entre el patógeno y los tejidos de la planta (Niks y Linfhout, 2004).

La resistencia cuantitativa, a diferencia de la cualitativa, es controlada por loci de rasgos cuantitativos (QTL) o por varios genes (Agrios, 2005; Collard *et al.*, 2005) y comprende reacciones diferentes que incluyen: velocidad de penetración, restricciones a la penetración, restricciones a la tasa de invasión del tejido celular y velocidad de esporulación del patógeno en la planta. Estos genes actúan juntos para la defensa de la planta y la actuación de un gen puede ser insuficiente si se expresa solo.

El empleo de genes R, contra *P. infestans* ha sido abandonado por los fitomejoradores a favor del empleo de genes de resistencia cuantitativa. La resistencia cuantitativa abre la posibilidad de explorar información sobre la ubicación de factores genéticos positivos y negativos que afectan la resistencia, útil para la selección asistida con marcadores moleculares (Collins *et al.*, 1999; Mosquera, 2007).

Rendimiento. El Análisis de Varianza de rendimiento en el primer y segundo ciclo indican diferencias estadísticas entre genotipos evaluados presentando un valor de $Pr>F$ de $<,0001$ para el primer y segundo.

Mediante la prueba de comparación de medias de Duncan (Tabla 9), se agruparon e identificaron en orden descendente a los mejores genotipos de acuerdo a su comportamientos de rendimiento en ambientes no controlados de la enfermedad, destacando durante el primer ciclo a los genotipos: Chaucha Manzana, Cachuda, Borreguera, Criolla Colombia, Tornilla negra y Cachona que presentan altos rendimientos entre 10 y 26,32 t/ha. Mientras que en el segundo se resaltan Calaverá Negra, Chaucha manzana, Guaneña, Criolla Colombia, Chaucha paisa, Ratona, Criolla Galeras, Ratona Roja, Tornila Roja y Malvaseña por presentar valores altos respecto a su rendimiento que oscilan entre las 21 y 28 t/ha.

Tabla 9. Comparación de medias según Duncan correspondiente a rendimiento de las plantas enfermas y su respectivo rendimiento en tratamiento control.

CICLO 1				CICLO 2			
GENOTIPO	RENDIMIENTO	AGRUPACIÓN DUNCAN	RENDIMIENTO CONTROL	GENOTIPO	RENDIMIENTO	AGRUPACIÓN DUNCAN	RENDIMIENTO CONTROL
	T/Ha		T/Ha		T/Ha		T/Ha
Chaucha Manzana	26,32	a	36,81	Calavera Negra	28,7	a	35,74
Cachuda	24,44	ab	29,58	Chaucha Manzana	25,26	ab	39,44
Borreguera	23,47	abc	34,10	Guaneña	24,26	abc	23,89
Criolla Colombia	21,81	bcd	29,44	Criolla Colombia	23,61	abcd	34,44
Tornilla Negra	20,83	bcde	35,56	Chaucha Paisa	23,14	abcd	29,44
Cachona	20,1	bcdef	29,24	Ratona	23,05	abcd	31,30
Malvaseña	19,9	cdef	28,33	Criolla Galeras	22,41	abcde	27,59
Ratona Negra	19,72	cdef	41,74	Ratona Roja	21,94	abcde	26,39
Calavera Negra	19,44	cdef	36,10	Tornilla Roja	21,39	abcdef	28,98
Andina	18,33	defg	26,20	Malvaseña	20,33	abcdef	35,00
Curiquinga	18,24	defg	26,67	Criolla	20	abcdef	30,22
Ratona Amarilla	17,69	defgh	26,25	Curiquinga	19,72	abcdef	31,48
Guaneña	16,39	efghi	27,78	Uvilla	18,61	bcdef	29,82
Ratona Roja	16,11	efghi	28,47	Andina	18,33	bcdef	27,22
Criolla	15,7	fghi	19,24	Borreguera	18,1	bcdef	29,44
Criolla Latina	15,46	fghi	38,75	Ratona Negra	17,22	bcdef	28,75
Aguacata	15,42	fghi	34,10	Mambera	16,94	bcdef	25,28
Mambera	15,42	fghi	23,19	Ratona Amarilla	15,74	bcdefg	23,89
Chaucha Paisa	13,75	ghij	31,89	Aguacata	15,28	cdefg	21,67
Huevo de Indio	13,42	hij	30,07	Ñoña	15	cdefg	25,94
Punte	12,94	ij	41,94	Cachuda	15	cdefg	22,39
Tornilla Roja	11,99	ij	26,81	Tornilla Negra	15	cdefg	24,63
Uvilla	11,81	ij	24,44	Criolla Latina	14,63	cdefg	28,89
Ratona	10,56	j	27,78	Punte	14,1	defg	25,56
Criolla Galeras	10,48	j	29,93	Criolla	13,89	defg	26,11
Ñoña	10,42	j	22,08	Cachona	13,29	efgh	28,30
Botella Roja	9,86	j	18,33	Ratona Morada	12,22	fgh	37,22
Ratona Morada	9,86	j	28,06	Botella Roja	6,67	gh	19,72
Criolla	9,72	j	19,56	Huevo de Indio	4,81	h	15,56
Yana Chungo	1,53	k	14,03	Yana Chungo	4,63	h	11,94

Durante el primer ciclo los genotipos Borreguera y Andina tuvieron valores más bajos que la media menos la desviación estándar en cuanto a Severidad (82%), Tasa de desarrollo (0,17udd) y AUDCP (1192,86), manifestando que presentan menor susceptibilidad frente a la enfermedad del tizón tardío que el resto de genotipos, sin embargo, se destacan ya que su rendimiento fue mayor

a la media general más la desviación estándar ($27,89 \text{ t.ha}^{-1}$). El genotipo Yana shungo mostró un valor bajo en el rendimiento siendo menor a la media general. Los genotipos Criolla Colombia y Chaucha manzana tuvieron valores relativamente altos en las variables epidemiológicas y su rendimiento fue superior a la media general; mientras que los genotipos Chaucha paisa, Guaneña, Uvilla y Ñoña tuvieron rendimientos inferiores a la media general, pero presentaron mejor comportamiento frente a la enfermedad (Figura 6).

En el segundo ciclo ningún genotipo se destaca presentando valores más bajos que la media menos la desviación estándar en las variables epidemiológicas y más en la media de rendimiento más la desviación estándar ($25,32 \text{ t.ha}^{-1}$), sin embargo los genotipos Tornilla negra y Criolla Colombia presentaron un valor alto sobrepasando la media más la desviación estándar de rendimiento más en las variables epidemiológicas son menores que la media. Nuevamente los genotipos Borreguera, Andina junto con Ratona roja presentan valores menores que la media menos la desviación estándar en las variables de Severidad (82%) y Tasa de desarrollo (0,17) y presenta valores más altos de rendimiento que la media ($18,94 \text{ t.ha}^{-1}$), mientras que en el AUDCP destaca Ratona por tener un valor inferior que la media menos la desviación estándar (886,87) y un rendimiento superior que la media. (Figura 7).

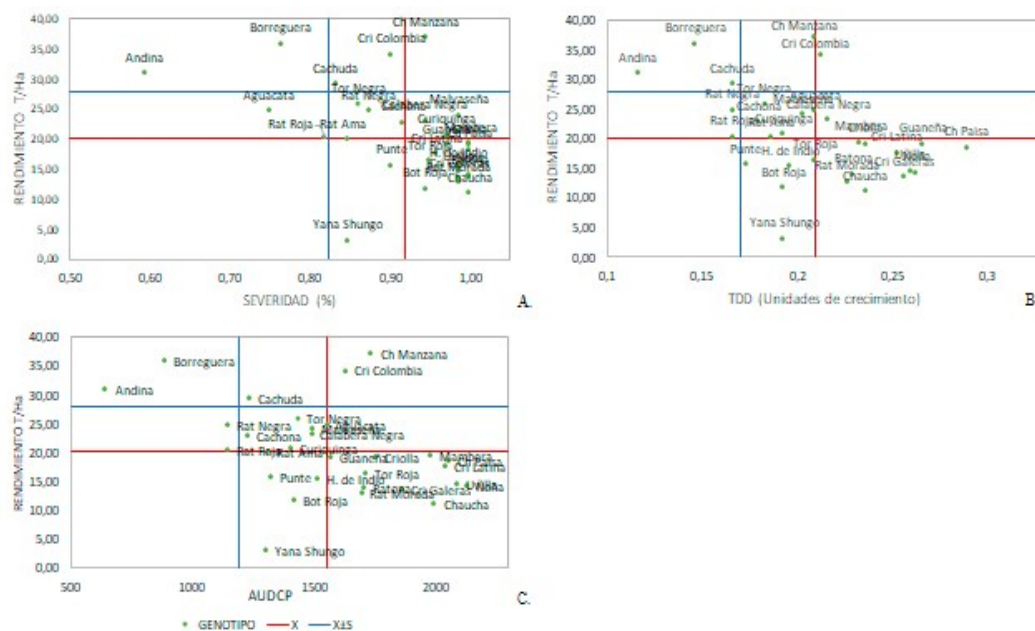


Figura 6. Diagramas de distribución del rendimiento de los genotipos y las variables epidemiológicas del Primer Ciclo. A. Rend y Severidad. B. Rend y Tasa de desarrollo de la enfermedad y C. Rend y Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad. X: Media y X+S.

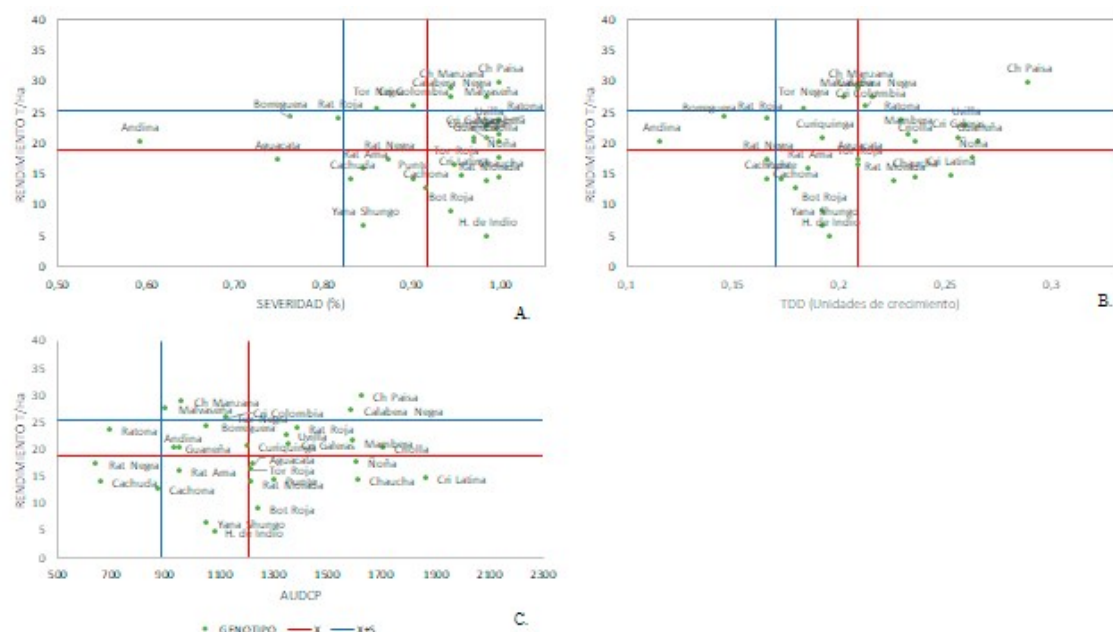


Figura 7. Diagramas de distribución del rendimiento de los genotipos y las variables epidemiológicas del Segundo Ciclo. A. Rend y Severidad. B. Rend y Tasa de desarrollo de la enfermedad y C. Rend y Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad. X: Media y X+S

El desarrollo de la enfermedad afecta la tuberización, siendo este uno de los eventos más importantes en el cultivo (Sands *et al.*, 1979; Kooman y Haverkort, 1995; Morales–Fernández *et al.*, 2011). La etapa productiva se presenta en variedades precoces entre los 30 dds y en variedades intermedias entre los 35 a 45 días (INTA, 2004) y con relación a ello, la presencia de la enfermedad en los dos ciclos de evaluación se presentó entre 50 y 60 dds, lo cual muestra que el desarrollo de la enfermedad también influyó en la duración del follaje fisiológicamente activo, que repercutió en el rendimiento obtenido (Waggoner y Berger, 1987; Montes *et al.*, 2011).

Resultados de trabajos anteriores como el de Lozoya y Hernández (2001), afirman que al presentar genotipos con severidad mayor al 35%, el rendimiento se disminuye considerablemente, lo cual coincide con los resultados obtenidos en el presente trabajo ya que se presentó niveles de afectación superiores al 56%.

En consecuencia, Yepéz (2016), afirma que la disminución del área foliar causada por la enfermedad influye en la disminución de rendimiento, sin embargo, conforme a la evaluación epidemiológica de la enfermedad y en base al rendimiento, se evidencian genotipos tolerantes, y a que a pesar de presentar la enfermedad no tuvieron disminución significativa en su rendimiento al compararlos con su testigo, este fenómeno se evidenció en los genotipos en los

cuales el patógeno se desarrolló ampliamente alcanzando valores altos de severidad, pero finalmente la planta alcanzó rendimientos altos.

Evidentemente, el desarrollo de la enfermedad influye significativamente en el rendimiento, y por esta razón es importante continuar la investigación y utilizar nuevos métodos de verificación, tal como otros trabajos realizados en donde consideran que utilizar el AUDCP como variable de respuesta siendo una buena aproximación para determinar el tipo de reacción, que de acuerdo con Portilla y Salas (2007), es una importante fuente de información para obtener materiales potencialmente productivos y tolerantes a enfermedades.

CONCLUSIONES

La evaluación de los genotipos de *Solanum tuberosum* grupo *Phureja* y *Andigena* se enfocó en la reacción frente a la presencia de la enfermedad del Tizón tardío (*P. infestans*), los cuales no presentaron resistencia de tipo vertical pero se puede destacar la existencia de materiales tolerantes como: Chaucha Manzana, Calabera negra, Criolla Colombia, Guaneña, Chaucha Paisa, Andina y Borreguera que presentaron un mejor comportamiento en su rendimiento.

Mediante las evaluaciones de las variables epidemiológicas y rendimiento se observó materiales tolerantes que pueden servir como alternativa genética para contrarrestar el efecto del patógeno y ser usados como opción para el mejoramiento genético.

BIBLIOGRAFÍA

- Agrios, G. (2002). Fitopatología. Segunda Edición. México. Editorial: Limusa. 838 p.
- Agrios, G. (2006). Plant Pathology. Tercera Edición. México. Editorial: Limusa. ISBN 968-18-5184-6
- Barquero, M., Gómez, L. y Brenes, A. (2005). Resistencia Al Tizón Tardío (*Phytophthora infestans*) En Clones Promisorios De Papa En Costa Rica. Agronomía Costarricense 29(3). Costa Rica. 13/03/06. https://www.researchgate.net/publication/237516157_RESISTENCIA_AL_TIZON_TARDIO_Phytophthora_infestans_EN_CLONES_PROMISORIOS_DE_PAPA_EN_COSTA_RICA_1
- Bustamante, G. y Estrada, A. (2015). Control biológico del Tizón Tardío *Phytophthora infestans* en papa *Solanum tuberosum* a través de consorcio microbiano formado por hongos

- nativos del género *Trychoderma* sp. Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca-Ecuador. 2015. 76p. Cardona, L., Castaño, J. y Ceballos, N. (2016). Epidemiología del tizón tardío (*Phytophthora infestans* Mont. de Bary) en quince introducciones del tomate silvestre. *rev.udcaactual.divulg.cient.*
- Carreño, N., Vargas, A., Bernal, J. y Restrepo, S. (2007). Problemas fitopatológicos en especies de la familia Solanaceae causados por los géneros *Phytophthora*, *Alternaria* y *Ralstonia* en Colombia. En: *Agronomía Colombiana* 25(2). 320-329.
- CIP - International Potato Center (2015). Datos y cifras de la papa. Recuperado de: <https://cipotato.org/es/lapapa/dato-y-cifras-de-la-papa/>. Consultado: Octubre de 2019
- Clive, J. (1970). A manual of disease assessment keys for plant diseases. Canadian Department of Agriculture. 50 p.
- Estrada, N. y Guzmán, J. (1969). Herencia de la resistencia de campo a *Phytophthora infestans* (tizón) en variedades cultivadas de papa (tuberosa y andigena). En: *Separata Revista Ica*. 4(3). Bogotá, Colombia.
- FEDEPAPA. (2017). Revista Papa. Órgano Informativo de la Federación Colombiana de Productores de Papa. Edición No. 40. 2017. ISSN: 0122-2686.
- Forbes, G.; Perez, W. y Andrade, J., (2014). Procedimiento para evaluación estándar y manejo de datos de clones avanzados de papa. Módulo 3: Evaluación de la resistencia en genotipos de papa a *Phytophthora infestans* bajo condiciones de campo. Guía para colaboradores internacionales. Perú. Centro internacional de la papa, CIP. 50p.
- Gebhardt, C. y Valkonen, J. (2001). Organization of genes controlling disease resistance in the potato genome. *Ann. Rev. Phytopathol.* 39(1): 79-102.
- Ghislain, M., Arinaitwe, A., Byarugaba, E., Njoroge, A., Rivera, C., Roman, M., Tovar, J., Gamboa, S., Forbes, G., Kreuze, J., Barekye, A. y Kiggundu, A., (2018) .Stacking three late blight resistance genes from wild species directly into African highland potato varieties confers complete field resistance to local blight races. *Plant Biotechnology Journal*. 1–11p.
- Gómez, L. (2015). CONtextoganadero: Así es el mundo de la papa colombiana. Recuperado de: <https://www.contextoganadero.com/agricultura/informe-asi-es-el-mundo-de-la-papa-colombiana>. Consultado: 2017

- ICA–Instituto Colombiano Agropecuario- (2018). El ICA realiza inspección y vigilancia fitosanitaria a cultivos de papa en Nariño. Recuperado de: <https://www.ica.gov.co/noticias/ica-inspeccion-vigilancia-cultivo-papa> Consultado: Octubre 2019
- INTA (2004). Manejo Integrado de Plagas: Cultivo de papa. Instituto Nicaraguense de Tecnología Agropecuria. Managua: Primera Edición. 1-60p.
- Juárez, H., et al. 2001. Efecto del Nitrógeno en el Tizón Tardío de la Papa. Memorias del taller internacional Complementando la Resistencia al Tizón (*Phytophthora infestans*) en los Andes. 121-132.
- Juyo, D., Gerena, H. y Mosquera, T. (2011). Evaluación de marcadores moleculares asociados con resistencia a gota (*Phytophthora infestans* L.) en papas diploides y tetraploides. Revista Colombiana de Biotecnología , 13(2): 51-62.
- Kooman, P. y Haverkort, A., (1995). Modelling development and growth of the potato crop influenced by temperature and daylength: LINTUL–POTATO. In: Potato Ecology and Modeling of Crops Under Conditions Limiting Growth. A J Haverkort, D K L Mackerron (eds). Kluwer Academia Publishers, Dordrecht Netherlands. 41–59p.
- Landeo, J. (1997). Strategies on breeding for resistance to late blight in potato at CIP. In: Memorias del Simposium Internacional de la papa. INIFAP. México. 9-17p.
- Lozoya H. y Hernández A. (2001). Registered and section 18 compounds for control of late blight (*Phytophthora infestans* Mont. De By) in potatoes in Toluca, Mexico. Agrociencia.
- Malcolmson, J. y Black, W. (1966). New R genes in *S. demissum* Lindl. and their complementary races of *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. Euphytica 15: 199-203.
- Monteros et al., (2010). Inventario de tecnologías e información para el cultivo de la papa en Ecuador. INIAP: Yana Shungo. Recuperado de: <https://cipotato.org/papaenecuador/2017/10/12/17-iniap-yana-shungo/> Consultado: Octubre de 2019
- Montes, G., Lozoya, H. y Hernández, A. (2011). Adaptación por resistencia al tizón tardío (*Phytophthora infestans* Mont. De By) de genotipos de papa (*Solanum tuberosum* L.) en Toluca, México. Rev. Chapingo S. Hort. 9: 193–208.

- Morales, S., Mora, R., Rodríguez, J., Salinas, M., Colinas, M. y Lozoya, H., (2011). Desarrollo y rendimiento de papa en respuesta a la siembra de semilla–tubérculo inmadura. *Rev. Chapingo S. Hort.* 17: 67–75.
- Mosquera, T., Fernández, C., Martínez, L., Acuña A. y Cuellar, D., (2008). Genética de la resistencia de la papa (*S. tuberosum*) a patógenos. *Agronomía Colombiana: Fitomejoramiento, recursos genéticos y biología molecular.* 26(1): 7-15.
- Niks R, E. y Lindhout, W, H. (2004). Curso sobre mejoramiento para resistencia durable a patógenos especializados. Tercera Edición. Wageningen Agricultural University, The Netherlands. Quito, Ecuador.
- Ñustez C. y Barrientos J.C. (2010). Difusión de seis nuevas variedades de papa en Boyacá y Cundinamarca (Colombia) entre 2003 y 2010. *REVISTA COLOMBIANA DE CIENCIAS HORTÍCOLAS.* 8:1. 126-147.
- Perez, W. y Forbes, G. (2008). Manual técnico: El tizón tardío de la papa. Centro Internacional de la Papa (CIP). Lima: Comercial Grafica Sucre. 41p. ISBN 978-92-9060-343-6 doi: <http://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/08/004271.pdf>
- Perez, W. y Forbes, G. (2017). Manejo integrado del tizón tardío: ¿Qué es la resistencia genética?. CIP, Centro Internacional de la Papa. Lima (Perú). 4p. ISBN 978-92-9060-318-4
- Porras, P. (1999). La papa en Colombia: Desarrollo de una cadena agroalimentaria estratégica. *Revista FEDEPAPA.* 3: 14-17.
- Portilla, A. y H. Salas. 2007. Evaluación de la reacción de genotipos de papa *Solanum tuberosum* al ataque de *Phytophthora infestans* causante de gota. Trabajo de grado. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia
- POT: Plan de Ordenamiento Territorial. (2015). POT Pasto territorio con sentido. 2014-2027. Alcaldía de Pasto. Secretaria de planeación. 2015. doi: https://www.pasto.gov.co/index.php/component/phocadownload/category/315-planeacion-2015?download=6756:cartilla_pot_2014_2027_v1
- PRIICA, (2017). Manejo de la enfermedad “tizón tardío” (*Phytophthora infestans*) de la papa. Presentación de resultados del Programa Regional de Investigación e Innovación por Cadenas de Valor Agrícola en Honduras. Recuperado de: <http://repiica.iica.int/docs/B4175e/B4175e.pdf> Consultado: 2019

- Rivera, G. (2007). Conceptos Introductorios a la Fitopatología. Primera Reimpresión de la Primera Edición. Costa Rica: San José. Editorial: Universidad Estatal a Distancia (EUNED). 346 p. ISBN: 9968-31-042-5
- Rodríguez, L., (2010). Origen y evolución de la papa cultivada. Una revisión. *Agronomía Colombiana* 28 (1). 9-17.
- Rubio, O., Cadena, M. y Flores, R. (2016). Comparación de la resistencia horizontal y vertical contra el tizón tardío de la papa en Toluca. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(4): 755-766. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000400755&lng=es&tlng=es. Consultado: 09 de marzo de 2019.
- Sands, P., Hacket, C. y Nix, H. (1979). A model for the development and bulking of potatoes (*Solanum Tuberosum* L.) I. Derivation from well-managed field crops. *Field Crops Research* 2: 309–331.
- Santos, M., Segura, M. y Ñustes, C. (2010). Análisis de crecimiento y relación fuente-demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de zipaquirá (cundinamarca, colombia). *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín*, 63(1): 5253-5266. ISSN electrónico 2248-7026.
- Schilde-Rentschler L. (2003). Focus on partners: The INCO-PAPA Project. *Global Initiative Late Blight GILB* 20: 1-8. [dio: http://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/07/GILB_news_-20.pdf](http://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/07/GILB_news_-20.pdf)
- Silva, B., Jaramillo, S. y Marin M. (2009). Caracterización genética de aislamientos de *Phytophthora infestans* en las zonas productoras de papa de los departamentos de Antioquia, Boyacá, Cundinamarca y Norte de Santander (COLOMBIA). 16p.
- SIOC: Sistema de información de Gestión y Desempeño de Organizaciones de Cadenas. (2018). Cadena de papa: Indicadores e Instrumentos. MinAgricultura. Colombia. Recuperado de: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Papa/Documentos/002%20-%20Cifras%20Sectoriales/002%20-%20Cifras%20Sectoriales%20-%202018%20Febrero%20Papa.pdf> . Consultado: Febrero 2018.
- Stewart, H., Bradshaw, J. and Pande, B. (2003). The effect of the presence of R-genes for resistance to late blight (*Phytophthora infestans*) of potato (*Solanum tuberosum*) on the underlying level of field resistance. *Plant Pathol.* 52(2): 193-198.

- UNAD, (2014). Grupo de Investigación de la papa: Guaneña. Recuperado de: <http://www.papaunc.com/catalogo/criolla-guanena>. Consultado Octubre 2019
- Vaillant, D. y Gómez, G. (2008). Incidencia de *Phytophthora nicotianae* y *Phytophthora infestans* en Cuba. Cuba: La Habana. Agric. Téc. Méx. 35(2): 219-223. ISSN 0568-2517. dio: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172009000200009
- Van den Berg, R.G. y Jacobs. M.J. 2007. Capítulo 4: Molecular taxonomy. Vreugdenhil, D. Potato biology and biotechnology advances and perspectives. Elsevier, Amsterdam. 55-74.
- Waggoner P., y Berger R. (1987). Defoliation, disease, and growth. *Phytopathology* 77: 393–398.
- Yepez, L. (2016). Validación de estrategias de manejo del tizón tardío (*Phytophthora infestans*) de la papa en tres variedades, Pillaro 2016. Trabajo de grado previa a la obtención del Título de Ingeniero Agrónomo. Carrera de Ingeniería Agronómica. Quito: UCE. 73p. Recuperado de: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/8223>. Consultado en: Octubre 2019.